Colección Evento

Ciencias ambientales
Base para la sostenibilidad



Jenny Lucia Huertas Delgado
Daisy Gabriela Guerrero Obando
Alex Fabián Cadena Cariasco

Compilador

Editorial UNIMAR



Editorial
UNIMAR

Colección Evento

Ciencias ambientales
Base para la sostenibilidad

Memorias del 1er Congreso Internacional de Ciencias Ambientales

Jenny Lucia Huertas Delgado

Daisy Gabriela Guerrero Obando

Alex Fabián Cadena Cariasco

Compiladores

Universidad Mariana

San Juan de Pasto

2019



Ciencias ambientales
Base para la sostenibilidad

Autores:

Jenny Lucia Huertas Delgado
Camila Andrea Narváez Vallejo
Mónica Lucía Burgos Narváez
Jorge Andrés Rosero Legarda
Mario José Añazco Romero
Ana Espinosa
Eduardo Chagna
Viviana Guachamin
Jorge Ramírez
Liniker Ocampo
María Vizcaino
Ricardo Ignacio Pereira Martínez
Juan Fernando Muñoz Paredes
Jean Alexander León Guevara
Mario Alberto Jurado Erazo
Jennifer Camila Delgado Sánchez
Jeraldin Rojas Pialejo
Carlos David Viveros Rivera
Mery Liliana López Martínez
Francisco Ricardo Mafla Chamorro
Sandra Milena Madroñero Palacios
Leidy Fernanda Ruiz Bravo
Milvia Marley Moncayo Loaiza
Jhoana Montenegro Córdoba
Gabriela Santacruz Montenegro
María Alejandra Cantillo
Luz Zenaida Gomez
Raquel Estefanía Benavides Peña
Veronica Villota Dorado
Ángela Sofía Parra Paz
Juliana Estefanía García Caicedo
Alexandra Córdoba Diaz
Santiago Gómez Herrera
Diana Morales Pabón
Hugo Ferney Leonel
Adriana del Socorro Guerra Acosta
Keyling Lisbany Córdoba Román
Milady Patricia Josa Solarte
Natalia Caterin Morales Jamioy
David Gustavo Villota Yamá
Andrés Pantoja E.
Ginna Tarapues P
James Rosero Carvajal
Diego Javier Pérez Ortega
Fabio Bolaños Alomia
Ricardo Ignacio Pereira
Luis Omar Alpala
Sandra Enríquez Delgado
Viviana Elizabeth Goyes
Daniela Calderón A.
William Vallejo
Carlos Díaz Uribe
Andres Mauricio Enriquez Hidalgo
Jaime Andres Lara Borrero
Andres Eduardo Torres Abello
Claudia Villota López
Clemente Rodríguez Cuevas
Franklin Torres Bejarano
Rodolfo Cisneros Almazán
Paula Andrea Montenegro Chaucanes
Tsunao Matsumoto
Milton Dall'Aglio Sobrinho
Javier Mauricio Villota Paz
Julián Acosta Martínez
Yury Tatiana Cárdenas Hernández
Jenny Alexandra Triana Casallas
Gloria Lucía Cárdenas Calvachi
Paola Sofía Paz Enríquez
David Ricardo Javier Realpe Cabrera
Karen Melissa López Toro
Yurley Meza Delgado
Ángela María Ceballos Rodríguez
Sebastián Camilo Pinta Pantoja
Yerson Camilo Contreras Cortes
Efrain Muñoz Realpe
Alexandra Martínez Márquez
Leidy Johana Hidalgo Salas
Diana Marcela Guerrero Delgado
Alberto Cuartas Castillo
Juan Guillermo Popayán-Hernández
Ángel Alberto Triana Perez
Renato Arturo Pantoja Guerrero
Juan Fernando Muñoz Arturo
Diana Paola Coral Salcedo
Juan Carlos Narváez Burgos
Karen Daniela Romo Timana
Héctor Alexander de la Cruz Parra
Johanna Sthefanny Lagos Riascos
Daniel Esteban Montufar Padilla
Claudia Lorena Duque Villa
Erwin Gaviria Garces
Luis Alejandro Arturo Chaves
Luis Carvajal Pinilla
Geraldine Sánchez Puentes
Jesús Palomá Rojas
Diana Marcela Lozano Mosquera
Aura María Rosero
Daniele Frascareli
Cláudia Hitomi Watanabe
Daniela Jaramillo Restrepo
Marcela Caterine Araujo Prado
María Margarita Portilla González
Carlos Guevara-Fletcher
Linda Segura
Carolina Useche-R
Pedro Bacca Acosta
Dayana Stefanya Guevara Ortega
Karen Vanessa Morales Oñate
Paola Andrea Ortega Guerrero
Mayerli Alexandra Pastes Diosa
Diana Lorena Ramírez Rodríguez
María Fernanda Restrepo
Arlez María Valencia Restrepo
Jaiber Adrián Valencia Ospina
Luz Marina Santa
Alberto Cuartas Castillo
Anyela Nayive Castillo Solarte
José Antonio Avalos Lozano
Mario Orlando Bonomi Cervantes
María Patricia Obando Enriquez
Marly Andrea Delgado Pantoja
Yuly Yohana Vacca Guerrero
Alejandra María Rodríguez Guarín
Salomón Rodríguez Guarín
Sandra Faisuler Potosí Rodríguez
Mabel Cristina Calvache Muñoz
Álvaro Gelpud
Giovanni Hernández Pantoja
Sandra Vallejo
Carlos Alonso Ramírez

Compilador: Jenny Lucia Huertas Delgado, Daisy Gabriela Guerrero Obando, Alex Fabián Cadena Cariasco
Editora: Luz Elida Vera Hernández, Editorial UNIMAR
Fecha de publicación: 28 de octubre de 2019
Páginas: 644
ISBN: 978-958-8579-51-1
Info copia: 1 copia disponible en la Biblioteca Nacional de Colombia
Existencias
Biblioteca Nacional de Colombia
Copia Material Localización
1 Libro Electrónico **Biblioteca Nacional – Libros (consecutivo)**

Ciencias ambientales
Base para la sostenibilidad
Compiladores: Jenny Lucia Huertas Delgado, Daisy Gabriela Guerrero Obando, Alex Fabián Cadena Cariasco
Editora: Luz Elida Vera Hernández
Editorial: Editorial UNIMAR, Universidad Mariana
Fecha de publicación: 28 de octubre de 2019
Páginas: 644
ISBN: 978-958-8579-51-1
Edición: Primera
Formato: electrónico
Colección: evento
Materia: Ciencias Ambientales
Materia tópico:
Palabras clave: Manejo, control y calidad, gestión ambiental, Ingeniería, sostenibilidad
País/Ciudad: Colombia / San Juan de Pasto
Idioma: Español
Menciones: Ninguna
Visibilidad: Página web Editorial UNIMAR, Universidad Mariana
Tipo de contenido: Ciencias ambientales. Base para la sostenibilidad

Comité Organizador

Jenny Lucia Huertas Delgado
Daisy Gabriela Guerrero Obando
Alex Fabián Cadena Cariasco
Luz Nathalia Torres Martínez
María Margarita Portilla González
Diego Ernesto Jurado Portilla

Comité Científico

Jenny Lucia Huertas Delgado

Juan Fernando Muñoz Paredes

Mario Alberto Jurado Erazo

Claudia Marcela García Ahumada

María Patricia Obando Enríquez

Sandra Milena Madroñero Palacios

Viviana Quintero Dallos

Conferencistas Invitados

Dr. José Antonio Avalos Lozano	México
Dra. Susana Valle Toledo	Chile
Dr. Gerardo Hernández Cendejas	México
Dr. Iván Andrés Sánchez Ortiz	Brasil
Dr. Lorena Ninel Estrada	Guatemala
Dr (c). Felipe Zúñiga Ugalde	Chile
Mg. Mauricio Santini	Brasil
Dr. Mario Herrera Arévalo	Colombia
Dr. Jorge Ivan Florez Blandón	Colombia

Universidad Mariana

Hna. **María Teresa González Silva.,** f.m.i.
Rectora

Nancy Andrea Belalcázar Benavides
Vicerrectora Académica

Luis Alberto Montenegro Mora
Director Centro de Investigaciones

Robinson Andres Jiménez Toledo
Decano Facultad de Ingeniería

Luz Elida Vera Hernández
Director Editorial UNIMAR

Editorial UNIMAR

Luz Elida Vera Hernández
Directora Editorial UNIMAR

David Armando Santacruz Perafán
Diseño y Diagramación

Leidy Stella Rivera Buesaquillo
Corrección de Estilo

Correspondencia:
Editorial UNIMAR, Universidad Mariana
San Juan de Pasto, Nariño, Colombia, Calle 18 No. 34 – 104
Tel: 7314923 Ext. 185
E-mail: editorialuniar@umariana.edu.co

Disponible:

Citese como: Huertas, J., Guerrero, G. y Cadena, A. (comp.) (2019). *Ciencias ambientales, Base para la sostenibilidad.* San Juan de Pasto: Editorial UNIMAR.

Las opiniones contenidas en el presente libro no comprometen a la Editorial UNIMAR ni a la Universidad Mariana, puesto que son responsabilidad única y exclusiva de los autores, de igual manera, éstos, han declarado que en su totalidad es producción intelectual propia, en donde aquella información tomada de otras publicaciones o fuentes, propiedad de otros autores, está debidamente citada y referenciada, tanto en el desarrollo del documento como en las secciones respectivas a la bibliografía.

El material de este libro puede ser reproducido sin autorización para uso personal o en el aula de clase, siempre y cuando se mencione como fuente su título, autores y editorial. Para la reproducción con cualquier otro fin es necesaria la autorización de la Editorial UNIMAR de la Universidad Mariana.

Ciencias ambientales Base para la sostenibilidad is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional License.



Contenido

Presentación 12

Modalidad de Presentación Oral
Área temática: Manejo, control y calidad 14

Arranque de una laguna de Alta Tasa para Tratamiento de Efluentes Domésticos: Monitoreo del Desempeño
Iván Andrés Sánchez Ortiz, Rafael Kopschitz Xavier Bastos, Alan Augusto Teixeira, Rafael Marques, Jean Coutinho Oder, Janderson Badim Bepler 16

Evaluación de la Modificación del Escurrimiento Superficial de la Cuenca Ribeirão de Santa Rita - Fernandópolis / Sp-Brasil, por los Procesos de Urbanización y el Potencial de Reducción del Caudal con la Aplicación de Técnicas Compensatorias
Gisele Carvalho Rodrigues, Milene Ferreira da Silva, Mauricio Antonio Santini Junior 23

Variación Espacio-Temporal de Fosfatos en la Zona Saturada del Suelo
Mónica Lucía Burgos Narváez, Camila Andrea Narváez Vallejo, Jenny Lucia Huertas Delgado 37

Análisis de Tendencia de Caudales Base Cuenca Alta río Pasto, municipio de Pasto, departamento de Nariño
Jorge Andres Rosero Legarda, Milvia Moncayo, Fernanda Ruiz, Francisco Mafla, Sandra Madroñero 50

Especies forestales y su aporte a la mitigación del cambio climático en los Andes del Ecuador
Mario José Añazco Romero, Ana Espinosa, Eduardo Chagna, Viviana Guachamin, Jorge Ramírez, Liniker Ocampo, María Vizcaino 59

Evaluación de la adsorción de glifosato con estropajo común (*luffa cylindrica*) a escala laboratorio
Ricardo Ignacio Pereira Martínez, Juan Fernando Muñoz Paredes, Jean Alexander León Guevara 70

Estandarización de bioensayos ecotoxicológicos para la evaluación de la calidad del agua de ríos impactados por descargas de aguas residuales de curtiembres
Mario Alberto Jurado Erazo, Jennifer Camila Delgado Sánchez, Jeraldin Rojas Pialejo, Carlos David Viveros Rivera 81

Simulación de la Concentración de Oxígeno Disuelto en un Lago Tropical de Alta Montaña: Caso Lago Guamués
Mery Liliana López Martínez, Francisco Ricardo Mafla Chamorro, Sandra Milena Madroñero Palacios 98

Análisis de la Sostenibilidad Ambiental de la Huella Hídrica en un Proceso de Beneficio Cárnico
Jhoana Montenegro Córdoba, Gabriela Santacruz Montenegro, María Alejandra Cantillo, Luz Zenaida Gomez 112

Evaluación de Subproductos del Plátano y Aserrín en la Elaboración de Briquetas con Alto Poder Calorífico
Raquel Estefanía Benavides Peña, Verónica Villota Dorado, Ángela Sofía Parra Paz 120

Bioactividad de los Aceites Esenciales de *Lippia origanoides* y *Morella pubescens* sobre *Phytophthora palmivora* en Cacao
Juliana Estefanía García Caicedo, Javier Mauricio Villota Paz, Julián Acosta Martínez 129

Degradación de Metano en Biofiltros Percoladores: Materiales Reciclables como Medio de Soporte
Alexandra Córdoba Diaz, Santiago Gómez Herrera, Diana Morales Pabón, Hugo Ferney Leonel 140

Evaluación de los Sistemas de Manejo Ganadero en los Procesos Erosivos y el Cambio de Algunas Propiedades en Suelos ubicados en tres tipos de Pendientes
Adriana del Socorro Guerra Acosta, Keyling Lisbany Córdoba Román, Milady Patricia Josa Solarte, Natalia Caterin Morales Jamioy, David Gustavo Villota Yamá 154

Totora (*Schoenoplectus Californicus*), Achira (*Canna Indica*) y Cartucho (*Zantedeschia Aethiopica*) en humedales artificiales tipo HAFSSh
Andrés Pantoja E., Ginna Tarapues P., James Rosero C. 178

Interacciones entre las Propiedades Físicas del Suelo y la Capacidad de Retención de Agua para la Influencia de Remociones en Masa
Diego Javier Pérez Ortega, Fabio Bolaños Alomia, Ricardo Ignacio Pereira, Luis Omar Alpala 196

Análisis de la Variación de las Propiedades del suelo causada por el cambio de uso
Sandra Enríquez Delgado, Viviana Elizabeth Goyes, Jenny Lucía Huertas Delgado 206

Actividad fotocatalitica de películas de TIO_2 dopadas con no metales, utilizando la Técnica Sol-Gel
Daniela Calderón A., William Vallejo, Carlos Díaz Uribe 221

Factores explicativos de la presencia de Bisfenol A y Ftalatos en el agua embotella comercializada en Bogotá
Andres Mauricio Enriquez Hidalgo, Jaime Andres Lara Borrero, Andres Eduardo Torres Abello 230

Modelación Numérica de la calidad del agua en el río Gallinas, San Luis Potosí, México
Claudia Villota López, Clemente Rodríguez Cuevas, Franklin Torres Bejarano, Rodolfo Cisneros Almazán 247

Efectos de la Relación Carbono/Nitrógeno C:N en la operación de un reactor aerobio de lecho fluidizado en la remoción de Nitrógeno
Paula Andrea Montenegro Chaucanes, Tsunao Matsumoto, Milton Dall'Aglio Sobrinho, Diego Javier Pérez Ortega 263

Evaluación espacial de las Condiciones Limnológicas del Reservatorio Itupararanga, Cuenca del Alto Sorocaba (Sp), Brasil
Santiago Gómez Herrera, Daniele Frascareli, Cláudia Hitomi Watanabe, André Henrique Rosa 275

Análisis del riesgo ocupacional por exposición a monóxido de carbono en parqueaderos cerrados de centros comerciales de Villavicencio
Paola Andrea Epalza Vela, Liyibeth Yisney Gutiérrez Alfonso, Yury Tatiana Cárdenas Hernández, Jenny Alexandra Triana Casallas 286

Evaluación de fuentes alternativas de agua para abastecimiento de ciudades intermedias bajo escenarios de sequía – Caso San Juan de Pasto
Gloria Lucía Cárdenas Calvachi, Francisco Ricardo Mafla Chamorro, Paola Sofía Paz Enríquez, David Ricardo Javier Realpe Cabrera 304

Modalidad de Póster
Área temática: Manejo, control y calidad 324

Tallo de la pitaya como coagulante natural en la potabilización del agua
Karen Melissa López Toro, Yurley Meza Delgado, Mario Alberto Jurado Eraso 326

Sistema de biorretención para el control del escurrimiento pluvial
Angela María Ceballos Rodríguez, Sebastián Camilo Pinta Pantoja, Francisco Ricardo Mafla Chamorro 334

Variabilidad Espacio-Temporal de Nitratos en la Zona Saturada del Suelo, vereda El Motilón
Yerson Camilo Contreras Cortes, Efrain Muñoz Realpe, Jenny Lucia Huertas Delgado 347

Aprovechamiento de residuos sólidos en filtros anaerobios de flujo ascendente como medios de soporte biológico
Leidy Johana Hidalgo Salas, Diana Marcela Guerrero Delgado, James Rosero Carvajal 354

Análisis de riesgos laborales asociados a la operación y mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Ptar de Ginebra, Valle del Cauca-Colombia, durante el año 2018
Alberto Cuartas Castillo, Juan Guillermo Popayán-Hernández, Ángel Alberto Triana Perez 367

Variación de nivel freático de una zona cercana a la laguna de La Cocha
Mónica Lucía Burgos Narváez, Yerson Camilo Contreras Cortes, Efrain Muñoz Realpe, Camila Andrea Narváez Vallejo, Jenny Lucia Huertas Delgado 376

Implementación de un Sistema de Tratamiento de Agua Segura en la vereda Pajajoy, Buesaco, Nariño
Renato Arturo Pantoja Guerrero. Juan Fernando Muñoz Arturo 385

Sistema Piloto para el control de olores - Caso: Industria Avícola 'Pollo al Día'
Diana Paola Coral Salcedo, Juan Carlos Narvaez Burgos, Karen Daniela Romo Timana 396

Determinacion de la calidad del agua por parámetros biológicos en la Quebrada Piquisiqui- Pasto
Héctor Alexander de la Cruz Parra, Sandra Milena Madroñero Palacios 415

Comparación de las propiedades fisicoquímicas de un suelo de uso pecuario y un suelo de bosque altoandino, municipio de Túquerres
Johanna Sthefanny Lagos Riascos, Jenny Lucia Huertas Delgado 424

Evaluación de la eficiencia de un biofiltro artesanal con musgo español para depuración de CO_2
Daniel Esteban Montufar Padilla, Claudia Lorena Duque Villa 437

Movilidad de plaguicidas mediante el Modelo Aquatox, en la laguna de La Cocha, municipio de Pasto
Erwin Gaviria Garces, Luis Alejandro Arturo Chaves, Mario Alberto Jurado Eraso 445

Modalidad de Presentación Oral
Área Temática: Gestión Ambiental 455

Biomodelo sostenible de huertas ecológicas para seguridad alimentaria: Gestión ambiental de extensión en Corhuila, Neiva
Luis Carvajal Pinilla, Geraldine Sánchez Puentes, Jesús Palomá Rojas 456

Asociación entre la calidad del aire y los efectos sobre la salud de la población durante el evento de Carnavales de Negros y Blancos en la ciudad de Pasto, Colombia
Claudia Lorena Duque Villa, Carol Bravo Rueda 468

Gobernabilidad del agua en la microcuenca Ahumaya ubicada en el municipio de Yacuanquer, Nariño
Marcela Caterine Araujo Prado, María Margarita Portilla González 476

Análisis de producción y disposición de residuos sólidos en los bloques 1, 2 y 6 de la Universidad Santiago de Cali, Sede Pampalinda, Colombia
Carlos Guevara-Fletcher, Linda Segura, Carolina Useche-R 484

Escenarios de cambio climático en un suelo de bosque
Pedro Bacca Acosta, Jean Alexander León Guevara, Juan Fernando Muñoz Paredes 493

Evaluación de la calidad del servicio de tres sistemas de acueducto rural en Aldana, Guachucal y Cuaspud
Dayana Stefanya Guevara Ortega, Karen Vanessa Morales Oñate, Paola Andrea Ortega Guerrero 508

Evaluación al nivel de adherencia al protocolo de gestión en seguridad y salud, de los trabajadores de la Empresa Aseoyotoco S.A.S E.S.P en el área de recolección de residuos sólidos en el año 2018
Mayerli Alexandra Pastes Diosa, Diana Lorena Ramírez Rodríguez, María Fernanda Restrepo, Juan Guillermo Popayán-Hernández 521

Economía ambiental sostenible: un aporte de las empresas transportadoras de la región andina a la conservación de los recursos naturales
Arlez María Valencia Restrepo, Jaiber Adrián Valencia Ospina, Luz Marina Santa, Alberto Cuartas Castillo, Juan Guillermo Popayán-Hernández 531

Taxonomía científica para la caracterización de los sistemas agrícolas mexicanos
Anyela Nayive Castillo Solarte, José Antonio Avalos Lozano, Mario Orlando Bonomi Cervantes 540

Capacidad de captura de carbono en el cultivo de caña panelera *Saccharum Officinarum*
María Patricia Obando Enriquez, Marly Andrea Delgado Pantoja, Yuly Yohana Vacca Guerrero 550

Gestión del territorio universitario: miradas y perspectivas para la educación ambiental
Alejandra María Rodríguez Guarín, Salomón Rodríguez Guarín, Sandra Faisuler Potosi Rodríguez, Mabel Cristina Calvache Muñoz 559

Modalidad de Póster
Área Temática: Gestión Ambiental 574

Appaga: una propuesta tecnológica para generar conciencia ambiental frente al consumo energético
Álvaro Gelpud, Giovanni Hernández Pantoja, Sandra Vallejo 576

Elaboración de placas planas con agregados de escombros y poliestireno expandido como materias primas
David Ricardo Javier Realpe Cabrera, Gina Lizeth Serna Melo 591

Sistemas de suministro de agua en el sector rural. Una revisión del Estado del arte
Paola Andrea Ortega Guerrero, Sandra Milena Madroñero Palacio 601

Turismo para la paz: una alternativa de posdesarrollo para la comunidad rural de Monterrey en el municipio de Guadalajara de Buga
Natali Roldán Ramírez, Juan Guillermo Popayán Hernández 613

Desarrollo del índice para determinar la autodepuración de calidad de aguas en cuencas hidrográficas
Diego Javier Pérez Ortega, Paula Andrea Montenegro, Carlos Alonso Ramírez, Aura María Rosero 617

Riesgo asociado en elaboración artesanal de gelatina de pata de res - Andalucía 2018
Alexandra Martínez Márquez, Daniela Jaramillo Restrepo, Diana Marcela Lozano Mosquera, Juan Guillermo Popayán Hernández 625

Presentación

Ciencias ambientales
Base para la sostenibilidad

La crisis ambiental de nuestro tiempo está tomando cada día más fuerza y desde la academia una de las actividades en donde se hace un aporte importante y absolutamente relevante es la divulgación del conocimiento, que es donde se genera un vínculo directo entre la investigación y la academia. Las Ciencias Ambientales abarcan un área extremadamente extensa y contempla en su evaluación la interacción de todos los recursos naturales y su lazo con el ser humano; en esa medida, se organizó el *1er Congreso Internacional de Ciencias Ambientales* en donde sus áreas temáticas fueron: i) manejo, control y calidad y ii) gestión ambiental. El objetivo de escoger estas áreas temáticas fue abarcar todos los problemas ambientales técnicos, tecnológicos y de innovación desarrollados a nivel nacional e internacional, conocer una visión más ampliada del comportamiento de la degradación de los recursos naturales y las soluciones que desde la academia y entidades públicas y privadas están realizado llegar a una sostenibilidad.

Para el Programa de Ingeniería Ambiental y la Facultad de Ingeniería de la Universidad Mariana es indispensable llevar a cabo los procesos de divulgación del conocimiento y realizar lazos importantes con otras instituciones que participaron en el evento.

El 1er Congreso Internacional de Ciencias Ambientales se desarrolló en los días 11 y 12 de octubre del 2018, recibió a más de 400 asistentes, 9 ponencias magistrales de países como México, Chile, Guatemala, Brasil y Colombia, se presentaron 33 ponencias orales y 20 en modalidad de poster esto para las dos áreas temáticas nombradas anteriormente, de estas ponencias se obtuvieron una totalidad de 53 artículos científicos que serán plasmados en este libro de investigación.





Modalidad de Presentación Oral

Área temática: Manejo, control y calidad

Arranque de una laguna de Alta Tasa para tratamiento de Efluentes Domésticos: Monitoreo del Desempeño

Iván Andrés Sánchez Ortiz[1]
Rafael Kopschitz Xavier Bastos[2]
Alan Augusto Teixeira[3]
Rafael Marques[4]
Jean Coutinho Oder[5]
Janderson Badim Bepler[6]

Resumen

El objetivo de la investigación fue monitorear el arranque de una laguna de Alta Tasa (LAT) para tratamiento de efluentes domésticos. En Viçosa-Brasil se estudió durante ocho días consecutivos, el arranque de una LAT en escala piloto, tratando un efluente de tanque séptico. Diariamente se midió las variables oxígeno disuelto (OD), pH, temperatura, nitrógeno amoniacal total (NAT), fósforo total (PT), DQO, nitratos, clorofila-*a* y se cuantificó el fitoplancton. Las concentraciones iniciales de OD, NAT, PT y DQO fueron, respectivamente de: 0,4, 91,8, 14,7 y 178 mg/L. No se registró fitoplancton, nitratos ni clorofila-*a*. La temperatura osciló entre 20,7 y 23,8 °C y el pH entre 8,0 y 8,5; la concentración final de nitratos fue de 5,5 mg/L, la de clorofila-*a* fue de 359,4 µg/L y la densidad final de fitoplancton fue de 2'105.263 células/ml. Después de siete días, las correspondientes eficiencias de remoción para NAT, PT y DQO fueron de 63,7, 18,4 y 38,8 % respectivamente; los indicios de crecimiento algal después de 24 horas de operación, así como el registro de concentraciones de nitrato a partir del sexto día, sugirieron la rápida colonización de la comunidad fitoplanctónica y la adaptación de bacterias nitrificantes para el tratamiento de efluente de tanque séptico.

Palabras clave: agua residual doméstica, arranque, lagunas de alta tasa, remoción de contaminantes, tratamiento de efluentes.

[1] Universidad de Nariño, Departamento de Recursos Hidrobiológicos. San Juan de Pasto – Nariño, Colombia. Correo electrónico: ivansaor@hotmail.com

[2] Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil. Brasil, Viçosa – Minas Gerais. Correo electrónico: rkxb@ufv.br

[3] Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Ambiental. Brasil, Viçosa – Minas Gerais. Correo electrónico: alan.augusto@ufv.br

[4] Universidade Federal de Viçosa, Departamento Biologia Geral. Brasil, Viçosa – Minas Gerais. Correo electrónico: rafael.dimarques@gmail.com

[5] Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Biologia Geral. Brasil, Viçosa – Minas Gerais. Correo electrónico: jeancoutinhooder@hotmail.com

[6] Universidade Federal de Viçosa, Laboratório de Controle de Qualidade da Água. Brasil, Viçosa – Minas Gerais. Correo electrónico: janderson.bepler@ufv.br

Start-Up of a High-Rate algal pond for Domestic Wastewater Treatment: Performance Monitoring

Abstract

The main objective of this research was to monitoring the start-up of a high rate algal pond (HRAP) for the domestic sewage treatment. In Viçosa-Brazil during eight consecutive days the startup of a pilot scale HRAP for treating a septic tank effluent was studied; the variables dissolved oxygen (DO), pH, temperature, total ammonia nitrogen (TAN), total phosphorous (TP), COD, nitrates, chlorophyll-*a* were measured daily and the phytoplankton were quantified. The initial concentrations of DO, TAN, TP and COD were respectively of 0.4, 91.8, 14.7 and 178 mg/L; there were no registered phytoplankton, nitrates and chlorophyll-*a*. The temperature varied from 20.7 to 23.8°C and the pH from 8.0 to 8.5; the nitrate final concentration was 5.5 mg/L; the final concentration of chlorophyll-*a* was 359.4 µg/L and the final phytoplankton density was 2'105.263 cells/mL. After seven days, the respective removal efficiencies for TAN, TP and COD were 63.7, 18.4 and 38.8%; the signs of algal growing after 24 hours of operation, and the measuring of nitrate levels from the sixth day suggested the quick colonization of the phytoplankton community and the adaptation of bacteria for nitrification for the septic tank effluent treatment.

Key words: Domestic sewage, start-up, high-rate algal ponds, pollutant removal, effluent treatment.

Partida de uma lagoa de alta taxa para tratamento de efluentes domésticos: Monitoramento do Desempenho

Resumo

O objetivo da pesquisa foi monitorar a partida de uma lagoa de alta taxa (LAT) para tratamento de efluentes domésticos. Em Viçosa-Brasil foi estudada durante oito dias consecutivos a partida de uma LAT em escala piloto tratando efluente de fossa séptica; diariamente foram medidas as variáveis oxigênio dissolvido (OD), pH, temperatura, nitrogênio amoniacal total (NAT), fósforo total (PT), DQO, nitratos, clorofila-*a* e foi quantificado o fitoplâncton. As concentrações iniciais de OD, NAT, PT e DQO foram respectivamente de 0,4, 91,8, 14,7 e 178 mg/L; não foi registrado fitoplâncton, nitratos nem clorofila-*a*. A temperatura variou entre 20,7 e 23,8°C e o pH entre 8,0 e 8,5; a concentração final dos nitratos foi de 5,5 mg/L, a da clorofila-*a* foi de 359,4 µg/L e a densidade final de fitoplâncton foi de 2' 105.263 células/mL. Depois de sete dias, as respectivas eficiências de remoção para NAT, PT e DQO foram de 63,7, 18,4 e 38,8%; indícios de crescimento algal depois de 24 horas de operação, assim como o registro de concentrações de nitrato a partir do sexto dia sugeriram a rápida colonização da comunidade fitoplanctónica e a adaptação de bactérias nitrificantes para o tratamento de efluente de fossa séptica.

Palavras-chave: Água residuária doméstica, partida, lagoas de alta taxa, remoção de poluentes, tratamento de efluentes.

Introducción

Las aguas residuales urbanas pueden ser una combinación de efluentes domésticos, industriales, de establecimientos comerciales e institucionales, aguas de lluvia y drenaje urbano, así como efluentes agrícolas y pecuarios (Corcoran, et al., 2010). Los efluentes domésticos son el tipo de agua residual más ampliamente estudiada y con mayor número de aplicaciones tecnológicas para su tratamiento. De acuerdo con Mara (2004), este tipo de agua residual puede ser clasificada con base en la concentración de la materia orgánica de acuerdo a los siguientes valores: (i) de baja concentración para DBO < 200 mg/l y DQO < 400 mg/l, (ii) de concentración media para DBO y DQO respectivamente del orden de 350 y 700 mg/l, (iii) de alta concentración para DBO y DQO respectivamente del orden de 500 y 1000 mg/l, (iv) de muy alta concentración para DBO > 750 mg/l y DQO > 1500 mg/l.

Las aguas residuales domésticas presentan concentraciones típicas del orden de 300 mg/l de DBO_5; 600 mg/l para DQO; 45 mg/l de nitrógeno total, de los cuales, típicamente 20 mg/l corresponden al nitrógeno orgánico y 25 mg/l al nitrógeno amoniacal; 7 mg/l de fósforo total y 1.100 mg/l de sólidos totales (Von Sperling & Chernicharo, 2005).

Según Spellman (2009), las plantas de tratamiento de aguas residuales son diseñadas con propósitos como proteger la salud pública y el abastecimiento de agua, así como preservar el mejor uso del líquido y de la vida acuática. Según Von Sperling (2005) existen tres asuntos importantes en términos de contaminación del agua causada por aguas residuales predominantemente domésticas: la contaminación por materia orgánica (por el consumo del oxígeno disuelto en los cuerpos de agua); la contaminación por microorganismos patógenos (por los riesgos de transmisión de enfermedades de vehiculación hídrica); la contaminación de lagos y represas (por la eutrofización, causada por los nutrientes N y P).

El tratamiento de las aguas residuales por medio de lagunas de estabilización principalmente es el resultado de la sedimentación y de una compleja simbiosis entre bacterias y algas, donde la oxidación de la materia orgánica se logra por bacterias en la presencia de oxígeno disuelto proporcionado por la fotosíntesis algal y por la re-aireación atmosférica (Beran y Kargi, 2005).

Según Kayombo, Mbwette, Katima, Ladegaard & Jørgensen (2005), los sistemas de tratamiento por lagunas de estabilización pueden incluir una única serie de lagunas anaerobia, facultativa y de maduración, o varias de tales series en paralelo. La necesidad de incluir lagunas de maduración depende de la calidad requerida para el efluente final, que a su vez depende de lo que se hará con el líquido: uso para irrigación restringida o no restringida; uso para cultivo de peces o vegetales acuáticos; vertimiento en cuerpos de agua superficiales o en aguas subterráneas (Peña y Mara, 2004).

Cuando en la serie de lagunas de estabilización, en vez de utilizar una laguna facultativa se instala una laguna de alta tasa (*high rate algal pond*), se logra un mejor desempeño del sistema de tratamiento; pese a que la laguna de alta tasa es menos profunda que la laguna facultativa secundaria, requiere de un TRH mucho menor y produce mucho más oxígeno disuelto (Green, Bernstone, Lundquist & Oswald, 1996). De acuerdo con Park, Craggs & Shilton (2011), las LAT poseen forma de raceway y presentan profundidades entre 0,2 y 1,0 m, en donde la mezcla del líquido se produce por pedales giratorios para suministrar una velocidad horizontal media de aproximadamente 0,15 a 0,3 m/s; la configuración de los raceways puede ser en la forma de una o varias pistas ovales alrededor de paredes divisorias centrales, y el fondo puede ser revestido o no, dependiendo de las condiciones del suelo y de las reglamentaciones locales.

Según Craggs, Heubeck, Lundquist & Benemann (2011), las LAT pueden utilizarse para remoción de la materia orgánica y nutrientes en diversos tipos de aguas residuales, tales como efluentes de lagunas anaerobias, aguas residuales domésticas pretratadas en los niveles primario o secundario y efluentes de agricultura; o inclusive para remoción de nutrientes en aguas grises con bajas concentraciones de materia orgánica en regiones áridas y semiáridas, tal como fue investigado por Maobe, Onodera, Takahashi, Satoh & Fukazawa (2014).

De acuerdo con Park y Craggs (2011), dichas lagunas realizan un efectivo tratamiento aerobio de los efluentes y remueven parte de los nutrientes por medio de la asimilación de la biomasa algal. Según Park, Craggs y Shilton (2011), la producción algal en las LAT puede ser maximizada al aliviar las condiciones limitantes, superar los parámetros inhibitorios y al controlar los consumidores y predadores de las algas.

Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue evaluar durante 8 días consecutivos el comportamiento de una LAT, utilizada para el tratamiento de aguas residuales domésticas efluentes de tanque séptico, en relación a la remoción de contaminantes asociados a la materia orgánica y nutrientes durante el arranque (*start up*) de dicha laguna.

Material y Métodos

Lugar del desarrollo de la investigación

Los experimentos se ejecutaron en el municipio de Viçosa, Estado de Minas Gerais, Brasil (20°45´14´´S, 42°52´54´´W), al interior del campus de la Universidad Federal de Viçosa–UFV-. Las LAT estuvieron localizadas en el Laboratório de Engenharia Sanitaria e Ambiental (LESA) de la UFV, y hacen parte de la infraestructura para desarrollo de investigaciones coordinadas por la profesora Maria Lúcia Calijuri del departamento de Ingeniería Civil de dicha universidad.

En los experimentos se utilizó agua residual doméstica de un barrio del perímetro urbano de Viçosa, cuya planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) es operada por el Servicio Autónomo de Agua y Efluentes (SAAE – Viçosa), la cual está conformada por sistemas de pretratamiento, seguidos por tratamiento anaerobio por medio de tanque séptico y filtro anaerobio.

Origen del agua residual doméstica

La PTAR del barrio de las Coelhas está conformada por unidades prefabricadas, cuya secuencia del tren de tratamiento se compone por: cámara de rejillas gruesas, cámara de rejillas finas, desarenador, tanque séptico y filtro anaerobio. Para el experimento se colectó y transportó para el LESA de la UFV 3000 L del efluente de tanque séptico. Se colectó el líquido de la cámara de salida del tanque séptico del barrio Coelhas, la captura del líquido se realizó por medio de una bomba sumergible marca Anauger, modelo 800 de 220 V, que bombeó el fluido para tanques de 500 L dispuestos en un camión de la División de Transportes de la UFV. El líquido colectado era transferido a tres reservorios instalados en el LESA para almacenamiento del agua residual, a partir de los cuales fue distribuido para unidades experimentales de postratamiento, conformadas por LAT, cuyas características geométricas y formatos básicos se presentan en la Figura 1.

La LAT utilizada para el tratamiento del agua residual está confeccionada en fibra de vidrio y posee las siguientes características: ancho 1,28 m; largo 2,86 m; profundidad total 0,5 m; profundidad útil 0,3 m; área superficial de 3,3 m², volumen útil de 1 m³ y fue operada con tiempo de retención hidráulica (TRH), variando entre 4 y 8 días.

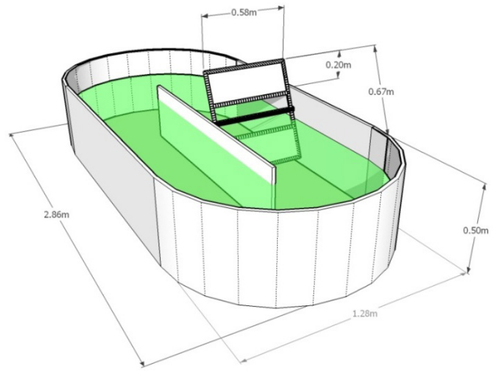


Figura 1. Dimensiones y características básicas de la laguna de alta tasa utilizada en el experimento.

La unidad de tratamiento fue instalada encima del suelo a una altura de aproximadamente 0,25 m; los pedales con 12 palas para agitación del agua fueron confeccionados en acero inoxidable, su movimiento fue impulsado por un motor eléctrico de 1 CV; la rotación se reguló por medio de un reductor acoplado al motor y controlada por un inversor de frecuencia (marca WEG serie CFW-10), que garantizaron una velocidad del líquido entre 0,10 y 0,15 m/s.

Para el arranque de la LAT durante el primer día, la unidad se llenó hasta una altura de 30 cm de columna de líquido y se encendió el sistema de agitación, se continuó la operación sin adición ni remoción del líquido por un período de 7 días.

Monitoreo de los parámetros de calidad del agua en el efluente del tanque séptico y en la LAT

Para evaluar el desempeño de las unidades de tratamiento del agua residual se monitoreó diariamente algunos parámetros de calidad del agua, siguiendo las disposiciones de Standard *Methods for the Examination of Water and Wastewater* (American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF), 2005). Los parámetros monitoreados fueron: Demanda química de oxígeno –DQO- (5220D); Fósforo total -PT- (4500-P C); Nitrógeno amoniacal -N-NH_3- (4500–NH_3C); Oxígeno disuelto, método membrana electrodo (4500–O G); pH, método electrométrico (4500-H B); Temperatura, método termo-eléctrico (2550 B); Clorofila-*a*.

Las colectas para análisis de la calidad del agua se hicieron a una profundidad de aproximadamente 10 cm, las muestras para identificación de fitoplancton se preservaron con lugol acético 5 %. Debido a la alta concentración de organismos fitoplanctónicos se hicieron diluciones a partir de 1 ml de la muestra, completando para 10 m con agua destilada. La densidad de fitoplancton y la identificación de los organismos, la cual se basó en literatura especializada, se estimó por medio de conteo de células en cámara Sedgwick-Rafter, de acuerdo a las metodologías recomendadas por APHA, AWWA y WPCF (2005); se utilizó microscopio binocular

marca Olympus, modelo cx31 con aumento de 400 veces. Se midió *in situ* pH, OD y temperatura, y se colectó muestras del líquido para análisis en laboratorio de DQO, NTK, NH_3, PT, E. coli y clorofila-*a* efluente de los puntos: fosa séptica de la PTAR Coelhas y LAT. El monitoreo se realizó diariamente durante 8 días consecutivos.

Resultados y Discusión

Caracterización inicial del agua residual afluente y fluente de la PTAR

Una caracterización inicial del afluente y del efluente final de la PTAR Coelhas, realizado el día 2 de marzo de 2017, indicó que la concentración afluente de materia orgánica a la planta de tratamiento en la forma de DBO y DQO fue respectivamente de 1.045 y 2.269 mg/L, la cantidad, como NMP de E. coli en el afluente fue de 2,5 E+6/100 ml y la concentración de NAT fue de 95,6 mg/l. Los valores registrados en el líquido efluente al filtro anaerobio fueron de 176 mg DBO/L, 746 mg DQO/L, 1,89 E+5 NMP/100 ml y 81,6 mg NAT/L.

Las altas concentraciones de materia orgánica pudieron presentarse porque en el momento de realizar la colecta del líquido afluente a la PTAR, el sistema de alcantarillado del sector pudo recibir la descarga de efluente proveniente de una pequeña industria de productos alimenticios de origen animal. A partir de los datos colectados, las eficiencias de remoción de la materia orgánica, del nitrógeno amoniacal y de los indicadores de contaminación fecal por la PTAR fueron: 67,1 % de la DQO, 83,2 % de la DBO, 92,4 % para E. coli, así como 14,6 % para NAT.

Resultados del monitoreo

Con base en el monitoreo inicial realizado en el efluente de la fosa y diariamente en el efluente de la LAT se determinó que la concentración inicial del OD fue de 0,4 mg/l, valor superior a cero como resultado de la transferencia del gas al efluente anaerobio, debido a la caída del líquido y la turbulencia generada al momento de llenado de la LAT. En la Figura 2 se presenta de manera gráfica el comportamiento registrado tanto para OD como para pH durante el experimento.

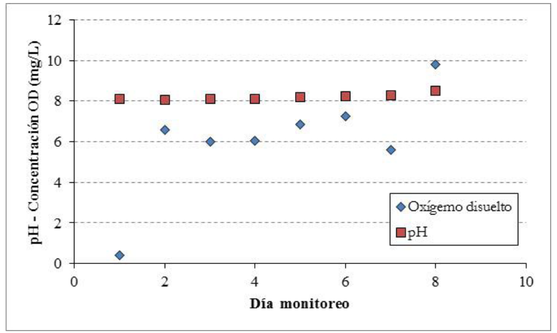


Figura 2. Variación del pH y OD en la LAT durante el monitoreo.

El pH inicial fue de 8,1 y la temperatura del líquido al concluir el llenado fue de 21,2 °C; la concentración inicial de NAT fue de 91,8 mg/L, el valor medido para fósforo total fue de 14,7 mg/L, y la concentración inicial de la DQO fue de 186,3 mg/L. Se observó que los niveles iniciales de PT fueron elevados por encima de los valores típicos descritos por Von Sperling y Chernicharo (2005). Por su parte, la concentración de la DQO estuvo por debajo de los valores reportados por tales autores, debido a que el agua residual utilizada consistió en el efluente de un reactor anaerobio, en donde ya hubo remoción de una fracción importante de la materia orgánica. En relación al NAT, la concentración inicial fue alta, ya que durante los procesos de degradación anaerobia de la materia orgánica hay un aumento de los niveles de NAT como resultado de la amonificación.

Como se esperaba, durante la medición inicial de las características del agua residual no se registró valores de nitrato, ni de clorofila-a, así como no hubo registro de comunidad fitoplanctónica.

Durante el experimento, los valores de temperatura del líquido medidos a las 8 a. m. variaron entre 20,7 y 23,8 °C, con valor medio de 22,4 °C y desviación típica de 1,32 °C. El pH varió entre 8,07 y 8,50 unidades, valor que se incrementó progresivamente como resultado de los procesos cada vez más intensos de la actividad fotosintética, cuyos valores promedio y de desviación típica fueron respectivamente de 8,10 y 0,14 unidades.

Durante el primer día de funcionamiento de la LAT, la agitación del agua residual realizó transferencia de OD de la atmósfera hacia al líquido; sin embargo, la actividad fotosintética también se evidenció a través de las altas concentraciones de oxígeno disuelto registradas a partir del segundo día, donde el valor promedio a lo largo del experimento fue de 6,06 mg/L con desviación típica de 2,63 mg/L y con una concentración máxima de 9,79 mg/L.

La concentración media de NAT fue de 61,5 mg/L, la desviación típica fue de 19,8 mg/L y el valor mínimo registrado el último día fue de 33,4 mg/L; con base en los valores inicial y final, la eficiencia de remoción del nitrógeno amoniacal fue de 63,6 %, para un tiempo de retención hidráulica de 8 días.

El valor promedio de la DQO fue de 147,1 mg/L, con desviación típica de 33,7 mg/L, la concentración mínima, medida el octavo día, fue de 91,3 mg/L; a partir de los valores inicial y final, la eficiencia de remoción de la materia orgánica en la forma de DQO fue de 38,8 %.

La concentración media de PT fue de 13,3 mg/L, la desviación típica fue de 1,04 mg/l y el valor mínimo, registrado el último día, fue de 11,58 mg/L. Con base en las concentraciones del primer y octavo día, la eficiencia de remoción del fósforo total fue de 18,4 %. En el líquido efluente del tanque séptico, como era previsible, no se registró ningún tipo de organismos fitoplanctónicos, ni presencia de clorofila-a, así como de nitratos. Únicamente en los días 7 y 8 del monitoreo se registraron concentraciones de nitratos, cuyos valores respectivos fueron de 2,4 y 5,5 mg/L; dicha situación sugiere la adaptación de microorganismos nitrificantes a las condiciones de operación de la LAT y para las características del agua residual efluente de reactor anaerobio utilizadas en la presente investigación.

La concentración media de clorofila-a fue de 93,0 µg/L, con desviación típica de 128,0 µg/L; a partir del segundo día se registró valores para dicha variable de la calidad del agua, con un valor inicial de 5,34 µg/L y un máximo en el octavo día de 359,4 µg/L. Similar situación se presentó para las concentraciones de fitoplancton, que para el segundo día reportaron 1.919 células/mL, cuyos valores medio y desviación típica a lo largo del experimento fueron de 492.124 y 813.740 cél/mL; el máximo valor medido en el octavo día fue de 2.105.263 células/mL. Los organismos identificados en el líquido presente en la laguna de alta tasa correspondieron principalmente a los géneros de la clase *Chlorophyceae: Desmodesmus sp., Eutetradesmus sp.* y *Scenedesmus* sp., seguidos de organismos de la clase *Cryptophyceae,* género *Cryptomonas sp.*, la clase *Euglenophyceae,* género *Trachelomonas sp.* y de la clase *Chlamydophyceae*, género *Synura sp.* El mayor predominio fue de los géneros *Desmodesmus sp.* y *Scenedesmus sp.*

Con base en lo anterior, los indicios del crecimiento algal a partir de las 24 horas de operación de la LAT evidenciaron la rápida colonización de la comunidad fitoplanctónica, indicando que el sistema evaluado es apropiado para el tratamiento de efluentes domésticos provenientes de reactores anaerobios.

Los resultados indican la pertinencia del uso de LAT para el postratamiento de efluentes de unidades anaerobias en la depuración de aguas residuales domésticas, principalmente ,al considerar las ventajas de su uso, expresadas por Young, Taylor y Fallowfield (2017), en el sentido que, las aguas residuales pueden tratarse por medio de las lagunas de alta tasa hasta niveles de calidad aceptables en tan solo la quinta parte del tiempo requerido por otros sistemas de lagunas y utilizando menos del 50 % del área normalmente necesaria para tales sistemas.

Conclusión

Las lagunas de alta tasa son unidades adecuadas para realizar el postratamiento de efluentes de reactores anaerobios en la depuración de aguas residuales domésticas. La unidad de tratamiento evaluada reportó crecimiento algal a partir de las 24 horas de operación y concentraciones de nitrato desde el sexto día, por ello, se espera una rápida colonización de la comunidad fitoplanctónica para remoción de N y P, así como la adaptación de bacterias nitrificantes para la transformación del amonio, además de la esperable remoción de la materia orgánica.

Referencias

American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF). (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (21.ª ed.). Washington DC: American Public Health Association APHA.

Beran, B. y Kargi, F. (2005). A dynamic mathematical model for wastewater stabilization ponds. *Ecological Modelling, 181*(1), 39-57. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2004.06.022

Corcoran, E., Nellemann, C., Baker, E., Bos, R., Osborn, D., y Savelli, H. (Eds.). (2010). Sick water? The central role of wastewater management in sustainable development. Norway: United Nations Environment Programme –UNEP-. Recuperado de https://gridarendal-website-live.s3.amazonaws.com/production/documents/:s_document/208/original/SickWater_screen.pdf?1486721310

Craggs, R. J., Heubeck, S., Lundquist, T. J. & Benemann, J. R. (2011). Algal biofuels from wastewater treatment high rate algal ponds. *Water Science & Technology, 63*(4), 660-665. doi: 10.2166/wst.2011.100

Green, F. B., Bernstone, L. S., Lundquist, T. J. & Oswald, W. J. (1996). Advanced integrated wastewater pond systems for nitrogen removal. *Water Science and Technology, 33*(7), 207-217. doi: https://doi.org/10.1016/0273-1223(96)00356-3

Kayombo, S., Mbwette, T. S. A., Katima, J. H. Y., Ladegaard, N. & Jørgensen, S. E. (2005). *Waste stabilization ponds and constructed wetlands design manual*. Osaka, Japan: United National Environment Programme.

Maobe, H. D., Onodera, M., Takahashi, M., Satoh, H. & Fukazawa, T. (2014). Control of algal production in a high rate algal pond: investigation through batch and continuous experiments. *Water Science and Technology, 69*(12), 2.519-2.525. doi: 10.2166/wst.2014.174

Mara, D. (2004). *Domestic wastewater treatment in developing countries*. London: Earthscan.

Park, J. B. K. & Craggs, R. J. (2011). Algal production in wastewater treatment high rate algal ponds for potential biofuel use. *Water Science and Technology, 63*(10), 2403-2410. doi: https://doi.org/10.2166/wst.2011.200

Park, J. B. K., Craggs, R. J. & Shilton, A. N. (2011). Wastewater treatment high rate algal ponds for biofuel production. *Bioresource Technology, 102*(1), 35-42. doi: https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.06.158

Peña, M. y Mara, D. (2004). Waste stabilisation ponds. Recuperado de http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd27/ponds.pdf

Spellman, F. R. (2009). *Water and wastewater treatment plant operations* (2.ª ed.). London: Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group.

Von Sperling, M. (2005). Princípios do tratamento biológico de águas residuárias (Vol. 1). En *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos* (3.ª ed.). Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG.

Von Sperling, M. & Chernicharo, C.A. (2005). *Biological wastewater treatment in warm climate regions* (Vol. 1). Padstow, UK: IWA Publishing.

Young P., Taylor M. & Fallowfield H. J. (2017). Mini-review: high rate algal ponds, flexible systems for sustainable wastewater treatment. *World Journal Microbiology and Biotechnology, 33*(6), 117. doi: 10.1007/s11274-017-2282-x

Evaluación de la Modificación del Escurrimiento Superficial de la Cuenca Ribeirão de Santa Rita - Fernandópolis / Sp-Brasil, por los Procesos de Urbanización y el Potencial de Reducción del Caudal con la Aplicación de Técnicas Compensatorias

Gisele Carvalho Rodrigues[7]
Milene Ferreira da Silva[8]
Mauricio Antonio Santini Junior[9]

Resumen

El proceso de urbanización ha provocado diversos problemas en diferentes ámbitos de la sociedad, especialmente, en el medio ambiente, debido al aumento considerable de la ocurrencia de inundaciones. El presente trabajo tiene como objetivo analizar la influencia del proceso de urbanización sobre el caudal, pico y tiempo de respuesta para un periodo en la cuenca hidrográfica Ribeirão de Santa Rita, ubicada en el municipio de Fernandópolis /SP- Brasil. Posteriormente, evaluar el empleo de técnicas compensatorias para reducir los efectos de riesgo causados por este proceso. El modelo SWMM se utilizó para propagar el flujo. Los datos como área, declividad y porcentaje de área impermeable fueron obtenidos por el software de sistemas de información geográfica (SIG) ArcGis. Fueron analizados los escenarios de 2002 y 2017, con el auxilio de las imágenes de satélites, para conocer las modificaciones a lo largo del tiempo. También se empleó técnicas compensatorias, techos verdes y pavimentos permeables para el escenario de posurbanización, donde se encuentra el mayor porcentaje de área impermeable. Se comparó los análisis de los resultados en lo que se refiere a caudal pico y tiempo de respuesta. Los resultados evidenciaron que las técnicas redujeron hasta un 36 % del caudal pico y retrasaron el tiempo pico hasta 24 minutos.

Palabras clave: drenaje urbano, SIG, SWMM, técnicas compensatorias.

[7] FEF-Fundação Educacional de Fernandópolis. Brasil, Fernandópolis/SP. Correo electrónico: gisele_c_rodrigues0812@hotmail.com

[8] FEF-Fundação Educacional de Fernandópolis. Brasil, Fernandópolis/SP. Correo electrónico: milenemifsilva37@gmail.com

[9] FEF-Fundação Educacional de Fernandópolis. Brasil, Fernandópolis/SP. Correo electrónico: mauriciosantinijr@gmail.com

Evaluation of the Amendment of the Surface Draining of the Santa Rita River Basin - Fernandópolis / Sp, by the Urbanization Processes and the Potential of Flow Reduction by the Application of Compensatory Techniques

Abstract

The urbanization process has caused several problems in different areas of society, especially in the environment, with a considerable

increase in the occurrence of floods. The objective of this study is to analyze the influence of urbanization on peak flow and response time over the years in the Ribeirão do Santa Rita basin located in the city of Fernandópolis, Brazil, and to evaluate the use of compensatory techniques to reduce the effects by this process. The SWMM model was used to propagate the flow. The geographic information systems (GIS) software ArcGis allowed to know data such as area, decline and percentage of waterproof area. The scenarios of 2002 and 2017 were analyzed, with the aid of satellite images, to know the modifications over time. Low Impact Development techniques, green roofs and permeable pavements were also used for the post urbanization scenario, where the highest percentage of impermeable area was found. Analyzes of the results were compared in terms of peak flow and response time. The results showed that the techniques reduced up to 36% of peak flow and delayed the peak time up to 24 minutes.

Key words: urban drainage, GIS, SWMM, compensatory techniques.

Avaliação da Alteração do Escoamento Superficial da Bacia Ribeirão do Santa Rita – Fernandópolis/ Sp Pelos Processos de Urbanização E O Potencial De Redução De Vazão Pela Aplicação de Técnicas Compensatórias

Resumo

O processo de urbanização tem provocado diversos problemas em diferentes âmbitos da sociedade, especialmente no ambiental, com o aumento considerável da ocorrência de inundações. O presente trabalho tem como objetivo, analisar a influência da urbanização sobre a vazão de pico e tempo de resposta no decorrer dos anos na bacia hidrográfica Ribeirão do Santa Rita localizada no município de Fernandópolis/Brasil, e posteriormente, avaliar o emprego de técnicas compensatórias para reduzir os efeitos causados por esse processo. O modelo SWMM foi utilizado para propagar o escoamento. Os dados como área, declividades e porcentagem de área impermeável foram obtidos pelo software de sistemas de informação geográfica (SIG) ArcGis. Os cenários de 2002 e 2017 foram analisados, com o auxílio das imagens de satélites, para conhecer as modificações no decorrer do tempo. Foram também empregadas as técnicas compensatórias, telhados verdes e pavimentos permeáveis, para o cenário de pós urbanização, onde se encontra a maior porcentagem de área impermeável. As análises dos resultados foram comparadas no que diz respeito a vazão de pico e tempo de resposta. Os resultados mostraram que as técnicas reduziram em até 36% da vazão de pico e retardaram o tempo de pico em até 24 minutos.

Palavras-chave: Drenagem Urbana, SIG, SWMM, Técnicas Compensatórios.

Introducción

La ocupación de los espacios urbanos creció de manera exponencial en las últimas décadas, siendo catalizador de diversos procesos nocivos tanto ambientales, sociales como económicos. En lo que se refiere al estudio en cuestión, las inundaciones urbanas son un problema cada vez más recurrente que afecta los tres aspectos. Este proceso tiene mayor intensidad en América Latina, donde cerca del 47,2 % de la población reside en áreas urbanas (Tucci, 2005), muchas veces con crecimiento no planificado. Bollmann (2003), a través del análisis de datos del censo 2000 del IBGE - Instituto Brasileño de Geografía y Estadística-, dice con respecto a Brasil que más del 80 % de la población residen en áreas urbanas.

Diversos problemas surgen como consecuencia de la urbanización. El aumento de la impermeabilización del suelo resulta en el aumento de la cantidad y velocidad de flujo superficial, generando así modificaciones significativas en el ciclo hidrológico (Guo y Urbonas, 2013). Este proceso se agrava por la falta de gestión apropiada de los sistemas de drenaje, lo cual hace que la red de drenaje no sea capaz de conducir las aguas pluviales de manera sostenible. Otro factor es la ocupación inadecuada del espacio urbano, muchas veces en regiones sujetas a inundación natural de los ríos. Por eso, es de extrema importancia identificar tales modificaciones y la manera cómo mitigar el problema causado por la misma.

El empleo de medidas compensatorias es fundamental, ya que propone disminuir el flujo superficial y aumentar la tasa de infiltración en el suelo, con el objetivo principal de regresar a la propagación del flujo de la cuenca a su estado natural (Fletcher, Andrieu y Hamel, 2013). Estas medidas se clasifican según Baptista, Nascimento y Barraud (2005) en tres tipos: control en la fuente, técnicas para control en los sistemas viales, y técnicas para control aguas abajo.

Es importante resaltar que las técnicas compensatorias son también conocidas como sistemas LID's (*Low impact development*), y consideran toda cuenca hidrográfica como unidad de planificación, conduciendo al desarrollo de proyectos adecuados y eficientes.

Para la simulación de la cantidad de flujo y análisis del empleo de técnicas compensatorias se recurrió a un software ampliamente utilizado (Cipolla, Maglionico y Stojkov, 2016; Riaño-Briceño, Barreiro-Gómez, Ramirez-Jaime, Quijano y Ocampo-Matinez, 2016; Formiga, Carvalho, Silva y Soares, 2016; Burger, Sitzenfrei, Kleidorfer y Rauch, 2014), el cual es SWMM-Storm Water Management Model, un modelo de lluvia-caudal que puede introducir diversos controles LID's, tales como: cuencas de infiltración, trincheras de infiltración, pavimentos permeables, cisternas, valles de infiltración, entre otros.

Por lo tanto, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar la influencia del proceso de urbanización sobre el caudal pico y el tiempo de respuesta en la cuenca hidrográfica Ribeirão de Santa Rita. Además de, emplear técnicas compensatorias no estructurales, con el fin de reducir los efectos de este proceso, utilizando el SWMM como soporte.

Desarrollo

La cuenca hidrográfica Ribeirão de Santa Rita tiene el punto de salida localizado a la latitud 575744.00 m Este y longitud 7756457.00 m Zonza 22 Sur, posee un área de 6,42 km², con suelo de mayor predominancia arcilloso rojo-amarillo. Está ubicada en el municipio de Fernandópolis, Estado de São Paulo, Brasil.

La caracterización de la cuenca se inició por el sistema de drenaje, variable importante para realizar el modelado por medio del SWMM. Por lo tanto, para una mejor organización del desarrollo de este trabajo, se dividió la cuenca en estudio de 34 subcuencas adyacentes (ver Figura 1), a través de la ayuda del software de sistema de información geográfica (GIS), ArcGis.

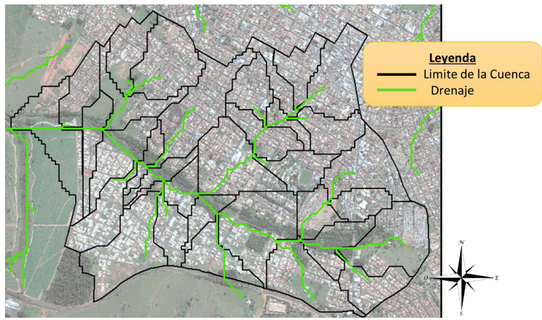


Figura 1. Cuenca Ribeirão de Santa Rita y con las 34 subcuencas adyacentes.

Para el modelado de la propagación del flujo, el SWWM utiliza, para las galerías, la ecuación de Saint-Venant en 1 D expresada por la ecuación 1, pudiendo esta ser simplificada (método de la onda cinemática y onda dinámica), o utilizada con todas sus variables. Para este trabajo se utilizó el método completo de propagación de flujo.

$$\frac{dQ}{dt} + \frac{\left(d\frac{Q^2}{A}\right)}{dx} + g.A\left(\frac{d_y}{dx} - S_0 + S_f\right) = 0 \qquad [1]$$

Donde:

$\frac{dQ}{dt}$: Aceleración local;

$\frac{\left(d\frac{Q^2}{A}\right)}{dx}$: Aceleración convectiva;

$\frac{d_y}{dx}$: Diferencia de las fuerzas de presión en el recorrer del volumen de control;

S_f : Fuerza de fricción;

S_0: Representación de la fuerza motriz de la gravedad, producida por el peso del cuerpo de agua.

En cuanto al flujo superficial, el SWMM considera un modelo de depósito no lineal, donde toda la entrada del sistema es hecha por la precipitación (y deshielo cuando ocurra) y las salidas por evaporación e infiltración (ver Figura 2).

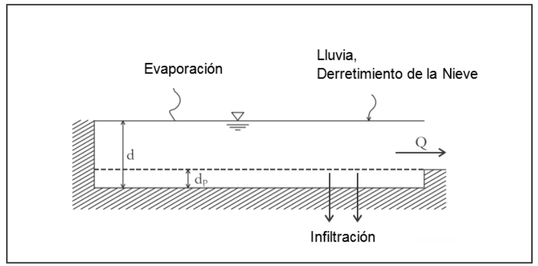


Figura 2. Modelo del depósito no lineal.
Fuente: Grupo Multidisciplinar de modelación de fluidos, 2005.

La altura dp representa toda el agua que se almacena permanentemente en la subcuenca, ya que el agua que sobrepasa ese límite (dp) se escurre (Q); la altura d representa toda la lámina de agua. En el caso de un sistema de ancho uniforme tenemos la ecuación 2, teniendo los parámetros p, e, i informados por el operador; la parte de flujo superficial (Q) es expresada por la ecuación 3, considerando el flujo en régimen permanente y uniforme (onda cinemática).

$$\frac{dH}{dt} = p - e - i - Q \qquad [2]$$

Donde:

p : Tasa de precipitación;

e : Tasa de evaporación;

i : Tasa de infiltración;

Q: Escurrimiento superficial.

$$Q = W.\frac{1}{\eta}.(d - d_p)^{\frac{5}{3}}.S^{\frac{1}{2}} \qquad [3]$$

Donde:

W: Ancho de la sub-cuenca (m);

η : Coeficiente de Rugosidad de Manning;

S: Declividad media de la sub-cuenca (m/m).

El SWMM posee tres alternativas para el modelado de la infiltración, a saber: Horton, modelo basado en observaciones empíricas; Green-Ampt, basado en observaciones físicas; Curve Number, de naturaleza empírica. Para este trabajo se eligió el método de Horton, debido a que es un método de fácil aplicación y por ser ampliamente utilizado para ese tipo de trabajo. Además, otro atributo importante es el Coeficiente de Rugosidad de Manning, utilizado para los tubos de drenaje igual a 0.014 y para los canales 0.035 de acuerdo con Porto (2006).

Con el fin de analizar la influencia de la urbanización sobre el hidrograma para los años 2002 y 2017, fue necesario realizar la clasificación supervisada de las imágenes georreferenciadas para obtener el porcentaje de áreas impermeables en la cuenca analizada. Para ello, los píxeles de las imágenes recibieron el valor de 1 para área permeable y 2 para área impermeable, por medio de una estadística por zona se obtuvo el porcentaje impermeable de cada subcuenca, procesos realizados a través del software ArcGis. También, por medio de éste, se obtuvo datos como área de las subcuencas y declividades medias.

Para adecuar las características de la cuenca real para un modelo rectangular, los anchos de las subcuencas pasaron por adecuaciones, para ello, se utilizó la metodología de Guo y Urbonas (2009), cuando X ≤ K, y el método tradicional cuando X > K, siendo K el factor de forma de la cuenca (usualmente entre 4 y 6) y X el área total de la cuenca dividida por la longitud del canal principal al cuadrado. Por lo tanto, cuando X ≤ K se utilizó las ecuaciones 4, 5 y 6.

$$L_W = C \times Y \qquad [4]$$

$$Y = (1{,}5Z)\left(\frac{2}{1-2K}X^2 - \frac{4K}{1-2K}X\right) \qquad [5]$$

$$Z = \frac{Am}{A} \qquad [6]$$

Donde:

A : Área Total;

Am: Mayor área entre los dos lados del canal;

L_W : Ancho de la Cuenca;

C: Comprimento do Canal principal;

Y : Factor de Forma de la Cuenca;

K: Adoptado como 4;

Z: Razón entre la mayor área entre los dos lados del canal y el área total

Cuando X > K se utilizó el método tradicional, que considera la anchura como la anchura media de la cuenca. Para ello, 5 (cinco) anchos fueron seleccionados en cada subcuenca natural, por medio de ArcGis, y así se realizó el promedio entre ellas. La Tabla 1 muestra todos los datos levantados para representar el escenario real de la cuenca.

Tabla 1. *Características de las Subcuencas sin el empleo de técnicas compensatorias*

Subcuencas	Área (ha)	i (%)	Área Imp. Para 2002 (%)	Área Imp. Para 2017 (%)	L (m)	K	Am(m²)	Z	X	y	Lw (m)
0	33,57	3,21	39,95	52,90	653,35	4,00	167850,0	0,50	0,79	1,13	738,88
1	17,01	3,00	42,35	73,20	408,20	4,00	99526,0	0,59	1,02	1,52	622,45
2	12,15	3,10	63,37	76,78	-	-	-	-	-	-	191,67

3	26,82	1,74	62,97	82,24	394,71	4,00	166432,0	0,62	1,72	2,87	1134,48
4	16,74	2,73	65,20	82,40	-	-	-	-	-	-	285,69
5	27,45	2,87	71,00	90,46	323,35	4,00	139339,0	0,51	2,63	5,29	1711,74
6	13,86	2,77	69,90	87,63	-	-	-	-	-	-	254,49
7	8,82	2,86	60,70	82,54	-	-	-	-	-	-	187,24
8	6,21	3,24	63,66	73,10	174,85	4,00	34525,0	0,56	2,03	3,75	656,31
9	15,93	3,39	56,43	77,01	247,28	4,00	96750,0	0,61	2,61	4,72	1167,26
10	14,85	3,20	66,73	85,06	273,16	4,00	119728,0	0,81	1,99	2,69	735,71
11	35,19	2,73	52,14	78,25	745,48	4,00	212899,0	0,60	0,63	0,70	520,87
12	30,69	2,98	45,68	69,47	347,13	4,00	203047,0	0,66	2,55	4,32	1500,21
13	17,19	2,89	33,92	57,16	-	-	-	-	-	-	264,00
14	16,92	3,61	34,53	39,95	344,56	4,00	104514,0	0,62	1,43	2,29	787,66
15	22,05	3,31	30,25	56,30	369,41	4,00	123915,0	0,56	1,62	2,84	1048,77
16	35,28	3,19	12,90	63,67	604,71	4,00	300104,0	0,85	0,96	1,00	604,17
17	19,98	3,28	5,51	77,12	292,28	4,00	183424,0	0,92	2,34	2,72	795,92
18	6,93	3,59	30,60	62,51	-	-	-	-	-	-	352,60
19	7,83	3,31	26,36	45,14	157,28	4,00	49050,0	0,63	3,17	5,74	902,45
20	1,98	2,66	15,73	46,46	-	-	-	-	-	-	101,00
21	10,17	3,75	32,55	63,49	324,85	4,00	57146,0	0,56	0,96	1,44	468,12
22	12,96	3,40	18,00	75,55	207,43	4,00	90167,0	0,70	3,01	5,00	1037,37
23	9,27	3,69	20,79	49,22	212,13	4,00	59736,0	0,64	2,06	3,46	733,61
24	32,76	3,38	52,40	73,86	621,84	4,00	206732,0	0,63	0,85	1,10	686,13
25	37,71	3,29	35,88	51,77	579,41	4,00	215554,0	0,57	1,12	1,76	1022,48
26	12,51	3,58	32,30	63,12	422,13	4,00	65250,0	0,52	0,70	0,92	387,41
27	16,38	3,92	33,36	40,58	324,85	4,00	97768,0	0,60	1,55	2,60	845,28
28	29,07	3,10	31,18	53,63	671,99	4,00	159509,0	0,55	0,64	0,77	514,47
29	16,92	3,26	22,94	58,61	549,50	4,00	112937,0	0,67	0,56	0,51	280,96
30	31,05	3,06	8,12	22,90	420,00	4,00	179901,0	0,58	1,76	3,09	1297,87
31	14,40	3,32	10,47	38,22	330,00	4,00	80666,0	0,56	1,32	2,21	730,62
32	15,66	3,48	34,48	60,54	-	-	-	-	-	-	206,20
33	15,57	2,35	25,75	65,26	-	-	-	-	-	-	179,20

Por último, se elaboró la lluvia de proyecto a partir de los datos proporcionados por la DAEE-Departamento de Aguas y Energía Eléctrica del Estado de São Paulo, referentes al puesto pluviográfico Votuporanga-B6-036R / DAEE, localizado geográficamente en la latitud 20 ° 26'23 ''S y longitud 49 ° 58'49''W y altitud de 513 m. Se optó por este puesto pluviográfico, puesto que el municipio de Fernandópolis no posee datos recolectados. A través de la curva IDF referente al puesto pluviográfico citado arriba y utilizando el Método de los Bloques Alternados, con los tiempos de retorno de 5 y 100 años, se llegó a las lluvias de proyectos con una duración de 60 minutos (tiempo de concentración de la cuenca hidrográfica del Ribeirão de Santa Rita), variando de 2 en 2 minutos.

Resultados

El porcentaje de áreas impermeables de una subcuenca es el principal factor interferente en la determinación del flujo superficial en el modelado hidrográfico, por lo cual su determinación debe ser hecha de forma precisa (Shinma, 2015). Así, se realizó la clasificación del uso y ocupación del suelo para el año 2002 y 2017, a través de eso fue posible obtener el porcentaje de áreas impermeables de cada subcuenca. Se puede percibir el aumento de la impermeabilización entre los dos años observando la Tabla 1, y la Figura 3. Fue posible identificar un crecimiento promedio en el área impermeable de 57,6 % entre los años 2002 y 2017.

Se observa que, la cuenca ya estaba urbanizada en toda la parcela norte en el año 2002 y durante el período analizado, fue apropiada en su parte sur, quedando casi completamente urbanizada a finales de 2017. Por medio del SWMM se fue simulando el diagrama de llenado para los años 2002 y 2017 para las lluvias de proyectos con tiempos de retorno de 5 y 100 años. El hidrograma que representa el resultado de esta simulación es presentado en la Figura 4.

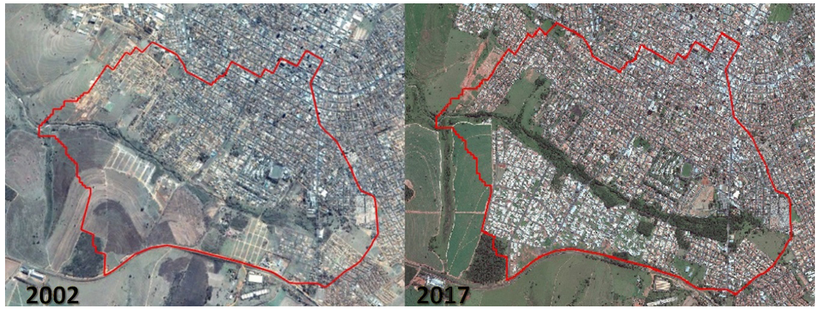
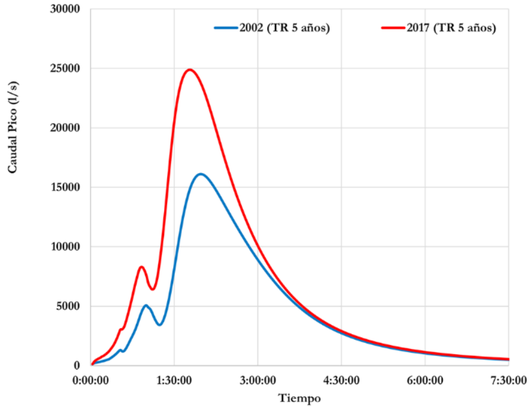


Figura 3. Evolución de la urbanización entre 2002 y 2017.



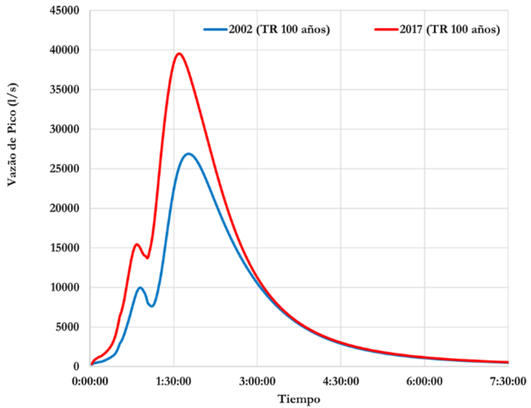


Figura 4. Hidrograma de crecida de 2002 y 2017 com TR 5 e TR 100.

En el caso de los hidrocarburos, se observó que en un escenario anterior a la urbanización intensa (2002) para tiempos de retorno de 5 y 100 años se obtuvieron caudales máximos de 16087,32 l/s y 27598,9 l/s respectivamente. En un escenario actual, después del crecimiento de la urbanización (2017), se obtuvo para los mismos tiempos de retorno caudales de pico de 24867,34 l/s y 39553,89 l/s. En consecuencia, es posible observar un aumento del 54,44 % de flujo para un tiempo de retorno de 5 años y un aumento del 47,01 % para un TR de 100 años.

De manera análoga podemos observar que, cuanto mayor es el porcentaje de área impermeable menor será el tiempo de respuesta de la Cuenca Hidrográfica, pues hay una disminución en el volumen de agua infiltrado y aumento en el flujo superficial directo. Se observó que el tiempo de respuesta fue disminuido en 12 minutos y 10 minutos para los TR's de 5 y 100 años respectivamente.

El SWMM representa las técnicas compensatorias en capas, donde cada capa puede ser configurada por el modelador según sus necesidades. En el transcurso de este tópico se presentarán los principales parámetros utilizados para la implantación de las técnicas, parámetros establecidos a partir de revisión de literaturas y conocimiento de los autores. Se eligió para este trabajo las técnicas compensatorias, pavimentos permeables y tejados verdes. Las áreas correspondientes a estas técnicas fueron obtenidas por medio de ArcGis, clasificando las imágenes de satélite georreferenciadas y realizando una estadística por zona a través del software.

Las características de estas técnicas fueron elegidas tomando como base los suelos, rasgos y peculiaridades constructivas de la región. En cuanto a los pavimentos permeables, se consideró para la capa de superficie una rugosidad igual 0.1. En la capa de pavimento se usó un espesor de 150 mm, permeabilidad de 120 mm/h, índice de vacíos de 0.15. Para la capa de almacenamiento se optó por una altura de almacenamiento igual a 150 mm, índice de vacíos de 0.66 y tasa de infiltración de 12.70 mm/h.

Las características de las capas de los tejados verdes fueron: la capa de superficie recibió un volumen de vegetación de 0.9 %, rugosidad de 0.1 y declividad del 20 %. Es importante decir que fue considerada esa declividad porque los techos comunes de la mayoría de las casas brasileñas son de cerámica, con una inclinación de los azulejos que varían de 20 % a 40 %, sin embargo, es recomendado usar para tejados verdes una inclinación cercana al 2 % (Martins, 2017). Para la capa de suelo se optó por un espesor de 150 mm, porosidad igual a 0.437 %, capacidad de campo de 0,105 mm, punto de marchitez igual a 0.047 %, conductividad hidráulica de 120 mm/h, y succión capilar de 2.4 mm. Con la instalación de drenajes con coeficiente de drenaje igual a 3.00, fracción de vacíos igual a 0,5 y rugosidad de 10 mm.

Para realizar las simulaciones se crearon 3 escenarios, utilizando como base las fechas de 2017 (elegida por tener mayor porcentaje de área impermeable) y 2002 (imagen de satélite más vieja obtenida), siendo ellos el Escenario I, donde se consideró el 100 % de la capacidad posible de instalación de pavimentos permeables para el año 2017; Escenario II con 100% de la capacidad de intalación de tejados verdes y el Escenario III con 50 % de tejado verde y 50 % de pavimento permeable. A partir de esos escenarios se alteraron los porcentajes de áreas impermeables y los anchos de flujo de las subcuencas (ver Tabla 2). Esto se debe a que las áreas ocupadas por las técnicas pasan a ser áreas permeables, estas correcciones se elaboraron conforme el manual del SWMM (Rossman y Hubber, 2016).

Tabla 2. *Características de las subcuencas actualizadas debido al empleo de técnicas compensatorias*

Sub Cuencas	Área ocupada por LID en el Escenario I (ha)	Área ocupadas por LID en el Escenario II (ha)	Áreas ocupadas por LID en el Escenario III (ha)	Área Imp. del Escenario I (%)	Área Imp. del Escenario III(%)	Área Imp. del Escenario III (%)	Lw del Escenario I (m)	Lw del Escenario II (m)	Lw del Escenario III (m)
0	4,50	6,25	5,38	39,48	34,28	36,88	639,74	601,33	620,54
1	2,76	6,16	4,46	56,98	37,01	47,00	521,51	397,18	459,35
2	2,32	3,92	3,12	57,71	44,53	51,12	155,13	129,86	142,50
3	6,54	8,27	7,40	57,86	51,41	54,63	857,90	784,67	821,28
4	3,44	5,95	4,70	61,85	46,83	54,34	226,97	184,08	205,53
5	6,14	10,78	8,46	68,07	51,18	59,63	1328,55	1039,38	1183,97
6	2,94	5,21	4,07	66,42	50,07	58,24	200,50	158,89	179,70
7	1,91	3,00	2,45	60,93	48,52	54,72	146,77	123,54	135,15
8	1,05	2,08	1,56	56,26	39,66	47,96	545,81	436,86	491,33
9	3,39	4,67	4,03	55,73	47,70	51,71	918,84	825,16	872,00

10	3,41	5,12	4,26	62,09	50,60	56,35	566,73	482,20	524,46
11	7,56	10,78	9,17	56,78	47,61	52,20	409,04	361,28	385,16
12	5,37	8,94	7,16	51,96	40,33	46,15	1237,52	1063,05	1150,28
13	2,50	4,48	3,49	42,62	31,10	36,86	225,61	195,20	210,41
14	1,84	2,69	2,26	29,07	24,07	26,57	701,96	662,58	682,27
15	2,56	6,72	4,64	44,69	25,83	35,26	927,01	729,21	828,11
16	4,99	15,47	10,23	49,54	19,82	34,68	518,80	339,24	429,02
17	3,34	8,76	6,05	60,42	33,27	46,85	663,00	446,91	554,95
18	1,17	1,77	1,47	45,60	36,98	41,29	292,98	262,58	277,78
19	0,98	1,30	1,14	32,63	28,57	30,60	789,56	752,92	771,24
20	0,24	0,36	0,30	34,43	28,14	31,29	88,85	82,50	85,67
21	1,60	2,87	2,23	47,79	35,24	41,52	394,62	335,87	365,25
22	2,58	4,74	3,66	55,67	38,99	47,33	831,14	658,11	744,62
23	0,88	2,24	1,56	39,68	25,05	32,37	663,62	556,29	609,96
24	5,37	11,66	8,51	57,48	38,26	47,87	573,75	441,87	507,81
25	4,27	8,20	6,23	40,46	30,03	35,25	906,84	800,19	853,51
26	1,67	3,51	2,59	49,78	35,03	42,41	335,73	278,59	307,16
27	1,52	2,50	2,01	31,27	25,34	28,31	766,59	716,46	741,52
28	3,56	7,22	5,39	41,39	28,81	35,10	451,50	386,78	419,14
29	2,30	4,85	3,57	45,04	29,97	37,51	242,83	200,49	221,66
30	1,26	3,54	2,40	18,83	11,51	15,17	1245,05	1150,04	1197,55
31	1,15	2,80	1,97	30,20	18,81	24,51	672,02	588,81	630,41
32	2,02	4,12	3,07	47,65	34,22	40,94	179,62	151,93	165,77
33	2,59	3,81	3,20	48,63	40,76	44,70	149,40	135,30	142,35

Se analizó el comportamiento del flujo superficial al insertar los sistemas LID para el año 2017, por contener la situación más crítica en relación con la permeabilidad. Los hietogramas para los tiempos de retornos de 5 y 100 años se presentan en las Figuras 3 y 4 respectivamente, donde es posible observar el caudal pico y tiempo de respuesta para 3 escenarios diferentes, además de la situación en 2002 y 2017. Escenario I: escenario real sin empleo de técnicas compensatorias; Escenario II: implementación de pavimento permeable; Escenario III: implementación de tejado verde y Escenario IV: implementación del 50 % de pavimento permeable y 50 % de tejado verde.

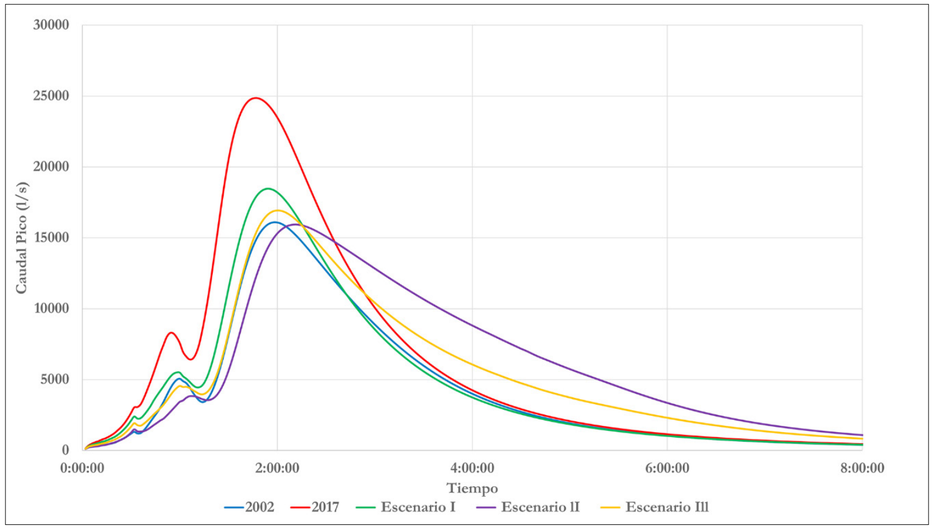


Figura 5. Hidrograma con implementación de los LID con Tr 5 años.

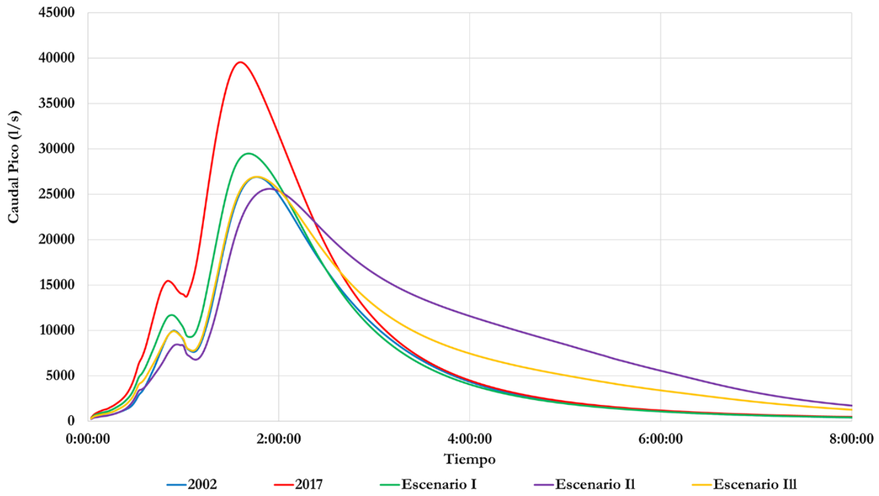


Figura 6. Hidrograma con implementación de los LID con Tr 100 años.

A través de los datos obtenidos en los hidrogramas se generó la Tabla 3, en la cual se comparó la eficiencia de la implantación de los LID en la disminución del caudal pico y análisis del tiempo de respuesta de la cuenca hidrográfica Ribeirão de Santa Rita para todos los escenarios desarrollados. A través de la Tabla 3 se observa que, en general, los sistemas LID presentan buenos resultados para control de inundaciones.

Asimismo, se observa que hay una reducción del caudal máximo en relación a 2017 (posurbanización y sin la implementación de los LID) cuando se utilizan las técnicas compensatorias. En el escenario II (con tejado verde) llega a presentar una reducción del 35,87 % para un TR de 5 años y del 35,27 % para un TR de 100 años. En la mayoría de los casos se observó un aumento de la concentración de agua en el suelo. Por último, con la implantación del Escenario III se obtuvo una reducción en el caudal de pico de 31,87 % y 31,94 % para el tiempo de retorno de 5 y 100 años en ese orden.

Con las técnicas compensatorias implementadas en todas las cuencas se logró, de manera general, retomar los caudales pico del escenario de 2002. Siendo que el Escenario I tuvo un aumento del 15 % y 10 % para los TR's de 5 y 100 años, el escenario II tuvo una disminución del 1 % y del 5 % y el escenario III tuvo un aumento del 5 % y de l0 %.

Se constata también, como se esperaba, debido a la disminución de la velocidad del flujo superficial, un crecimiento en el tiempo de respuesta de la cuenca en todos los escenarios (comparado con 2017) y para los dos tiempos de retornos utilizados, como se puede observar en la Tabla 3. El escenario I tuvo un aumento de 8 minutos con respecto a 2017 y una disminución de 4 minutos con respecto a 2002. Ya el escenario II tuvo un aumento de 22 minutos con respecto a 2017 y de 14 minutos en 2002. El escenario III tuvo un aumento de 14 y 2 minutos respectivamente.

Tabla 3. *Análisis de los hidrogramas en relación con el tiempo de respuesta y caudal pico de la cuenca*

Caudal pico (l/s)					
TR (años)	2002	2017	Escenario I	Escenario II	Escenario III
5	16101,60	24867,34	18466,61	15947,54	16942,83
100	26904,77	39553,89	29469,35	25601,28	26918,80
Tiempo de respuesta de la cuenca (minutos)					
TR (años)	2002	2017	Escenario I	Escenario II	Escenario III
5	01:58:00	01:46:00	01:54:00	02:12:00	02:00:00
100	01:46:00	01:36:00	01:42:00	01:54:00	01:46:00

El escenario que presentó mejores resultados permitió proponer la implantación integral de tejados verdes, con disminución significativa del caudal de pico y aumento del tiempo de respuesta. El pavimento permeable mejoró las características estudiadas, pero con menor eficiencia.

Es importante resaltar que las técnicas fueron implementadas en toda la cuenca y sin restricción de instalación, mitigando los efectos causados por el aumento del 57,6 % del área impermeable. Los efectos de la urbanización son complejos y necesitan un esfuerzo muy grande del poder público, tanto en lo que se refiere a los subsidios de implantación de técnicas de bajo impacto, como en la urbanización sostenible.

Los resultados obtenidos fueron relativos a un estudio de caso particular, siendo de extrema importancia la elaboración de simulaciones específicas para replicar los resultados en otras cuencas, con diferentes características fisiográficas y patrones de urbanización.

Conclusiones

Con base en los resultados fue posible verificar que la cuenca de Ribeirão de Santa Rita sufrió un aumento expresivo de áreas impermeables derivadas de la urbanización, con un aumento del 57,6 % del área impermeable en apenas 15 años, generando un aumento del caudal pico de 54 % y reducción del tiempo de respuesta de 12 minutos de la cuenca hidrográfica.

Al evaluar los resultados presentados por los diferentes escenarios y técnicas compensatorias, se constata que el escenario II (implantación de tejados verdes) presenta una mayor reducción en el caudal pico y el aumento del tiempo de respuesta de la cuenca comparado con los otros escenarios; el Escenario IV es el conjunto más eficiente para el control de inundaciones, pues hace uso de diferentes técnicas, trabajando en conjunto y también presentó una disminución significativa en el caudal pico que llegó al 31,87 % con un TR de 5 años y el 31,94 % para un TR de 100 años.

Las técnicas compensatorias pueden ser importantes aliadas al control a las crecidas e inundaciones provocadas por la urbanización. Generando una reducción significativa en el caudal pico y aumento en el tiempo de respuesta. La implementación de esas obras requiere de gran esfuerzo y educación de la población y poder público. Se nota que la práctica de estas técnicas todavía es poco conocida, principalmente en grandes ciudades de países en desarrollo, por lo tanto, es necesaria la acción inmediata, tanto del poder público y del poder privado en acciones para viabilizar esas técnicas.

Las técnicas de SIG para obtener las características de las cuencas fueron satisfactorias, pudiendo ser replicadas a otras localidades y utilizadas por el poder público para una mejor planificación de los recursos hídricos.

Los resultados obtenidos de esta investigación son exclusivamente del estudio de caso de la cuenca de Ribeirão de Santa Rita, pero la metodología utilizada puede servir de base para obtener los resultados de otras cuencas específicas.

Referencias

Baptista, M., Nascimiento, N. y Barraud, S. (2005). *Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH

Bollmann, H. (2003). *Relação da densidade populacional sobre variáveis de qualidade físico-química das águas superficiais em microbacias hidrográficas urbanas sem cobertura sanitária em Porto Alegre – RS* (tesis doctoral). Universidad Federal Do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Recuperado de https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/5907/000477547.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Burger, G., Sitzenfrei, R., Kleidorfer, M., Rauch, W. (2014). Parallel flow routing in SWMM 5. *Environmental Modelling and Software, 53*. doi: 10.1016/j.envsoft.2013.11.002

Cipolla, S., Maglionico, M. y Stojkov, I. (2016). A long-term hydrological modelling of an extensive green roof by means of SWMM. *Ecological Engineering, 95*, 876-887. doi https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.07.009

Fletcher, T. D., Andrieu, H. y Hamel, P. (2013). Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art. *Advances in Water Resources, 51*, 261-279. doi: https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.09.001

Formiga, K., Carvalho, M., Silva, K. y Soares, A. (2016). Calibração do Storm Water Management Model (SWMM) utilizando algoritmos evolucionários multiobjetivo. *Engenharia Sanitaria e Ambiental, 21*(4), 697-707. doi: 10.1590/S1413-41522016131862

Grupo Multidisciplinar de modelación de fluidos. (2005). SWMN modelo de gestión de aguas pluviales 5.0 vE. Recuperado de http://www.instagua.upv.es/swmm/descargas/Manual_SWMM5vE.pdf

Guo, J. y Urbonas, B. (2009). Conversion of Natural Watershed to Kinematic Wave Cascading Plane. *Journal of Hydrologic Engineering, 14*(8), 839-846. doi: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000045

Martins, L. (2017). *Avaliação do potencial de aplicação de técnicas compensatórias em áreas urbanas consolidadas* (tesis doctoral). Universidade de São Paulo, São Carlos.

Riaño-Briceño, G., Barreiro-Gomez, J., Ramirez-Jaime, A., Quijano, N. y Ocampo-Martinez, C. (2016). MatSWMM: an open-source toolbox for designing real-time control of urban drainage systems. *Environmental Modelling & Software, 83*(C), 143-154. doi: 10.1016/j.envsoft.2016.05.009

Rossman, L. y Huber, W. (2016). Storm water management model reference manual volume I: hydrology. Cincinnati: National Risk Management Laboratory Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency.

Shinma, T.A. (2015). *Avaliação de incertezas na calibração automática do modelo SWMM* (tesis doctoral). Universidade de São Paulo, São Carlos.

Tucci, C. (2005). Gestão de Águas Pluviais Urbanas. Brasília: Ministério das Cidades. Recuperado de https://labgeologiaambiental.jatai.ufg.br/up/285/o/Gest%C3%A3o_de_Aguas_Pluviais__.PDF?1370615799

Variación Espacio-Temporal de Fosfatos en la Zona Saturada del Suelo

Mónica Lucía Burgos Narváez[10]
Camila Andrea Narváez Vallejo[11]
Jenny Lucia Huertas Delgado[12]

Resumen

La zona saturada del suelo tiene gran importancia, debido a que ahí se encuentra el agua subterránea que hace parte del 2,5 % del agua dulce disponible en el mundo. Ahora bien, el riesgo de contaminación para estas aguas actualmente es muy alto, por incremento de actividades antrópicas a nivel mundial. Es así cómo, se evidencia problemas de este corte, debido a la actividad económica, en el corregimiento de El Encano, vereda el Motilón, en donde la venta de trucha arcoíris y el inadecuado manejo del subproducto (vísceras), puede estar contaminando las aguas de la ribiera de la Laguna de la Cocha, laguna que fue declarada como humedal Ramsar. Respecto a lo anterior, se tiene como objetivo general, analizar la variación espacio-temporal de nutrientes (fosfatos) en la zona saturada del suelo. Por lo tanto, para el desarrollo de este trabajo, se realizó muestreos en los meses de febrero, marzo, abril y mayo de 2018 y se aplicó un tratamiento estadístico para la realización de un mapeo de la variación de nivel freático y de la concentración de fosfatos, con ayuda del software Surfer 11. A partir de lo anterior se obtuvo que la variación de fosfatos se da de forma heterogénea a nivel de espacio y de tiempo, evidenciando que este comportamiento se ve influenciado por factores, como las propiedades fisicoquímicas e hidráulicas del suelo, el nivel freático, entre otros.

Palabras clave: contaminación difusa, fosfatos, zona saturada.

[10] Programa Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: moburgos@umariana.edu.co

[11] Programa Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: caminarvaez@umariana.edu.co

[12] Programa Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: jlhuertas@umariana.edu.co

Temporary Space Variation of Phosphates in the Saturated Area of the Soil

Abstract

The saturated zone of the soil has great importance because there are the underground water that makes up part of the 2.5% of the available fresh water in the world. However, the risk of contamination to these waters is currently very high, due to the increase in anthropogenic activities worldwide. This is how problems of this court are evident due to the economic activity in El Encano, Motilón village, where the sale of rainbow trout and the inadequate handling of the viscera by-products may be contaminating the water of the La Cocha lagoon, which was declared a Ramsar wetland. Regarding the mentioned, the general objective is to analyze the spatio-temporal variation of nutrients (phosphates) in the saturated zone of the soil. Thus, for the development of this, samplings have been carried out in the months of February, March, April and May of 2018 to which a statistical treatment was applied to carry out a mapping of the variation of the water table and the concentration of phosphates using software Surfer 11. From the above it was found that the variation of phosphates occurs

heterogeneously at both space and time, evidencing that this behavior is influenced by factors such as the physicochemical and hydraulic properties of the soil, the phreatic level, among others.

Key words: diffuse contamination, phosphates, Saturated zone.

Espaço Temporário de Variação de Fosfatos na Área Saturada do Solo

Resumo

A zona saturada do solo tem grande importância, porque há a água subterrânea que compõe parte dos 2,5% da água doce disponível no mundo. No entanto, o risco de contaminação para essas águas é atualmente muito alto, devido ao aumento das atividades antropogênicas em todo o mundo. É assim que os problemas desta índole são evidentes devido à atividade econômica em El Encano, vila de Motilón, onde a venda de truta arco-íris e o manuseio inadequado dos subprodutos (vísceras) podem estar contaminando a água da lagoa de La Cocha, que foi declarou Mangue Ramsar. Com relação ao mencionado, o objetivo geral é analisar a variação espaço-temporal de nutrientes (fosfatos) na zona saturada do solo. Assim, para o desenvolvimento disso, amostragens nos meses de fevereiro, março, abril e maio de 2018 foram realizadas, às quais foi aplicado tratamento estatístico para o mapeamento da variação do lençol freático e da concentração de fosfatos usando o software Surfer 11. A partir do exposto, verificou-se que a variação dos fosfatos ocorre de forma heterogênea no espaço e no tempo, evidenciando que esse comportamento é influenciado por fatores como as propriedades físico-químicas e hidráulicas do solo, lençol freático, entre outros.

Palavras-chave: contaminación difusa, fosfatos, zona saturada.

Introducción

El agua en la corteza terrestre se divide en un 97,5 % para océanos y mares de agua salada, y un 2,5 % en agua dulce. Del total de agua dulce en el planeta, un 69 % se encuentra en los polos en forma sólida, el 30 % se ubica en la humedad del suelo y acuíferos o pozos subterráneos y el 1 % escurre por las cuencas hidrográficas (Junta Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Mazatlán [Jumapam], s.f.). De esta manera, el agua subterránea tiene un importante papel, no solo a nivel social y económico sino también natural, ya que actúa como almacén que mantiene las corrientes fluviales durante periodos de sequía, haciendo que esta una fuente sea vital para la vida humana (Jumapam, s.f.).

Sin embargo, dado que el agua se infiltra por el suelo hasta que alcanza una zona en la cual todos los espacios libres de sedimentos y de roca están completamente llenos de agua, lo cual se conoce como zona de saturación con un límite superior llamado nivel freático (Tarbuck y Lutgens, 2005), se vuelve vulnerable a la contaminación, sobre todo por las actividades humanas que se presentan como mayor riesgo para su calidad (Lenntech, s.f.). Así las cosas, la contaminación se distingue entre difusa y puntual. La primera se refiere a un tipo de contaminación que se da en una superficie muy grande, en la cual no se puede tener control, mientras que la segunda se define como la contaminación donde se conoce el foco y la carga de éste hacia el medio (Contaminación Ambiental, 2014).

Problemas de este corte se evidencian en el corregimiento El Encano, por lo cual se eligió la vereda el Motilón como área de estudio, ya que se encuentra a la orilla de La Laguna de la Cocha, que es uno de los mayores atractivos turísticos del departamento de Nariño y declarado como humedal de importancia internacional, según la comisión RAMSAR (Obando, 2010). Sin embargo, la piscicultura al ser la principal actividad económica de la zona puede estar afectando la zona saturada del suelo.

Al respecto, se ha evidenciado que los habitantes de la zona, cuya actividad económica implica la venta de trucha arcoíris, de la cual se generan subproductos que se desechan directamente sobre los suelos a manera de residuo, lo cual incrementa la vulnerabilidad de este importante humedal a una contaminación difusa en la zona saturada cercana a la laguna, ya que puede introducir nutrientes, como fosfatos que tienen efecto en las aguas, tales como procesos de eutrofización, fenómeno mediante el cual las aguas se enriquecen con nutrientes que provocan un exceso de vegetación y otros organismos que agotan el oxígeno del agua y llevan a la ausencia de vida en ella (Ambientum, 2001).

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, se planteó la presente investigación, en la que se busca estudiar el transporte y variación de fosfatos (PO4-3) del afluente subterráneo en la vereda Motilón, corregimiento El Encano, en donde puede presentarse una posible contaminación a la zona saturada del suelo de forma difusa, debido a la inadecuada disposición de subproductos (vísceras) de la trucha Arcoíris.

Por lo tanto, el objetivo general de esta investigación es estudiar el transporte y variación, a medida que el tiempo transcurre, de la concentración de fosfatos (PO4-3) en la zona saturada del suelo, en juegos de parcelas nombradas control y tratamiento, en un transecto ubicado en la orilla de la laguna de la Cocha, en la vereda el Motilón, corregimiento El Encano.

De esta manera, para desarrollar de manera efectiva esta investigación se contó con la metodología desarrollada por Huertas (2013), a partir de la cual se realizaron diferentes muestreos desde el mes de marzo hasta el mes de septiembre, de los cuales se obtuvo los datos de concentración a los cuales se les realizó un tratamiento estadístico y un mapeo de la distribución de la concentración de fosfatos con ayuda del software Surfer 11.

Desarrollo

Descripción de la situación actual

Actualmente, las zonas no saturada y saturada del suelo están experimentando una creciente amenaza de contaminación debido a la urbanización, el desarrollo industrial, las actividades agrícolas y emprendimientos mineros (Foster como se citó en Huertas, 2013). Resulta oportuno referirse al hecho que para llevar a cabo dichas actividades es necesario el uso de sustancias que alteran las características propias del lugar en el que se desarrollan, afectando por infiltración química, bacteriana, salina o mineral (El Tiempo, 1998).

De acuerdo a las anteriores consideraciones es importante resaltar que, el riesgo de que la zona saturada sea contaminada es una realidad latente, que puede afectar a toda la población, un ejemplo de ello es la posible contaminación que está recibiendo uno lo de lugares emblema del departamento de Nariño, la laguna de la Cocha o lago Guamuez, que es considerada uno de los embalses naturales de mayor tamaño después de la laguna de Tota en Boyacá, en donde la pureza de sus aguas permite la proliferación de especies y animales acuáticos y terrestres (Procolombia, s.f.).

Dentro de este orden de ideas, debido a la gran biodiversidad que posee este lugar, sus habitantes desarrollan una amplia gama de actividades económicas entre las que se encuentran: el turismo, la pesca, la agricultura, la ganadería y la carbonería (encolombia, s.f.). Al respecto, cuando se menciona la pesca, se la destaca como una de las actividades que mayor producción económica aportan a la zona (Alpala y Cañal, 2010), donde el atractivo se centra en la 'trucha arcoíris' (*Onchorhyncus mykiss*), una especie exótica introducida en la zona hacia los años 80, el cual se convirtió en depredador de las especies nativas de la zona, como lo son: el' capitán' (*Eremophilus muttisi*) y la 'guapucha' (*Grundulus bogotensis*), cuyo tamaño no supera los 10 cm, esto hace que la diversidad en peces disminuya (Pulido, 2015).

En los marcos de las observaciones anteriores, los campesinos como medio de sustento, han optado por la cría y venta de trucha, que al ser un medio de producción genera ciertos subproductos, entre los que se encuentran las vísceras. En relación con lo último, en la zona no se cuenta con una adecuada disposición final, dado que los habitantes de esta zona optan por enterrarlas, disponerlas directamente hacia el suelo o usarlas como abono en los cultivos de papa, haciendo un blanco fácil a la contaminación difusa de la zona saturada en áreas cercanas a la orilla de la laguna.

Es así que nace la idea de formular la presente investigación, por la preocupación sobre qué puede pasar con la zona saturada del suelo y el bienestar de las aguas inmersas en este territorio, debido a la influencia que pueda tener la mala disposición de las vísceras de trucha arcoíris en el suelo, centrándose específicamente en los compuestos fosfatados (PO4-3), ya que se desconoce el comportamiento de dicho nutriente a nivel espacial y temporal, producto de la contaminación difusa.

Objetivo general

● Determinar la concentración de fosfatos en dos parcelas (control y tratamiento) mediante un diseño de experimentos.

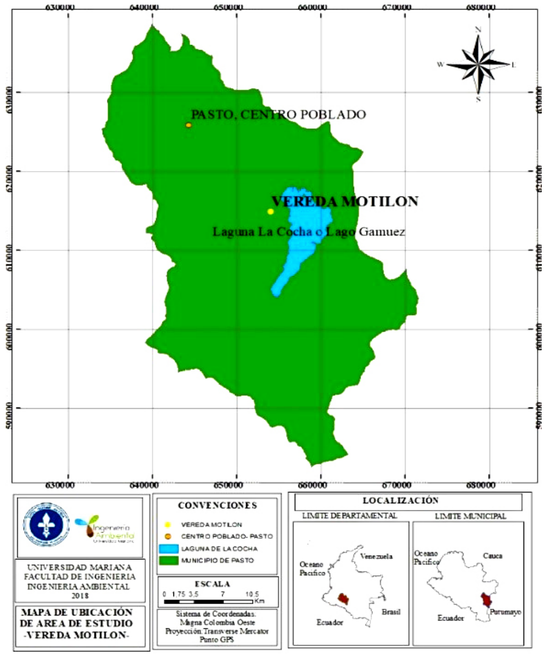


Figura 1. Mapa del área de estudio, vereda Motilón, corregimiento El Encano.

La presente investigación se desarrolla en la vereda Motilón, ubicada en el corregimiento El Encano, localizada a 0° 53´ 28.55" y 1° 20´36.40" latitud Norte y 76° 50´50.41" y 77° 14´17.37" longitud Oeste, a 20 kilómetros sobre el sureste de la ciudad de Pasto en el departamento de Nariño, con una altitud oscilante entre 2760 y 2830 msnm y temperaturas promedio de 11 °C, una humedad relativa de 87%, además lluvias que varían entre los 1.300 mm anuales, con épocas de sequía para los meses junio, julio y agosto (Corponariño, 2011).

Se eligió la vereda el Motilón como área de estudio para la presente investigación, debido a la riqueza de su cobertura vegetal, además por el hecho que en este punto existe un nivel freático cercano a la superficie, haciendo de este un lugar idóneo para conocer el efecto que tiene un elemento ajeno como son los fosfatos a partir del subproducto vísceras de trucha y su implicación sobre la zona saturada del suelo.

Diseño metodológico de la investigación



Figura 2. Diseño de experimentos zona de estudio.

Para el desarrollo del presente estudio se contó con un área de 1.512 sobre la cual se realizó una división de cuatro parcelas: dos parcelas de tratamiento (PT) y dos parcelas control (PC), en donde se construyeron una serie de pozos (16) dispuestos así: 8 pozos en parcelas control y 8 pozos parcelas tratamiento, en pequeñas áreas de 10 m de largo por 8,5 m de ancho para realizar toma de muestras y posterior análisis de fosfatos (PO4.-3).

Este diseño se desarrolló basado en la investigación profesoral denominada *Evaluación del transporte, variación y remoción de nutrientes y materia orgánica en la zona saturada del suelo a lo largo de un transecto cercano a la Laguna de La Cocha*. Dicho diseño se realiza con el fin de evaluar los cambios que puedan tener las concentraciones de nutrientes en la zona saturada del suelo, en donde se diseñaron las cuatro parcelas para estimar las concentraciones de fosfatos de muestras provenientes de la zona saturada del suelo.

Ahora bien, para el desarrollo de la investigación se realizó una serie de muestreos en los meses febrero, marzo, abril y mayo, por cada mes se tomaron dos muestras de agua y se realizaron análisis en laboratorio por medio del método colorimétrico del ácido vanadomolibdofosforico, brindado por el estándar método para análisis de agua y aguas residuales, 2012. Por otro lado, se resalta el hecho de la realización de un análisis de cada muestra por triplicado (n=3), que posteriormente recibió un análisis estadístico, lo cual permitió obtener datos confiables.

Resultados y análisis

En relación con lo mencionado, a continuación, se presentan los resultados obtenidos de las concentraciones de fosfatos de los meses de febrero, marzo, abril y mayo. De lo cual se destaca el hecho de que aun cuando el método usado para análisis de fosfatos (método colorimétrico del ácido vanadomolibdofosforico) sugiere realizar un filtrado en las muestras, se decidió realizar el proceso con muestras filtradas y sin filtrar que se justifica, según Servicios Agropecuarios de la Costa (2014), porque los sedimentos del suelo contienen fosfatos que están presentes en las partículas, además, dado que la solubilidad de los fosfatos es baja estos se presentan en la solución de suelo, donde la carga negativa predominante de los coloides retienen cationes como P+ (Contreras et. al, 2003). Por lo tanto, se decide hacer este proceso, con el fin de observar la influencia del suelo en la concentración de fosfatos de las muestras y se presentan los diferentes valores obtenidos de concentración por filtrado (F) y sin filtrar (S.F) de cada mes. (Ver Tabla 1).

Tabla 1. *Concentraciones de fosfatos (mg/L) de muestras filtradas y sin filtrar de agua de la zona saturada del suelo*

POZO	NORTE	ESTE	ALTITUD	FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO	
				S.F	F	S.F	F	S.F	F	S.F	F
C1.1	612453,60	-778552,60	2768,89	5,00	0,56	3,13	2,21	1,02	0,77	1,26	0,48
C1.2	612454,09	-778565,38	2768,86	0,34	1,54	0,88	1,46	0,83	0,79	1,19	0,57
C1.3	612452,37	-778576,49	2768,81	0,25	1,16	3,35	2,10	0,85	0,67	1,01	0,82
C1.4	612453,20	-778587,50	2768,83	0,22	0,53	0,70	1,39	0,93	0,68	1,00	0,42
T1.1	612430,82	-778554,37	2769,03	2,08	1,11	2,26	1,86	0,43	0,35	1,06	0,22
T1.2	612428,30	-778562,44	2768,95	1,10	0,90	0,90	0,97	0,63	0,42	0,95	0,45
T1.3	612428,87	-778576,30	2768,93	3,13	1,30	1,45	1,48	0,43	0,43	0,69	0,39
T1.4	612430,99	-778589,20	2768,90	0,43	1,89	1,66	0,85	0,59	0,46	0,50	0,39
C2.1	612445,03	-778552,04	2768,89	6,00	2,33	5,03	2,19	0,58	0,45	0,40	0,23

C2.2	612448,13	-778561,76	2768,86	3,73	0,68	3,02	1,78	0,63	0,58	0,98	0,37
C2.3	612443,70	-778575,29	2768,86	4,43	1,16	1,26	1,98	0,67	0,53	0,68	0,53
C2.4	612442,76	-778588,48	2768,80	0,26	1,29	0,93	1,62	0,79	0,85	0,73	0,48
T2.1	612416,50	-778552,40	2769,14	0,75	1,53	0,62	1,07	0,88	0,50	0,51	0,31
T2.2	612416,04	-778561,79	2768,99	1,11	1,36	0,95	1,28	0,82	0,55	0,50	0,41
T2.3	612418,10	-778577,57	2768,95	1,16	1,32	1,53	1,51	1,01	0,53	0,93	0,53
T2.4	612416,20	-778588,30	2768,93	0,30	1,36	0,93	1,28	2,25	0,45	1,09	0,61

Donde:
F: son muestras filtradas;
S.F: son muestras sin filtrar.

En el marco de las consideraciones anteriores, para poder conocer el grado de confiabilidad de los resultados, se realizó un análisis de varianza de medidas repetidas ANOVA de un factor y un análisis a posteriori de Tukey; para poder aplicar correctamente el ANOVA los datos deben satisfacerse algunos supuestos básicos, por ejemplo, el supuesto de normalidad, del cual se obtuvo las siguientes hipótesis:

H0: la variable de la que se extrajo la muestra sigue una distribución normal.

Ha: la variable de la que se extrajo la muestra **no** sigue una distribución normal.

En consecuencia, se pudo aceptar la hipótesis alternativa, lo cual llevó a realizar una transformación de datos para obtener una distribución normal, que se hizo por medio de logaritmo con base 10, dado que según Segini (2008), ésta es una función útil cuando hay una variación grande en los valores, además, por ser de uso fácil y común. (Ver Tabla 2).

Tabla 2. *Datos de concentraciones de fosfatos en muestras filtradas y no filtradas normalizadas con logaritmo en base 10*

POZO	NORTE	ESTE	ALTITUD	FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO	
				S.F	F	S.F	F	S.F	F	S.F	F
C1.1	612453,60	-778552,60	2768,89	0,70	-0,47	0,34	0,34	0,01	-0,13	0,10	-0,34
C1.2	612454,09	-778565,38	2768,86	-0,47	-0,38	-0,11	0,16	-0,10	-0,11	0,07	-0,25
C1.3	612452,37	-778576,49	2768,81	-0,61	-0,05	0,30	0,27	-0,07	-0,18	-0,04	-0,18
C1.4	612453,20	-778587,50	2768,83	-0,66	-0,29	-0,17	0,11	-0,03	-0,17	0,00	-0,40
T1.1	612430,82	-778554,37	2769,03	0,32	0,03	0,35	0,25	-0,38	-0,49	-0,02	-0,71
T1.2	612428,30	-778562,44	2768,95	0,04	-0,07	-0,08	-0,06	-0,20	-0,39	-0,04	-0,35
T1.3	612428,87	-778576,30	2768,93	0,50	0,11	0,14	0,15	-0,37	-0,37	-0,17	-0,43
T1.4	612430,99	-778589,20	2768,90	-0,37	0,27	0,10	-0,10	-0,23	-0,34	-0,30	-0,43
C2.1	612445,03	-778552,04	2768,89	0,78	0,28	0,70	0,31	-0,24	-0,36	-0,52	-0,67
C2.2	612448,13	-778561,76	2768,86	0,57	-0,23	0,44	0,25	-0,21	-0,24	-0,06	-0,45
C2.3	612443,70	-778575,29	2768,86	0,65	0,03	0,08	0,29	-0,20	-0,29	-0,16	-0,27
C2.4	612442,76	-778588,48	2768,80	-0,58	0,08	-0,04	0,19	-0,10	-0,07	-0,14	-0,33
T2.1	612416,50	-778552,40	2769,14	-0,13	0,17	-0,21	-0,03	-0,12	-0,30	-0,29	-0,57
T2.2	612416,04	-778561,79	2768,99	0,05	0,12	-0,02	0,10	-0,09	-0,26	-0,31	-0,40
T2.3	612418,10	-778577,57	2768,95	0,07	0,12	0,17	0,16	0,00	-0,29	-0,04	-0,29
T2.4	612416,20	-778588,30	2768,93	-0,52	0,13	-0,04	0,10	0,25	-0,37	0,04	-0,22

A partir de la normalización de los datos se realiza la Figura 3, que representa la sucesión de pozos y como es el comportamiento de estos a lo largo de la zona de estudio, por lo tanto, se tiene en cuenta tanto la parcela control como tratamiento, para ver esta variación con datos normalizados a nivel espacial, analizando las secciones desde 1 hasta 4 a lo largo de la zona estudio, como resultado se obtuvo la similitud entre secciones para control y tratamiento entre los pozos, se exalta el hecho de que en la parcela control se tiene una variación más amplia que en la de tratamiento, debido a su ubicación geográfica dentro de la zona de estudio.

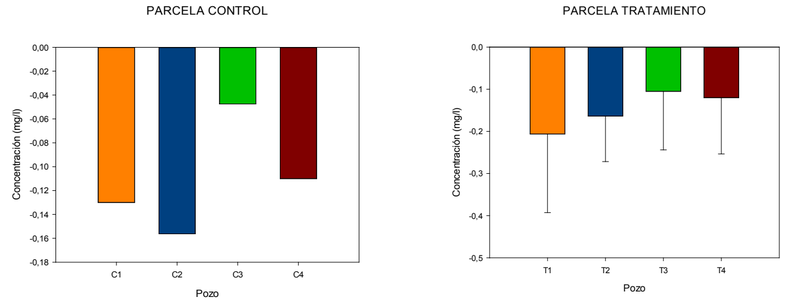


Figura 3. Variación de la concentración de Fosfato con datos normalizados en Parcelas Control (P.C) y Parcelas Tratamiento (P.T). Las barras de error indican el error estándar de los datos.

Ahora bien, debido a que se observaron cambios en la concentración de fosfatos a lo largo de la zona de estudio, se realizó un análisis de ANOVA de una vía para realizar una comparación entre pozos durante los meses señalados. Aquí se obtuvieron diferencias significativas (ver Tabla 3) y un análisis a posteriori de Tukey para las diferentes fechas de muestreo y las parcelas control y tratamiento.

Tabla 3. *Valores de ANOVA para análisis espacial y temporal*

Factor	P-valor	HDS
Fechas de muestreo	4,97x10-7	0,268
Parcelas control y tratamiento	0,77	

Inicialmente se realiza un análisis de las fechas de muestreo (dos por mes), del cual se obtiene las siguientes hipótesis:

H0: El promedio de las concentraciones de fosfatos en las fechas de muestreo es igual, con un 95 % de probabilidad.

Ha: En al menos una fecha de muestreo el promedio de concentraciones de fosfatos es distinto, con un 95 % de confiabilidad.

De lo anterior, tal como se observa en la Tabla 3, existe un p-valor de 4,97x10-7,que al ser menor que la significancia de 0.05 permite aceptar la hipótesis alternativa, según la cual el promedio de las concentraciones de fosfatos, teniendo en cuenta las diferentes fechas en que se fue al terreno, es diferente al promedio de sus medias y en donde, dado que el p-valor es menor que la significancia, se realiza una prueba a posteriori conocida como Tukey, para observar la diferencia de concentraciones de fosfatos de acuerdo a las fechas de muestreo (ver Tabla 4), para lo cual se plantean dos hipótesis, así:

H0: El promedio de las concentraciones de fosfatos en las fechas de muestreo es igual, con un 95 % de probabilidad.

Ha: En al menos una fecha de muestreo el promedio de concentraciones de fosfatos es distinto, con un 95 % de confiabilidad.

Tabla 4. *Prueba de Tukey de muestras pre-tratamiento por fechas*

	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Febrero		1,071	1,046	1,038
Marzo			-0,025	-0,033
Abril				-0,008
Mayo				

A partir de lo cual se evidencia que hay diferencias entre el mes de febrero con los meses de muestreo, esto se debe a que en este mes los pozos estaban en una época de acondicionamiento, lo cual significa que la presencia de sedimentos es mayor en comparación de los demás meses y pudo haber influenciado las concentraciones de fosfatos.

Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, donde el promedio de las concentraciones entre parcelas control y tratamiento son iguales, como se observa en la Tabla 3. En segunda instancia se realiza un análisis entre parcelas control y tratamiento, con el fin de conocer cómo es la variación a nivel espacial en el terreno, de donde se obtienen las siguientes hipótesis.

H0: El promedio de las concentraciones de fosfatos entre las parcelas de control y tratamiento es igual, con un 95 % de confiabilidad.

Ha: El promedio de las concentraciones de fosfatos entre las parcelas de control y tratamiento es diferente, con un 95 % de confiabilidad.

Como se observa en la Tabla 3 existe un p-valor de 0.735, que al ser mayor que la significancia no hace necesario realizar una prueba de Tukey, sin embargo, permitió conocer que el promedio de las concentraciones de fosfatos es igual, independientemente si la zona corresponde a control o tratamiento.

Por otro lado, A partir de los valores presentados en la Tabla 1, fue viable la realización de mapas de la distribución concentración de fosfatos en los 4 meses correspondiente a la etapa de pre-tratamiento por medio del software Surfer 11, tal como se presenta en la Figura 4.

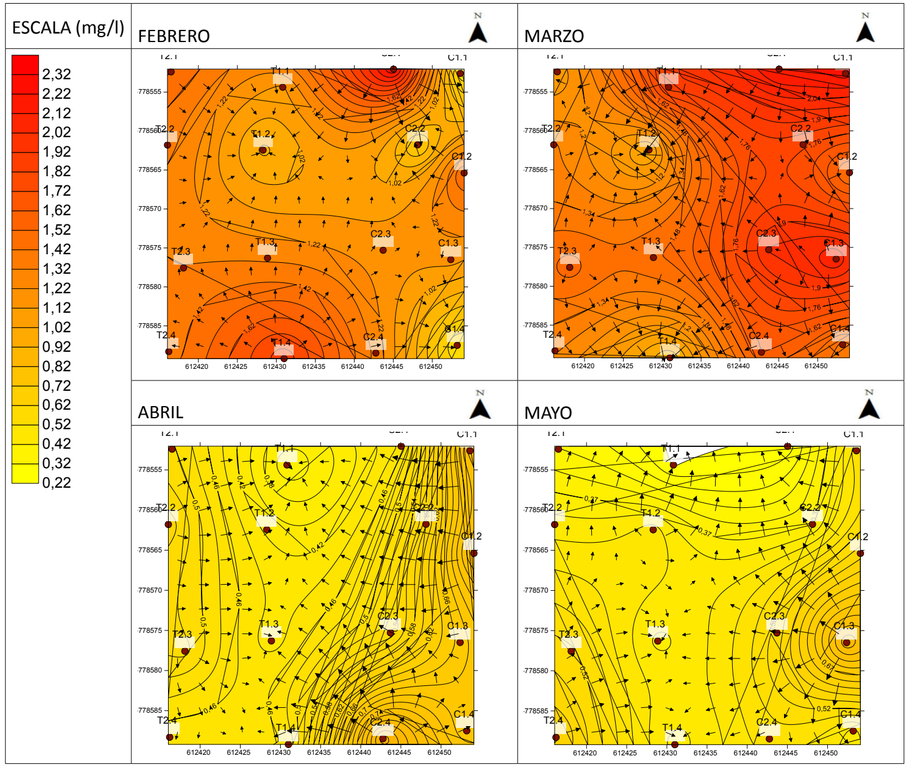


Figura 4. Variación espacial y temporal de la concentración de fosfatos (PO4-3) y vectores de flujo de agua subterránea en los meses de estudio.

Los puntos marrones indican cada pozo con su respectiva nomenclatura de acuerdo a control (C) o tratamiento (T) y los colores varían de acuerdo a los valores de concentración, como se puede evidenciar con la escala, entre más claro sea el color la concentración es menor y entre más fuerte mayor concentración. De manera agregada, se presenta vectores de flujo que refieren la dirección del movimiento de la concentración de fosfatos. Cabe agregar que, las concentraciones de fosfatos se ven influenciadas por la precipitación ocurrida en la zona. En la Figura 5 se presenta las precipitaciones en el área, cuyos datos fueron obtenidos de NASA *Prediction Of Worldwine Energy Resources*.

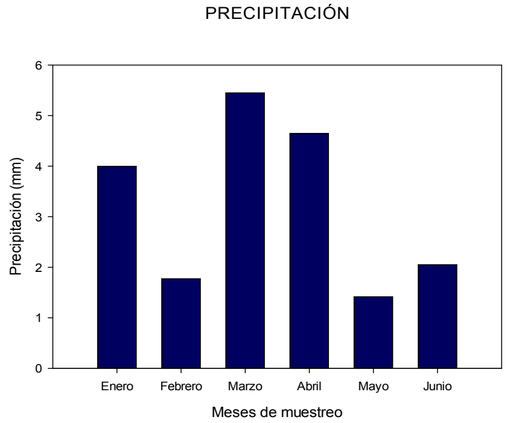


Figura 5. Precipitación de los meses de febrero–mayo de 2018.

En la Figura 6 se observa cómo la precipitación tuvo un aumento en el mes de abril, lo cual permitió que haya un mayor movimiento del nutriente y por ende una menor concentración, que concuerda con los mapas geoestadísticos, según los cuales para el mes de abril las concentraciones disminuyeron en gran medida.

En este orden de ideas, se encuentra correlación con el hecho de que el valor de concentración de muestreo presenta concentraciones que van desde los 0,22 mg/l hasta 2,33 mg/l, donde se evidencia que las mayores concentraciones son para los meses de febrero y marzo, esto puede deberse a que en estas épocas se estaba realizando adecuación de terreno, incluyendo acciones que promovieron la contaminación de muestras por agregados de suelo de gran tamaño.

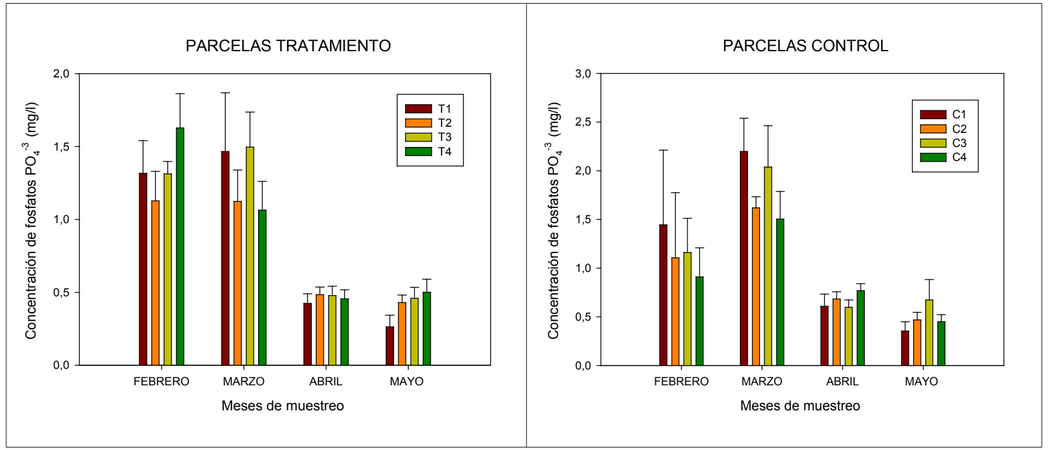


Figura 6. Variación de la concentración de Fosfato en los cuatro meses de muestreo para los diferentes pozos de estudio separando Parcelas Control (P.C) y Parcelas Tratamiento (P.T) (n = 3 en cada caso). Las barras de error indican el error estándar de los datos.

Es así que, en la Figura 6 se observa la variación de la concentración en parcelas control y tratamiento a lo largo de los meses de febrero a abril, en ellas cada color representa una zona de pozos diferentes y cada barra presenta su error estándar. También, se observa cómo el primer mes no presentó un patrón de comportamiento entre pozos ni entre meses de muestreo, mientras que en los tres meses siguientes tienen comportamiento similar entre zonas y meses de muestreo, esto debido a que en las fechas iniciales estaban en una etapa de estabilización. Además, se resalta el hecho de que en los meses de febrero y marzo presentan valores altos a lo largo de la sucesión de pozos, pero también a lo largo del tiempo transcurrido se evidencia cómo los valores son más altos en la parcela control, llegando a tener valores máximos de 2,20 mg/l, mientras que en parcela tratamiento lo máximo solo contó con un valor máximo de 1,63 mg/l, haciendo así una diferencia entre las dos zonas.

Finalmente, es importante mencionar que en el método de laboratorio se hace uso de un espectrofotómetro el cual es muy sensible al color, dado que expresa las concentraciones de los elementos a partir de la reflectancia de luz blanca en un intervalo de 400 nm (Bonfligi, L., 2014), por tanto, existe la posibilidad que el hecho de que las muestras tengan un color más opaco por los agregados del suelo influya en el valor que fue arrojado por éste para concentración de fosfatos.

Conclusiones

A partir de los resultados, se evidencia que el nivel freático y la concentración de fosfatos son heterogéneos tanto a nivel espacial como temporal, esto debido a que el nivel freático y la concentración dependen de diferentes factores, como la precipitación, el aporte de la laguna, el nivel del suelo y el movimiento de los fosfatos dentro de la matriz suelo.

El suelo en la zona de estudio es un condicionante tanto para el nivel freático como para la concentración y el movimiento de fosfatos, esto por los parámetros característicos de este tipo de suelos, que ejerce su función de filtro regulador y que por medio de fenómenos de sorción permite retener dicho nutriente.

Tanto el nivel freático como la concentración de fosfatos están relacionados, ya que el agua presente en la zona saturada del suelo se moviliza a través del suelo, creando así zonas de mayor concentración por acumulación de nutrientes en las partes más bajas del terreno.

De acuerdo a los análisis realizados en laboratorio de muestras filtradas y no filtradas se observó que hay una influencia de color y de partículas de suelo en los valores de concentración, en donde al haber mayor presencia de estos factores aumentó la concentración.

Debido a que la piscicultura es la actividad económica que más se desarrolla dentro del área de estudio, se ve necesario realizar investigaciones de este corte, no solo en la vereda el Motilón, sino también en las veredas circundantes a la laguna de la Cocha, dado que este comportamiento se presenta de manera uniforme en toda el área y, por lo tanto, la contaminación por fosfatos es una problemática que puede estar presente en toda el área que rodea a la laguna.

Referencias

Alpala, J. y Cañal, R. (2010). Acuerdo de competitividad piscicola.

Ambientum. (2001). Eutrofización de aguas. Recuperado de https://www.ambientum.com/

Contaminación Ambiental. (18 de diciembre de 2014). La contaminación de fuente puntual. Recuperado de https://contaminacionambiental.info/la-contaminacion-de-fuente-puntual/

Contreras, M., Escolano, O., Rodríguez, V., Díaz, F., Pérez, R., García, S. y García, F. (2003). Estudio de Adsorción de Fenantreno en Diferentes Tipos de Arcillas. Informes Técnicos Ciemat. Recuperado de https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/38/115/38115061.pdf?r=1&r=1

Corponariño (2002). Humedal Ramsar Laguna de la Cocha. Recuperado de https://goo.gl/YFI5qB

Corponariño. (2011). Plan de Manejo Ambiental Integral Humedal Ramsar Laguna de La Cocha. Subdirección de Intervención para la Sostenibilidad Ambiental. San Juan de Pasto.

En peligro, las aguas subterráneas. (22 de marzo de 1998). *El Tiempo*. Recuperado de https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-837398

encolombia. (s.f.). Turismo en la Laguna de la Cocha [Página de Internet]. Recuperado de https://encolombia.com/turismo/destinos-turisticos/destinos-colombianos/narino/laguna-de-la-cocha/

Huertas J. (2013). *Evaluación del transporte, variación y remoción de nutrientes del agua subterránea a lo largo de una catena de suelos derivados de cenizas volcánicas en un sistema ripariano* (tesis de maestría). Universidad austral de Chile, Valdivia, Chile.

Junta Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Mazatlán (Jumapam). (s.f.). Distribución del agua en el planeta. Recuperado de http://jumapam.gob.mx/cultura-del-agua/distribucion-de-agua-en-el-planeta/

Lenntech. (s.f.). Fuentes de contaminación de aguas subterráneas. Recuperado de https://www.lenntech.es/agua-subterranea/fuentes-contaminacion.htm#ixzz56DGBATup

Obando, A. (8 de febrero de 2010). Lago Guamués "Humedal internacional RAMSAR" [Blog]. Recuperado de http://arturobando.blogspot.com/2010/02/lago-guamues-humedal-internacional.html

Procolombia. (s.f.). Laguna de la Cocha Santuario natural de agua y energía [Blog]. Recuperado de http://www.colombia.travel/es/blog/destinos-recomendados-esta-semana/laguna-de-la-cocha-santuario-natural-de-agua-y-energia

Pulido, C. (2015). Acuerdo de trabajo entre la red de información y comunicación del Sector agropecuario- AGRONET y la secretaría técnica de la cadena de acuícola. En Protocolo cadena acuícola (28). Colombia.

Tarbuck, E. y Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la Tierra, Una introducción a la geología física* (8.ª ed.). Madrid: Pearson.

Análisis de Tendencia de Caudales Base, Cuenca Alta del río Pasto, municipio de Pasto, departamento de Nariño

Jorge Andres Rosero Legarda[13]
Milvia Moncayo[14]
Fernanda Ruiz[15]
Francisco Mafla[16]
Sandra Madroñero[17]

Resumen

El estudio se desarrolló en la cuenca alta del río Pasto, en el municipio de Pasto, departamento de Nariño, con el propósito de identificar la capacidad de regulación que presenta la cuenca a través de la determinación del caudal base, en un periodo de 26 años (1988-2014). Los datos de caudales fueron registrados por la estación hidrológica del IDEAM -Bocatoma El Centenario-. Los valores del flujo base fueron establecidos a través de los modelos de Chapman y Eckhardt, obteniéndose datos similares. Se determinó el valor máximo, registrado en el año 2000 (Qb= 0,995703 m3/s) y un valor mínimo en el año 2010 (Qb= 0,567503 m3/s). Para el análisis estadístico se utilizó un análisis de tendencia no paramétrico, mediante la prueba de Mann Kendall, que no presentó tendencias significativas, lo cual indica que la cuenca no ha sufrido un deterioro significativo en su capacidad de regulación. Por otro lado, se asume que las irregularidades observadas pueden ser por las actividades que se está llevando a cabo en la cuenca, como deforestación y extracción del recurso; por lo tanto, se considera que se debe tomar una acción correctiva.

Palabras clave: capacidad de regulación, cuenca hidrográfica, flujo base, recurso hídrico.

[13] Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: jorgearosero@umariana.edu.co

[14] Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: milvia00020@hotmail.com

[15] Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: fernandar-0209@hotmail.com

[16] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: fmaffla@umariana.edu.co

[17] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: smadronero@umariana.edu.co

Tendency Analysis of Base Flows, Upper Basin of River Pasto, municipality of Pasto, Nariño department

Abstract

This study was developed in the upper basin of Pasto river, in the municipality of Pasto, department of Nariño, Colombia. The purpose was to identify the regulatory capacity of the watershed through the determination of the base flow in a 26 years period (from 1988 to 2014). The flow data was recorded by the IDEAM's hydrological station called "Bocatoma El Centenario" while the base flow values were established with Chapman and Eckhardt models, obtaining similar data. The maximum value was registered in the year 2000 (Qb = 0.995703 m3/s) and the minimum value in the year 2010 (Qb = 0.567503 m3/s).

For the statistical analysis was used a non-parametric trend analysis through the Mann Kendall test, showing no significant trends, indicating that the watershed has not suffered important deterioration in its regulatory capacity. On the other hand, it is assumed that the observed irregularities could be due to the activities like deforestation and extraction of the water resources that take place in the watershed, where it is considered that corrective actions must be taken.

Key words: regulatory capacity, river basin, base flows, water resource.

Análise de tendências dos fluxos de base, bacia superior do rio Pasto, município de Pasto, departamento de Nariño

Resumo

Este estudo foi desenvolvido na bacia superior do rio Pasto, no município de Pasto, departamento de Nariño, Colômbia. O objetivo foi identificar a capacidade regulatória da bacia hidrográfica através da determinação do fluxo de base em um período de 26 anos (de 1988 a 2014). Os dados do fluxo foram registrados pela estação hidrológica do IDEAM chamada "Bocatoma El Centenario", enquanto os valores do fluxo base foram estabelecidos com os modelos de Chapman e Eckhardt, obtendo dados semelhantes. O valor máximo foi registrado no ano de 2000 (Qb = 0,995703 m3 / s) e o valor mínimo no ano de 2010 (Qb = 0,567503 m3 / s).

Para a análise estatística, foi utilizada uma análise de tendências não paramétricas através do teste de Mann Kendall, não mostrando tendências significativas, indicando que a bacia hidrográfica não sofreu deterioração importante em sua capacidade regulatória. Por outro lado, supõe-se que as irregularidades observadas possam ser decorrentes de atividades como desmatamento e extração de recursos hídricos que ocorrem na bacia hidrográfica, onde se considera que ações corretivas devem ser tomadas.

Palavras-chave: capacidade regulatória, bacia hidrográfica, vazões, recursos hídricos.

Introducción

Desde finales del siglo XIX, cuando se empleó el término de cambio climático, todas las actividades humanas conllevan a pensar qué resultados tendrán sobre el mismo. Distintos autores mencionan que el cambio climático actúa sobre el ciclo hidrológico, pues este se ha estudiado en distintas ocasiones y en distintas partes del planeta. En la actualidad, el ciclo hidrológico a nivel global se encuentra "influenciado por factores, como el clima, las características físicas de la zona y la intervención humana" (Muñoz, 2008, p. 4). "Sin embargo, los impactos que ocasionan cambios climáticos a un nivel regional sobre la hidrología son diferentes dependiendo del lugar y han de ser investigados usando escenarios de cambio climático de carácter local" (p. 4).

Las cuencas hidrográficas y sus ecosistemas tienen la capacidad de brindar múltiples servicios ambientales, entre ellos se destacan los servicios hidrológicos, que, a su vez cumplen con dos aspectos característicos: el volumen de agua que se produce y el de regulación hídrica (Acosta, 2014, p. 2); para este último es importante estudiar el caudal base, el cual hace referencia al caudal mínimo necesario para el mantenimiento de las características esenciales y la estructura de la comunidad natural acuática, basándose en criterios estrictamente hidrológico (Franquet, 2009).

Este estudio pretende evaluar la serie de tiempo del caudal base de la cuenca alta del río Pasto, donde se obtuvo información de la estación hidrológica del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) Bocatoma El Centenario y se procedió a realizar un análisis de tendencia a través de la prueba no paramétrica de Mann Kendall con el fin de evidenciar si la cuenca está perdiendo su capacidad de regulación.

Metodología

Área de estudio

La localización geográfica de la cuenca alta del río Pasto se presenta en la Figura 1. Está ubicada al suroriente del municipio de Pasto, departamento de Nariño, ésta comprende desde la divisoria sur de la cuenca hasta el sector donde se encuentra ubicada la bocatoma del acueducto Centenario que abastece a la ciudad de Pasto, este sector tiene una superficie aproximada de 67,14 km² y se caracteriza por concentrar ecosistemas protectores. (...). El análisis de caudales [mensuales] se realiza de acuerdo con la estación Bocatoma Centenario, la cual presenta unos valores medios de caudales de 1,5 m^3/s, máximos medios de 12,67 m^3/s y mínimos medios de 0,78 m^3/s, presentándose los valores más altos en los meses de enero y entre mayo y junio (Corponariño, 2011).

La precipitación media anual es de 890,1 mm y la precipitación media mensual es de 74.2 mm, mientras que la temperatura promedio es de 12°C, por otro lado, la humedad relativa presenta una distribución anual con unos valores entre de 74 a 81 %, la evaporación media anual es de 68,6 mm aproximadamente (Corporariño, 2010).

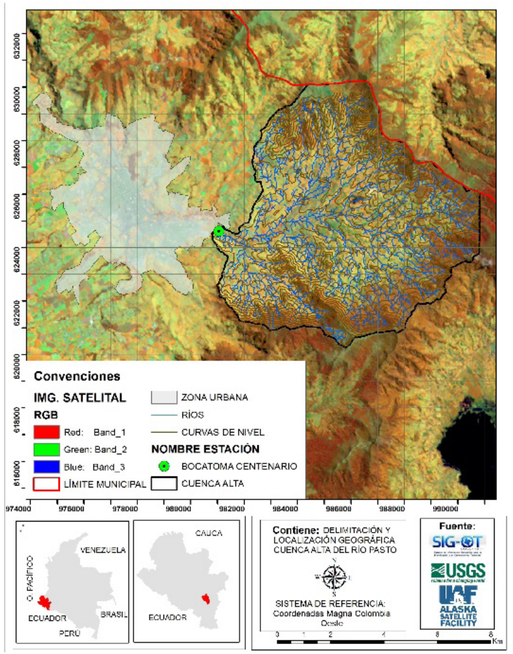


Figura 1. Localización geográfica de la cuenca alta del río Pasto.

Recolección y procesamiento de la información

La información utilizada en este estudio se adquirió a través de la base de datos del IDEAM, de la estación Bocatoma El Centenario (52047030). Estación localizada en las coordenadas 1,20 latitud, -77,25 longitud y a 2.740 m s. n. m, la cual pertenece a la cuenca alta del río Pasto. Se obtuvo la serie registrada de caudales medios mensuales para un total de 26 años (1988-2014).

Fueron incluidas tablas de los registros de caudales, que permitieron adquirir una serie de resultados numéricos y representaciones gráficas, las cuales fueron obtenidas mediante el procesamiento de la información en el software Microsoft Excel.

Algoritmos numéricos para separación de flujo base para el cálculo del caudal base: Para el cálculo del caudal base se emplearon los métodos de separación a través de los algoritmos de Eckhardt y el algoritmo de Chapman, los cuales se describen a continuación (Ministerio de medio ambiente, 2007, p. 1).

Método de Chapman

Es un algoritmo para el cálculo de caudal base. Se trata de un método bastante fiel a la teoría original y que depende únicamente de un parámetro de filtro α. Este método se empleó para llevar a cabo la determinación del caudal base a partir del caudal total. El algoritmo desarrollado por Chapman se presenta en la ecuación (1):

$$Q_{bT} = \frac{3\,\alpha-1}{3-\alpha}\,(Q_{bT-1}) + \frac{2}{3-\alpha}\,Q_T - Q_{T-1} \qquad \text{Ecu. (1)}$$

Donde:

Q_{bT}: es el caudal base filtrado en el instante t.

Q_{bT-1}: es el caudal base filtrado en el instante.

T-1: α es el parámetro de filtro, el rango de variación estimado de este parámetro se estima entre 0.925 y 0.980.

Q_T: es el caudal total en el instante t.g.

Q_{T-1}: es el caudal total en el instante t-1. (Welderufael & Woyessa, 2010, p. 4).

Método Eckhardt

Este método propone un algoritmo para los filtros digitales que tenía en cuenta el parámetro de filtro α, como el BFI max (*Maximum Baseflow Index*). El método de Eckhardt aporto un sentido más físico al análisis. El algoritmo de Eckhardt presenta la ecuación (2) (Zhang, Ahiablame, Engel y Liu, 2013):

$$Q_{b,t} = \frac{(1-BFI_{max})\;X\;a\;X\;Q_{b,t-1} + (1-a)\;X\;BFI_{max}\;X\;Q_{s,t}}{1-a\;X\;BFI_{max}} \qquad \text{Ecu. (2)}$$

Para la determinación de las variables del algoritmo, $Q_{b,t}$, $Q_{b,t-1}$ y α se definen de igual manera que en el método de Chapman.

BFI_{max} es el índice máximo caudal base – caudal total, que tomará el valor de 0.7.

Análisis estadístico

El análisis de series temporales es importante para observar si existe un cambio dentro de la misma. Para ello se analizaron las series de caudales mensuales de la estación Bocatoma El Centenario y las series de caudales base determinada por los dos algoritmos (Chapman y Eckhardt), para un total de 26 años para cada serie. Todas las pruebas estadísticas se desarrollaron con el software XLSTAT. Las pruebas realizadas se presentan a continuación:

Estadística descriptiva: se procedió a realizar un análisis estadístico descriptivo que contempla la media, desviación típica y varianza, entre otros.

Estacionariedad: esta prueba permite verificar si una serie es estacionaria o no. Hay dos enfoques diferentes, los cuales fueron considerados en este estudio, donde se utilizó la prueba KPSS que considera como hipótesis nula H0 que la serie es estacionaria, y pruebas de raíz unitaria, tales como la prueba de Dickey-Fuller y su versión aumentada (prueba de Dickey-Fuller aumentada, ADF), o la prueba de Phillips-Perron (PP), para las cuales la hipótesis nula es por el contrario que, la serie posee una raíz unitaria y, por lo tanto, no es estacionaria (XLSTAT, 2017).

Análisis de tendencia:

Con el fin de investigar la presencia de una tendencia en una serie de tiempo, se utiliza la prueba no paramétrica de Mann- Kendall (MK). Es una prueba no paramétrica, debido a que no asume la hipótesis que la muestra presenta una función de densidad en particular. Como antecedente, se puede señalar que ha sido recomendada por la Organización Meteorológica Mundial para su aplicación en series de variables meteorológicas e hidrológicas (Suriano y Seoane, 2014, p. 3).

Esta prueba ha sido ampliamente aplicada en estudios de identificación de tendencias en series hidrometeorológicas y otras series ambientales.

Su desarrollo se resume como:

a. Se listan los valores de las variables (precipitación, por ejemplo), de forma ordenada (X1, X2..., Xn).

b. Se obtiene el signo de la diferencia de cada par de valores al comparar sus magnitudes (X j, X k) con (j > k) de acuerdo con la ecuación 3.

$$\text{Signo}\,(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 \text{ si } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 \text{ si } (x_j - x_k) = 0 \\ -1\,(x_j - x_k) < 0 \end{cases} \qquad \text{Ecu. (3)}$$

c. Obtención del estadístico S de Mann Kendall, mediante la ecuación 4:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^{n} \text{signo}\,(x_j - x_k) \qquad \text{Ecu. (4)}$$

Si S es positivo se infiere de forma subjetiva que la tendencia es creciente, cuando S es negativo se infiere que hay tendencia decreciente.

d. Con base en los indicadores, se estima una varianza para el estadístico S de Mann Kendall, que considera el caso de los empates obtenidos en el paso 2, mediante la ecuación 5.

$$\text{Var}[S] = \frac{1}{18}\left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{q=1}^{g} t_q (t_q - 1)(2t_q + 5) \right] \quad \text{Ecu. (5)}$$

e. Cálculo del estadístico ZMK mediante la ecuación 6.

$$Z = \begin{cases} \dfrac{S-1}{[\text{Var}(S)]^{1/2}} & \text{si} > 0 \\ 0 \text{ si } S = 0 \\ \dfrac{S+1}{[\text{Var}(S)]^{1/2}} & \text{si} < 0 \end{cases} \quad \text{Ecu. (6)}$$

f. A partir del estadístico Z se evalúa la hipótesis de interés, que puede ser:

I) H0: No hay tendencia vs. H1: Hay tendencia decreciente.

II) H0: No hay tendencia vs. H1: Hay tendencia creciente.

La prueba de Mann-Kendall proporciona un valor de significancia, p-valor, así, un valor de p-valor inferior a 0.05-0.1, que garantiza que la hipótesis adoptada tiene unas altas garantías de veracidad; a medida que este valor se hace más grande, las probabilidades van disminuyendo; hasta que se acerca a un valor de 1, la probabilidad es nula. (Muñoz, 2008, pp. 18-19).

Resultados y Discusión

Se pudo observar en la Tabla 1 que los resultados obtenidos de la separación del caudal base con respecto al caudal medido en la estación hidrológica, los dos algoritmos (Chapman y Eckhardt), tienen valores similares, la media para el caudal base por el método de Chapman fue de 0.7513 m3/s (± 0.005), la media para el caudal base por el método de Eckhardt fue de 0.7514 m3/s (± 0.005), mientras que la media para el caudal de la estación fue de 1.511 m3/s (± 0.05). Los posibles errores presentes en el estudio se pueden asumir a los parámetros α y BFImax, los cuales deben ser medidos a través de trazadores (Welderufael & Woyessa, 2010; Zhang et al., 2013). Cabe resaltar que, según los resultados, el caudal base para la cuenca alta del río Pasto es de gran importancia, pues aproximadamente el 49,7 % del caudal medio de la estación Bocatoma Centenario ha sido aportado por aguas subterráneas a lo largo del tiempo.

Tabla 1. *Estadística descriptiva de los caudales de la estación y caudales base estimados por los métodos Chapman y Eckhardt*

Estadístico	Qe	Qb Chapman	Qb Eckhardt
No. de observaciones	320	320	320
Mínimo	0.131	0.567	0.562
Máximo	7.820	0.997	0.996
Mediana	1.300	0.738	0.739
Media	1.511	0.751	0.751
Varianza (n-1)	0.797	0.009	0.009
Desviación típica (n-1)	0.893	0.093	0.093
Coeficiente de variación	0.590	0.124	0.124
Error típico de la media	0.050	0.005	0.005
Error estándar de la varianza	0.063	0.001	0.001
Media geométrica	1.285	0.746	0.746

Nota: Qe = Caudal de estación; Qb = Caudal base

En la Figura 2 se observa el comportamiento irregular de los caudales, pues en los primeros años (1988–1993) se presentan aportaciones poco importantes que no superan la media. Mafla et al. (2014) mencionan que dicho comportamiento podría estar sujeto a la época de sequía presente en este periodo, la sequía hidrológica es la disminución del caudal o volumen de aguas superficiales o subterráneas, con respeto a los niveles considerados normales.

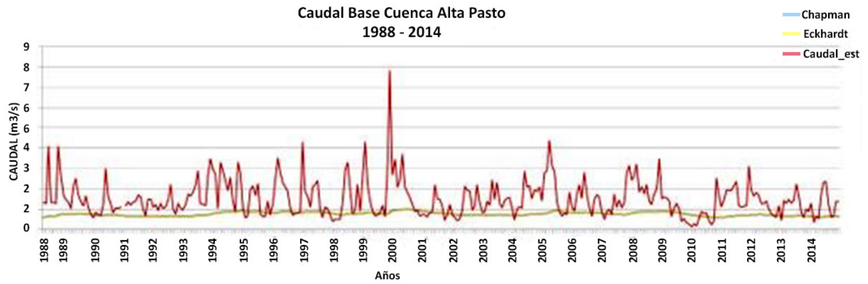


Figura 2. Caudales base métodos de Chapman y Eckhardt y caudal estación Bocatoma El Centenario.

Ocurre lo contrario entre los años 1994 – 2005, pues se evidencia en el año 2000 los caudales base máximos de cada serie, Qb = 0.9967 m3/s para Chapman y 0.9961 m3/s para Eckhardt, estos datos concuerdan con el análisis anual de precipitaciones, en el cual se reportó que dentro de este rango, se encuentran los máximos regímenes de lluvia, que están entre 1.600 – 1.700 mm (Corponariño, 2009), se podría plantear una hipótesis, indicando que en este año se presentó una crecida, término definido como "el aumento anormal en un período determinado en el caudal de un río" (Lara, 2013, s.p.).

Tabla 2. *Resultados de las distintas pruebas de estacionariedad*

Estacionariedad			
Tipo de caudal	KPSS	Dickey-Fuller (ADF)	Phillips-Perron)
Qe	Estacionaria	Estacionaria**	Estacionaria**
Qb Eckhardt	Estacionaria	No estacionaria	No estacionaria
Qb Chapman	Estacionaria	No estacionaria	No estacionaria

**p-valor < 0.005

En la Tabla 2, se puede observar los resultados de las pruebas de estacionariedad, donde el caudal de la estación obtuvo que la serie de datos es estacionaria, es decir, no cambia con el tiempo. Algo similar ocurrió para los caudales base de ambos métodos en la prueba de KPSS, que indica que son estacionarias, mientras que las pruebas de Dickey-Fuller (ADF) y Phillips-Perron indican que la serie de datos no son estacionarias, es decir, que cambian con el tiempo. Según Muñoz (2008), la posible manifestación de no estacionariedad en las series es la existencia de alguna modificación de algunos de sus parámetros estadísticos.

Tabla 3. *Valores de p y s para el análisis de tendencia de los datos mensuales mediante la prueba Mann Kendall*

Mes	p-valor			Pendiente (S)		
	Qe	Qb Eckhardt	Qb Chapman	Qe	Qb Eckhardt	Qb Chapman
Enero	0.619	0.684	0.784	-0.60%	-0.20%	-0.20%
Febrero	0.784	0.784	0.757	-2%	-0.20%	-0.20%

Marzo	0.448	0.784	0.784	0.40%	-0.20%	-0.20%
Abril	0.474	0.771	0.784	-0.04%	-0.20%	-0.20%
Mayo	0.861	0.565	0.565	-1.50%	-0.04%	-0.04%
Junio	0.761	0.629	0.629	-1.10%	-0.04%	-0.06%
Julio	0.771	0.690	0.690	-1.40%	-0.10%	-0.10%
Agosto	0.831	0.690	0.690	-1.20%	-0.10%	-0.20%
Septiembre	0.956	0.718	0.771	-1.40%	-0.20%	-0.20%
Octubre	0.804	0.771	0.784	-1%	-0.20%	-0.20%
Noviembre	0.877	0.796	0.818	-2.20%	-0.20%	-0.30%
Diciembre	0.266	0.868	0.859	1.20%	-0.30%	-0.30%

El resultado del análisis de tendencias se puede observar en la Tabla 3, donde según el valor de la tendencia (s) para el caudal de la estación, en los meses de abril (0,4 %) y diciembre (1,2 %) tiene tendencia creciente, mientras que para para los demás meses su tendencia es decreciente, con un mínimo en noviembre de (-2,2 %). Por otro lado, la tendencia de los caudales base de ambos métodos presentó tendencia negativa con un promedio de -0,2 %. Sin embargo, en este caso, los p-valores de la prueba no paramétrica de Mann Kendall son casi nulos, es decir, su probabilidad es casi nula, debido a que los p-valores se encuentran lejos del nivel de significancia. Según Miró, Estrela y Barberá (2011), la oscilación estacional, que para este caso es bimodal, debe ser considerada como técnica de ajuste para determinar la tendencia de la serie.

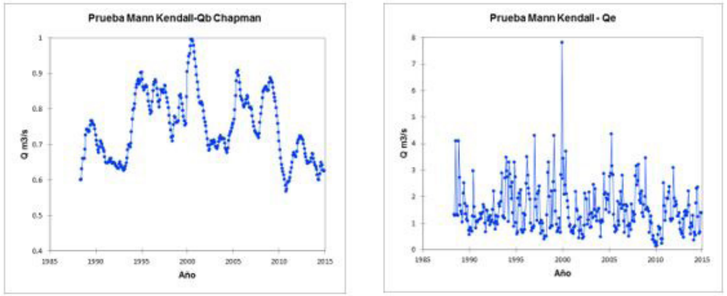


Figura 3. Tendencias de las series temporales de datos de caudales de la estación Bocatoma El Centenario y de los caudales base.

En la Figura 3, se puede observar gráficamente que las series temporales totales no tienen tendencia tanto para el caudal de la estación como para el caudal base por el método de Chapman, cabe destacar que los métodos de Chapman y Eckhardt arrojaron resultados similares. Además, se evidencia altas tasas de cambio para los tres casos, principalmente en el año 2000 y 2010, según Castro, y Carvajal (2010) puede producir un cambio en la medida de tendencia central y también en la varianza.

Conclusiones

Las pruebas estadísticas son herramientas indispensables para el análisis exploratorio de los datos hidrometeorológicos, estas son representativas numéricamente y para una mejor interpretación se encuentran los análisis de gráficas, los cuales permiten observar si los datos pertenecen a una misma población, si se encuentran afectados por factores externos, y si presentan tendencias y cambios.

Las series temporales suelen variar constantemente, estas variaciones pueden estar regidas por la estacionalidad de la zona de estudio o por factores externos, por lo cual, para cada zona de estudio se debería evaluar si las pruebas que mejor representan esa población son pruebas paramétricas o no paramétricas, pues se han observados casos donde las muestras pueden ser representadas por una sola prueba o por ambas.

La prueba no paramétrica para análisis de tendencia de Mann Kendall ha sido recomendada por la Organización Meteorológica Mundial para su aplicación en series de variables meteorológicas e hidrológicas, pues, además de indicar si existe o no tendencia en la serie de datos, para el primer caso indica el valor de la pendiente y la probabilidad con la que ésta puede presentarse. Por otro lado, las pruebas paramétricas son de gran ayuda para determinar la tendencia, una vez se haya comprobado que los datos cumplen con las pruebas de normalidad.

Los resultados de esta investigación indican que los caudales de la cuenca alta del río Pasto no tienen tendencia negativa, a pesar de que la cuenca se encuentra expuesta con factores antrópicos como el cambio de uso de suelo, extracción del recurso hídrico para diferentes actividades y posibles afectaciones del cambio climático regional, la misma tiene una alta capacidad de regulación, al menos en los 26 años estudiados (1988-2014).

Es de gran importancia realizar procedimientos de campo, conocer cuáles son los parámetros de ajuste para la estimación de caudales base, disminuyendo así los posibles errores de los algoritmos. Además, se debe considerar el comportamiento estacional de la cuenca para una mayor precisión en los datos.

Agradecimientos

Los autores principales de este documento agradecen a Diana Melo y Sandra Enríquez, por el apoyo brindado para la realización de este trabajo.

Referencias

Acosta, L. (2014). Conocimiento del clima para la acción. Recuperado de https://goo.gl/SoZiuo

Castro, L., Carvajal, Y. (2010). Análisis de tendencia y homogeneidad de series climatológicas. *Ingeniería de recursos naturales y del ambiente, 9,* 15-25.

Corponariño. (2009). Plan de ordenamiento y manejo integral del recurso hídrico de la microcuenca La Pila, municipio de Pasto, departamento de Nariño.

Corponariño, (2010). Plan de ordenamiento y manejo de la microcuenca Barbero, cuenca alta del río Pasto, municipio de Pasto. Recuperado de https://goo.gl/XLhqGw

Corponariño. (2011). Plan de ordenación del río Pasto. Recuperado de http://corponarino.gov.co/expedientes/descontaminacion/porhriopasto.pdf

Franquet, J. (2009). El caudal mínimo medioambiental del tramo inferior del río Ebro. Tortosa, España: Editorial UNED.

Lara, J. (22 de diciembre de 2013). Análisis y comentario de un hidrograma o gráfico de caudal [Blog]. Recuperado de http://geografiaeneltablero.blogspot.com/2013/12/analisis-y-comentario-de-un-hidrograma.html

Mafla, F., Bertoni, J., Díaz, E., Cárdenas, G., Villarreal, C. y Guerrero, G. (2014). Caracterización de sequías en el departamento de Nariño. 33 p.

Ministerio de medio ambiente, (2007). Plan especial de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía. Recuperado de: https://goo.gl/PSi2gQ

Miró, J., Estrela, M., y Barberá, M. (2011). Análisis de tendencias de series diarias de temperatura a partir de un downscaling estadístico con datos de reanálisis y redes neuronales. Aplicación a la comunidad valenciana. Recuperado de http://aeclim.org/wp-content/uploads/2016/02/0053_PU-SA-VIII-2012-JJ-_MIRO.pdf

Muñoz, C. (2008). *Análisis en la variabilidad de series hidrometeorológicas en una cuenca de cabecera del río Segura: cuenca del río Mundo* (tesis pregrado). Universidad Politécnica de Cartagena, Colombia. Recuperado de http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/738/pfc2752.pdf?sequence=1

XLSTAT, (2017). Pruebas de raíz unitaria y estacionariedad. Recuperado de https://www.xlstat.com/es/soluciones/funciones/pruebas-de-raiz-unitaria-y-estacionariedad

Zhang, Y., Ahiablame, L., Engel, B. y Liu, J. (2013). Regression Modeling of Baseflow and Baseflow Index for Michigan USA. *Open Acces Water, 5,* 1.797-1.815. doi: 10.3390/w5041797

Especies forestales y su aporte a la mitigación del cambio climático en los Andes del Ecuador

Mario José Añazco Romero[18]
Ana Espinosa[19]
Eduardo Chagna[20]
Viviana Guachamin[21]
Jorge Ramírez[22]
Liniker Ocampo[23]
María Vizcaino[24]

Resumen

El objetivo de la investigación fue determinar el contenido de carbono de las especies forestales nativas y exóticas representativas del Ecuador, por su aporte en productos y servicios en el contexto de los pequeños agricultores rurales. La metodología utilizada se fundamenta en las recomendaciones del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), misma que consistió en calcular la biomasa de cada árbol y multiplicar por el factor de conversión de 50 %, para establecer la cantidad de carbono fijado. Las especies analizadas fueron tres nativas y tres introducidas, siendo éstas las siguientes: Eucalyptus globulus, Alnus nepalensis, Polylepis racemosa, Persea americana, Juglans neotropica e Inga insignis. Los resultados indican que la especie E. globulus captura 77,56 t C ha-1, seguida de A. nepalensis con 36,53 t C ha-1, P. racemosa 0,79 t C ha-1, J. neotropica 19,98 t C ha-1, I. insignis 8,76 t C ha-1 y P. americana 3,47 t C ha-1. El análisis estadístico determinó que la cantidad de carbono fijado por cada especie es heterogénea. La conclusión fue que la condición de especie nativa o introducida no determina la cantidad de carbono capturado, son otros factores los que influyen, entre estos: la edad, la altitud sobre el nivel del mar y la densidad de la madera.

Palabras clave: carbono, especies forestales, pequeños agricultores.

[18] Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. Correo electrónico: marioanazco@gmail.com

[19] Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

[20] Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

[21] Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

[22] Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

[23] Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

[24] Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. Correo electrónico: mjanazco@utn.edu.ec

Forest species and their contribution to the mitigation of climate change in the Andes of Ecuador

Abstract

The objective of the research was to determine the carbon content of native and exotic forest species representative of Ecuador, for their contribution in products and services in the context of small rural farmers. The methodology used is based on the recommendations of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), which consisted in calculating the

biomass of each tree and multiplying by the conversion factor of 50%, in order to establish the amount of carbon fixed. The species analyzed were three native and three introduced: Eucalyptus globulus, Alnus nepalensis, Polylepis racemosa, Persea americana, Juglans neotropica and Inga insignis. The results obtained indicate that the species E. globulus captures 77,56 t C ha-1, followed by A. nepalensis with 36,53 t C ha-1; P. racemosa with 0,79 t C ha-1; J. neotropica 19,98 t C ha-1; I. insignis 8,76 t C ha-1 and P. Americana, 3,47 t C ha-1. The statistical analysis determined that the amount of carbon fixed by each species is heterogeneous. The study allows us to conclude that the condition of native or introduced species does not determine the amount of carbon captured; other factors affect such us: age, altitude above sea level and density of wood.

Key words: carbon, forest species, small farmers.

Espécies Florestais e sua Contribuição para a Mitigação das Alterações Climáticas nos Andes do Equador

Resumo

O objetivo da pesquisa foi determinar o teor de carbono de espécies florestais nativas e exóticas representativas do Equador por sua contribuição em produtos e serviços no contexto de pequenos agricultores rurais; a metodologia utilizada baseia-se nas recomendações do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), que consistiu no cálculo da biomassa de cada árvore e na multiplicação pelo fator de conversão de 50% para estabelecer a quantidade de carbono fixado; As espécies analisadas foram três nativas e três introduzidas, sendo as seguintes: Eucalyptus globulus, Alnus nepalensis, Polilepis racemosa, Persea americana, Juglans neotropica e Inga insignis; os resultados obtidos indicam que a espécie E. globulus captura 77,56 t C ha-1 seguido por A. nepalensis com 36,53 t C ha-1, P. racemosa 0,79 t C ha-1, J. neotropica 19 , 98 t C ha-1, I. insignis 8,76 t C ha-1 e P. americana 3,47 t C ha-1; a análise estatística determinou que a quantidade de carbono fixado por cada espécie é heterogênea; a conclusão foi que a condição de espécies nativas ou introduzidas não determinou a quantidade de carbono capturado, são outros fatores que influenciam entre estes a idade, a altitude acima do nível do mar e a densidade da madeira.

Palavras-chave: Carbono, espécies florestais, pequenos agricultores rurais

Introducción

El cambio climático global (CCG) es el resultado del incremento en la temperatura superficial del planeta, aumento que se debe principalmente al acrecentamiento de gases de efecto invernadero (GEI); las tendencias mundiales citadas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2015) muestran que:

> Las emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero (…) totales han continuado en aumento de 1970 a 2010 y los mayores aumentos decenales absolutos se han producido al final de ese período (…), las emisiones de GEI anuales aumentaron en promedio 1,0 gigatoneladas de dióxido de carbono equivalente (GtCO2eq) (2,2 %) por año entre 2000 y 2010 (…) siendo las más altas en la historia de la humanidad y llegaron a 49 (±4,5) GtCO2eq/año en 2010. (p. 6).

La contribución del Ecuador en emisiones totales de GEI, según el inventario nacional de gases efecto invernadero de 2012:

> Ascienden a 80 627,16 Gg de CO2-eq, de las cuales el sector energía aporta con 46,63 % de dichas emisiones, seguido del sector USCUSS [Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura], con 25,35 % de las emisiones totales netas (valor neto resultante de las emisiones menos las absorciones). El sector agricultura ocupa el tercer lugar con 18,17 % de los GEI emitidos a la atmósfera. Los sectores procesos industriales y residuos representan, en conjunto, aproximadamente 10 % de las emisiones del país, registrando 5,67 % y 4,19 %, [en cada caso]. (República del Ecuador, 2019, p. 6).

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (2006) señala:

> Los árboles y los bosques ayudan a mitigar [el cambio climático] (…) al absorber el [dióxido de carbono] de la atmósfera y convertirlo, a través de la fotosíntesis, en carbono que “almacenan” en forma de madera y vegetación. Este proceso se denomina “fijación del carbono”. En los árboles el carbono supone en general alrededor del 20 por ciento de su peso. Además de los árboles mismos, el conjunto de la biomasa forestal también funciona como “sumidero de carbono”. En total, los bosques del planeta y sus suelos actualmente almacenan más de un billón de toneladas de carbono, el doble de la cantidad que flota libre en la atmósfera, indican los estudios de la FAO. (párr. 7).

Bajo este contexto, las especies forestales que se encuentran formando diferentes ecosistemas, tales como bosques naturales, plantaciones y sistemas agroforestales, juegan un rol importante en la mitigación del cambio climático como sumideros de carbono. La cantidad de carbono fijado varía de acuerdo al ecosistema, a la especie y a nivel de individuos, donde cada parte de su taxonomía aporta de diferente manera. La primera evaluación nacional forestal del Ecuador determino que el Bosque Siempre Verde de Tierras Bajas de la Amazonía captura la mayor cantidad de carbono, llegando a 108,69 Mg ha-1, mientras que el Bosque Seco Pluvioestacional fija 25,01 Mg ha-1, siendo el ecosistema que menor carbono fija; la biomasa viva almacena el 57 % del carbono total (Ministerio del Ambiente, 2014).

Gamarra (2001) determinó en Junin-Perú el contenido de carbono en una plantación de *Eucalypus globulus Labil*, siendo éste de 137,05 t C/ha. Rueda (2014) en Perú en una plantación de *Inga edulis* de 22 meses de edad obtuvo en promedio 0,014 t C/árbol, donde las ramas aportan un 66 %, hojas 19,2 % y tallos 14,6 %. En los sistemas agroforestales (SAF), las especies forestales influyen en el carbono total capturado, al respecto Corral, Duicela y Maza (2006) tras estudiar la fijación y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales ubicados en el litoral ecuatoriano determinaron que:

> El contenido de carbono en los cafetales, en función de las especies forestales con que se asocian los SAF, fueron superiores cuando estuvieron bajo la cobertura de los árboles de guaba (4,79 t/ha). Esta situación se puede atribuir a que los cafetos bajo una copa de árbol que proporciona alto sombramiento como lo es la guaba, desarrollan una gran cantidad de follaje, expresado en una mayor proporción de biomasa. (p. 7).

De esta manera, el objetivo de la presente investigación fue determinar el contenido de carbono de las especies forestales nativas y exóticas representativas del Ecuador, por su aporte en productos y servicios en el contexto de los pequeños agricultores rurales.

Metodología

Selección área geográfica para realizar la investigación

Se seleccionó la región Andina Norte (conformada bajo la división administrativa del Ecuador por tres provincias: Pichincha, Imbabura y Carchi) para realizar la investigación, puesto que en este espacio geográfico convergen tres criterios de selección, estos son: 1) representatividad social, ya que en esta región habitan tres grupos sociales: mestizo, indígena y afroecuatoriano, que son característicos de la población ecuatoriana; 2) en esta área se encuentran la mayoría de espacios geomorfológicos representativos del país, como los páramos, las laderas, los valles y las estribaciones de cordillera; 3) es el área de mayor influencia de la Universidad Técnica del Norte a la cual pertenecen el grupo de investigadores.

Selección de especies

Los criterios utilizados para seleccionar especies se basan en el objetivo propuesto, por ello se seleccionaron aquellas especies forestales nativas y exóticas más representativas del país por sus productos y servicios ambientales que aportan y que se encuentran formando parte de los sistemas agroforestales, que es la tecnología mayoritariamente utilizada por los pequeños agricultores rurales. Las especies elegidas y sus principales características fueron las siguientes:

- Guaba *Inga insignis* se seleccionó en un sistema agrosilvícola, asociada con frejol *Phaseolus vulgaris*, ubicado en la ladera media, provincia de Imbabura. Inga es el género con mayor número de especies comestibles en el Ecuador (65), es utilizada para la construcción, instrumentos de labranza, leña y carbón; el arilo de sus frutos lo consumen tanto humanos y varias especies de animales frugívoros; entre los servicios ambientales están la fijación de nitrógeno, aporte con materia orgánica, sombra, flores melíferas y usos ornamentales (Pennington y Revelo, 1997; De la Torre, 2008).

- Eucalipto *Eucalyptus globulus Labil* se seleccionó en un sistema silvopastoril asociada con pasto kikuyo *Pennisetum clandestinum* en la ladera alta, provincia de Carchi. Es la especie de mayor aprovechamiento maderero a nivel de la región andina y la segunda a nivel nacional (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2011), además, aporta con productos Forestales No Madereros (PFNM), como los aceites esenciales utilizados por las industrias farmacéuticas y cosméticas; también sus flores melíferas son la materia prima para algunas iniciativas apícolas.

- Aguacate *Persea Americana Miller,* se seleccionó en un sistema agrosilvícola asociada con maíz *Zea mays* en el cantón Mira, provincia de Carchi. Es una fruta que se encuentra en las cuatro regiones naturales del país (Costa, Sierra, Amazonia y Galápagos), se cultivan alrededor de 30 variedades, entre las cuales sobresalen la fuerte y hass, ésta última tiene como ventaja su contenido de aceite (18 a 20 %) y por la cual se ha instalado una industria para extraer aceite en la provincia de Carchi. Ecuador posee 5.579 ha., 98,7 % se encuentra en la región Andina y se comercializan a nivel nacional e internacional 15.346 toneladas/año (Jácome, 2011; INEC, 2016).

- Nogal *Juglans neotropica* se seleccionó en un sistema agrosilvícola asociada con granadilla *Passiflora ligularis* en la parte alta del valle del Chota, provincia de Imbabura. La madera es de excelente calidad y muy demandada, especialmente en la ciudad de Ibarra; sus hojas y frutos son utilizados en medicina natural, las semillas (nueces) son consumidas por seres humanos y animales y la corteza se utiliza como tinte natural. El contenido de vitaminas, minerales, ácidos grasos poliinsaturados y la presencia de la juglandina en sus nueces, frutos y hojas permiten catalogarla como una especie nutracéutico.

- Yagual *Polylepis racemosa* se seleccionó en un sistema silvopastoril con paga natural *Stipa ichu,* provincia de Pichincha. La madera se utiliza para construcción, instrumentos de labranza, leña y carbón; es una de las pocas especies que resiste heladas, vientos y bajas temperaturas, por esto es utilizada en barreras rompevientos y contra heladas para mejorar el microclima local.

- Aliso *de Nepal Alnus nepalensis D.* fue seleccionada en un sistema agosilvícola asociada con el cultivo perenne café *Coffea* arábica en las estribaciones occidentales de la provincia de Imbabura; fue introducida el año 1995 en la zona de Intag (noroccidente del Ecuador). La madera es muy apreciada para la fabricación de muebles, artesanías y algunos elementos de la construcción de viviendas, por su baja densidad; además, fija nitrógeno, aporta importante materia orgánica al suelo y proyecta sombra beneficiosa en sistemas silvopastoriles.

Metodología para determinar el contenido de carbono

Las estimaciones del contenido de carbono fueron determinadas a partir de la biomasa aérea de cada especie forestal.

Tamaño de la muestra y selección de las especies forestales en prácticas agroforestales

A partir de las investigaciones realizadas por Checa (2010) y Fuentes (2016) se definió la población de prácticas agroforestales; para determinar estadísticamente el tamaño de la muestra se aplicó la fórmula utilizada en la estimación de proporciones. Después de aplicar la fórmula se obtuvo como resultado una muestra de seis prácticas agroforestales. Para definir el tipo de prácticas agroforestales a analizar en cada espacio geomorfológico, se procedió a utilizar la metodología conocida como multicriterio, con el apoyo de expertos en el tema (Aguirre y Vizcaíno, 2010; Pacheco y Contreras, 2008; Roche y Vejo, 2005; Hernández, Fernández y Baptista, 1998; Fernández, 1996).

Determinación de parcelas

En las cuatro prácticas agroforestales donde se combinan árboles dispersos con cultivos o pastos, los cuales son: aliso con café; aguacate con maíz; eucalipto con pasto kikuyo y yagual con pasto natural, y con base en la guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales (Rügnitz, Chacón y Porro, 2009) se establecieron dos parcelas rectangulares de 1.000 m2 en cada práctica. Para el caso de las plantaciones lineales de nogal (lindero) y guaba (cultivo en callejones) se consideró como una sola parcela la hilera de árboles.

Toma de datos de campo

El trabajo de campo consistió en medir el diámetro a la altura del pecho (DAP) a 1,30 m desde el nivel del suelo y la altura total, para eucalipto, nogal, aliso y yagual; se registró el diámetro basal (DB) a los 5 cm del suelo para guaba y aguacate, porque presentaron ramificaciones del fuste antes de la altura del pecho.

Cuantificación de biomasa aérea

Para cuantificar la biomasa se utilizó el método directo de muestreo destructivo, obteniendo directamente en el campo y por separado el peso fresco de cuatro componentes: hojas (Bh), tallo (Bt), ramas (Br) y frutos (Bf).

Las muestras de fuste, ramas, hojas y frutos fueron pesadas para obtener el peso en húmedo y luego sometidas a horno a 105°C, donde eran pesadas hasta llegar a un peso constante, y finalmente registrar el peso seco.

La ecuación general para la obtención de la biomasa seca de cada componente fue:

BScomp = (Psm/Phm)* BHtcomp

Donde:

BScomp= Biomasa seca total del componente (kg).
Psm = Peso seco de la muestra (gr).
Phm = Peso húmedo de la muestra (gr).
BHt = Biomasa húmeda total del componente (kg).

La biomasa total del árbol fue determinada sumando la biomasa seca de cada uno de sus componentes

BTarbol = (BSfuste + BSramas + BShojas)

Donde:

BTarbol = Biomasa total del árbol con base en biomasa seca de sus componentes (kg).

BSfuste = Biomasa seca del fuste (kg).

BSramas = Biomasa seca de las ramas (kg).

BShojas = Biomasa seca de las hojas (kg). (Rueda, 2014, p. 58).

Estimación de la cantidad de carbono

Para estimar la cantidad de carbono, se multiplico el valor de biomasa aérea por la fracción de carbono por defecto del IPCC 2003.

C (plantación)= BT (plantación)* FC

Donde:

C Plantación = Cantidad de carbono de la Plantación en (kg).

BT Plantación = Biomasa Total de la plantación en (kg).

FC = Fracción de Carbono IPCC 2003 (valor: 0.5) (IPCC, 2006).

Finalmente, al resultado de carbono de toda la plantación se aplicó el factor de conversión 44/12 (IPCC 2003) de unidades de carbono (C) para transformar a unidades de Dióxido de carbono equivalente (CO2), y se transformó las unidades de kg en toneladas, dividiéndolo entre 1.000, obteniendo tn CO2.

Análisis estadísticos

Se procedió a realizar análisis estadísticos de la información, utilizando pruebas estadísticas paramétricas. Se realizó un análisis de correlación simple entre el contenido de carbono de cada especie y las variables DAP

y Altura, para posteriormente generar ecuaciones alométricas aplicables en condiciones edafoclimáticas y de manejo similares a las del presente estudio.

Resultados y Discusión

Los resultados que se presentan a continuación son el producto del análisis realizado en seis especies forestales siendo estas tres nativas y tres exóticas cuyos nombres locales y botánicos son los siguientes: las nativas corresponden a nogal *Juglans neotropica*, guaba *Inga insignis* y aguacate *Persea americana*; las exóticas son aliso de Nepal *Alnus nepalensis*, eucalipto *Eucalyptus globulus* y yagual *Polylepis racemosa*.

Cantidad de carbono fijado por especie forestal

La captura unitaria de carbono por cada especie forestal resulto ser diferente, la mayor cantidad de carbono fijado a nivel de biomasa aérea es *Alnus nepalensis* con 0,57 t C/árbol; *Juglans neotropica* especie nativa de la región andina captura 0,17 t C/árbol; *Eucalypus globulus* introducida a finales del siglo XIX con 0,070 t C/árbol; *Inga insignis* nativa de los andes 0,058 t C/árbol; *Persea americana* originaria de Mesoamérica 0,006 t C/árbol, y *Polylepis racemosa* introducida desde Perú a inicios de la década de los años ochenta fija 0,0001 t C/árbol. (Ver Figura 1).

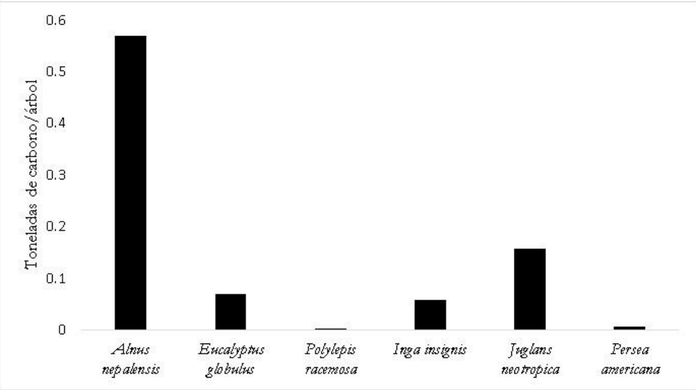


Figura 1. Fijación de carbono/especie forestal.

Los distintos órganos que conforman la biomasa aérea capturan diferentes cantidades de carbono; el tallo y las ramas son los que mayor carbono fijan en la especie *P. racemosa*, estos dos contribuyen con el 97 % del carbono total; las hojas con 2,50 %, y las raíces con 0,50 %.

El carbono total por hectárea estuvo determinado por la densidad de cada plantación (número de árboles/ha), *E. globulus* con una densidad de 1.111 árboles/ha captura 77,56 t C/ha, *A. nepalensis* con 64 árboles/ha captura 36,53 t C/ha, *J. neotropica* con 120 árboles/ha captura 19,99 t C/ha, *I. insignis* con 150 árboles/ha captura 8,76 t C/ha, *P. americana* con 625 árboles/ha captura 3,47 t C/ha, y *P. racemosa* con 625 árboles/ha captura 0,79 t C/ha. Respecto a esta última especie, Masilla (como se citó en Castro, 2014) señala que en Cuzco- Perú, los bosques del género *Polypepis* fijan 0,88 t C/ha/año, valores cercanos a los obtenidos en la presente investigación.

Se estima que, en el sureste de México, la reforestación de pastizales con eucaliptos de alta productividad genera una captura neta de CO2 entre 320 y 610 t C/ha en un periodo de siete años (Seppänen, 2002), lo cual es superior a lo registrado en Ecuador.

Por su parte, Corral et al. (2006), en un sistema agroforestal de guaba *Inga edulis* con cacao *Theobroma cacao*, en la costa ecuatoriana, obtuvieron 55,3 t/ha de aporte de la guaba al total de almacenamiento de carbono; cantidad superior a la obtenida con *I. insignis*, que se desarrolla a mayor altitud sobre el nivel del mar, factor que puede ser influyente.

El Aguacate y el yagual tienen la misma densidad de plantación, sin embargo, la cantidad de carbono/ha fijado es diferente; por otro lado, el eucalipto presenta mayor número de árboles/ha que el aliso y el nogal, no obstante, estas especies registran una mayor tasa de fijación de carbono/individuo que el eucalipto; esta situación permite colegir que si bien, el número de árboles/ha es un aspecto influyente en la determinación de la cantidad de carbono total, otros factores de índole ecológico y silvícola podrían tener un peso mayor. En Colombia las proyecciones de fijación de carbono por parte de la variedad de aguacate Hass entre cinco y diez años de edad se estiman en 55 t C/ha (Rodríguez-Camayo et al., s.f.), cifras superiores a las encontradas en la presente investigación.

Factores influyentes en la fijación de carbono forestal

La especie, tipo de manejo, edad, volumen y la densidad de la madera son factores que influyen en la tasa de fijación de carbono. El presente estudio mostró una particularidad en cuanto a la altitud, ya que se observó que a menor altitud hay mayor fijación de carbono y viceversa, tal como se indica en la Figura 2. *A. nepalensis* es la especie que se encuentra a menor altitud (1.968 m s. n. m.) y la que presenta la mayor tasa de fijación, mientras que *P. racemosa* se halla a mayor altitud (3.900 m s. n. m.) y la tasa de fijación es la más baja de todo el estudio. En el caso de las otras especies, los resultados obtenidos corroboran esta relación, puesto que *J. neotropica* ubicada a 2.087 m s. n. m. captura 70 % más carbono que *E. globulus,* que se localiza a 2.865 m s. n. m.; sin embargo, está relación obedece al tipo de especie y manejo de cada sistema, por tanto, se puede afirmar que en general el manejo y las especies usadas en sistemas agrosilvícolas de tierras bajas tienen un mayor potencial como sumidero de carbono que los de tierras altas.

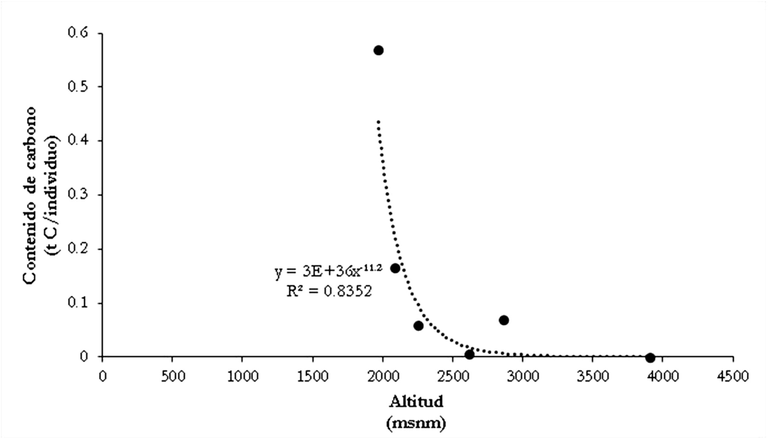


Figura 2. Relación altitud sobre el nivel del mar vs contenido de carbono.

La edad tiene un importante grado de influencia en la dinámica de fijación de carbono, siempre que, la altitud sobre el nivel del mar no sea un factor restrictivo. *A. nepalensis* con 23 años de edad presento una tasa anual de fijación de carbono de 0,025 t C/árbol/año, seguido de *J. neotropica* de 18 años de edad con 0,009 t C/árbol/año, *E. globulus* con 20 años de edad fija 0,004 t C/árbol/año, *I. insignis* de 8 años de edad fija 0,007 t C/árbol/año.

Lo anterior demuestra que, las especies *J. neotropica* e *I. insignis*, a pesar de tener menos edad que *E. globulus,* presentan mayores tasas de captura de carbono, situación concordante con los preceptos fisiológicos que señalan que en los primeros años de vida las plantas capturan mayor cantidad de carbono. La edad también resulta ser un factor importante para conocer la dinámica de crecimiento de las especies forestales, la cual tiene relación con la tasa anual de carbono fijado.

Por lo general, las especies forestales concentran su crecimiento en altura en los primeros años de vida, para dar paso posteriormente al crecimiento en diámetro, en el caso de *A. nepalensis,* la especie presenta un crecimiento acelerado en altura total hasta los tres años, donde reporta el máximo incremento medio anual (IMA) de 2,73 m, entre el año tres y el año siete se presenta un crecimiento constante de 2,66 m/año, a partir del octavo año el ritmo de incremento en altura empieza a desacelerarse; en cuanto al diámetro se registró el mayor Incremento Medio Anual (IMA) en el octavo año con 5,5 cm coincidiendo con el decremento del ritmo de crecimiento en altura.

La información sobre altura y diámetro constituyen insumos básicos para el cálculo del volumen de madera, el cual, a su vez, representa una importante fuente de información para determinar el contenido de carbono; *A. nepalensis* presento un volumen promedio de 3,68 m3/árbol, *J. neotropica* 0,57 m3/árbol, *E. globulus* de 0,25 m3/árbol, *I. insignis* 0,25 m3/árbol, *P. americana* 0,024 m3/árbol y *P. racemosa* 0,001 m3/árbol. En el caso de aliso, nogal, aguacate y yagual, el volumen resulto ser directamente proporcional a la cantidad de carbono fijado, no ocurre lo mismo con eucalipto y guaba que presentan el mismo volumen y las cantidades de carbono fijado por cada especie resultaron ser diferentes; en este contexto, el análisis estadístico mostró que el diámetro tiene mayor influencia que la altura sobre el contenido de carbono de cada especie con valores de R2 mayores al 83 %.

En cuanto a la densidad de la madera, de las seis especies estudiadas, el aliso es la que tiene la menor densidad con 310 kg/m3, clasificada como madera ligera, a su vez es la que mayor cantidad de carbono captura; el nogal es la que posee la mayor densidad en su madera, siendo esta de 580 kg/m3, por ello es considerada madera medio ligera y es la especie que captura más carbono después del aliso. Aguacate, guaba y yagual cuentan con densidades de 450 kg/m3, 460 kg/m3 y 470 kg/m3 respectivamente y están en el grupo de maderas ligeras, mientras eucalipto con 580 kg/m3 es una madera media ligera.

De los resultados obtenidos se colige que no existe una relación directamente proporcional entre la densidad de la madera y la tasa de fijación de carbono, se podría atribuir a esta densidad un peso relativo por cuanto existen otros factores, como la altitud sobre el nivel del mar que es determinante en este proceso fisiológico.

Estadísticamente el análisis de resultados muestra que se puede estimar el contenido de carbono almacenado por el componente arbóreo en las condiciones de los sistemas estudiados, en función del diámetro (DAP o DB) y la altura de cada especie, mediante las ecuaciones de la Tabla 1.

Tabla 1. *Ecuaciones alométricas para cada especie*

Especie	Ecuación	R cuadrado corregida
Alnus nepalenisis	CC=-115,715+1935,132DAP+108,196lnHT^2	0.935
Inga insignis	CC=-50,533+223,91DB*lnHT	0.993
Persea americana	CC=- 3,0842+24,806DB*HT	0.931
Juglans neotropica	CC=-274,995+845,542DAP+17,7667HT	0.983
Polylepis racemosa	CC=-0,1827+8,7514DB+HT	0.954
Eucalyptus globulus	CC=-41,391+43,4640DAPxHT	0.947

CC: Contenido de carbono en kg; DB: Diámetro Basal (m); DAP: Diámetro a la altura del pecho (m); HT: Altura total (m); ln: Logaritmo natural.

España (2016) construyó modelos alométricos para predecir la biomasa aérea de *A. nepalensis* en Intag, Ecuador, los resultados mostraron altos coeficientes de determinación mayores a 0.93, lo cual coincide con la ecuación alométrica desarrollada en el presente estudio que fue de 0,93. Respecto a *Juglans neotropica* es limitada la información sobre estudios de captura de carbono, la literatura da cuenta de investigaciones con otras especies del género *Juglans*, Segura (2006) desarrollo modelos alométricos para *Juglans olanchana Standl* en la provincia de Matagalpa-Nicaragua, los resultados difieren con los de J. *neotropica* del presente estudio.

Conclusión

La condición de especie nativa o introducida no determina la cantidad de carbono capturado, son otros factores los que influyen, entre estos la altitud sobre el nivel del mar, edad y densidad de la madera.

Referencias

Aguirre, C. y Vizcaíno, M. (2010). *Aplicación de estimadores estadísticos y diseños experimentales en investigaciones forestales*. Ibarra, Ecuador: Universitaria Técnica del Norte.

Castro, J. (2014). *Caracterización del bosque de polylepis de Jurau, microcuenca de paria, distrito de Huasta, provincia de Bolognesi, departamento de Ancash* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Checa, X. (2010*). Caracterización de sistemas agroforestales en la Sub-Región Sierra Centro del Ecuador* (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador. Recuperado de http://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/3840/1/iniapsctCh514c.pdf

Corral, R., Duicela, A., Maza, H. (2006). Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con café arábigo y cacao, en dos zonas agroecológicas del Litoral ecuatoriano. En X Congreso ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Congreso llevado a cabo en Quito, Ecuador.

España, F. (2016). *Construcción de modelos alométricos para la determinación de biomasa aérea en aliso de nepal (Alnus nepalensis D. Don) en la zona de Intag, andes del norte del Ecuador* (tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. Recuperado de http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/5728/1/03%20FOR%20236%20TRABAJO%20GRADO.pdf

Fernández, L. (1996). *Estadística Agrícola*. Bogotá, Colombia.

Fuentes, A. (2016). *Caracterización de los sistemas agroforestales de la Parroquia Cahuasquí, Cantón Urcuquí* (tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. Recuperado de file:///C:/Users/UMARIANA/Downloads/03%20FOR%20240%20TRABAJO%20GRADO.pdf

Gamarra, J. (octubre de 2001). Estimación del contenido de carbono en plantaciones de Eucalyptus globulus LABILL, en Junin, Perú. En *Ecotecnias para el desarrollo sostenible urbano rural.* Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Simposio llevado a cabo en Valdivia, Chile.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (IPCC). (2006). Tierras forestales. En *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (pp. 4.1-4.93). Recuperado de https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_04_Ch4_Forest_Land.pdf

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (IPCC). (2015). Cambio Climático 2014 mitigación del cambio climático. Resumen para responsables de políticas. Recuperado de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG3AR5_SPM_brochure_es-1.pdf

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (IPCC). (2003). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Recuperado de https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_files/GPG_LULUCF_FULL.pdf

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (1998). Metodología de la investigación (2.ª ed.). México D.F: McGraw Hill Interamericana

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2016). Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua 2016. Recuperado de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-de-superficie-y-produccion-agropecuaria-continua-2014/

Jácome, J. (2011). *El aguacate orgánico hass: potencialidad de exportación y estrategias de ingreso a los mercados internacionales (2000-2010)* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador. Recuperado de http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/4599/Tesis.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Ministerio del Ambiente del Ecuador (2011). Aprovechamiento de recursos forestales en el ecuador (periodo 2010) y procesos de infracciones y decomisos. Quito, Ecuador. Recuperado de http://www.itto.int/files/user/pdf/PROJECT_REPORTS/PD%20406_06_%20Forest%20Harvesting%20in%20Ecuador%202010%20offenses%20and%20forfeiture.pdf

Ministerio del Ambiente del Ecuador (2014). Evaluación Nacional Forestal, Resultados. Quito, Ecuador. Recuperado de http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/185860/Evaluaci%C3%B3n+Nacional+Forestal_NREFD+1.pdf/955aaa38-34b6-4b4d-9278-8fe915df893f

Ministerio del Ambiente del Ecuador (2017). Tercera Comunicación Nacional del Ecuador sobre Cambio Climático. Quito, Ecuador.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2006). Los bosques y el cambio climático. La gestión forestal es fundamental para afrontar el cambio climático. Recuperado de http://www.fao.org/newsroom/es/focus/2006/1000247/index.html

Pacheco, J. y Contreras, E. (2008). Manual metodológico de evaluación multicriterio para programas y proyectos. Santiago de Chile: Naciones Unidas.

Pennington, T. y Revelo, N. (1997). *El género Inga en el Ecuador, morfología, distribución y usos*. Ecuador: Royal Botanic Gardens

República del Ecuador. (2019). Primera contribución determinada a nivel nacional para el acuerdo de París bajo la convención marco de naciones unidas sobre cambio climático. Recuperado de https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Ecuador%20First/Primera%20NDC%20Ecuador.pdf

Roche, H. y Vejo, C. (2005). Métodos cuantitativos aplicados a la administración. Material de apoyo: Análisis multicriterio. Recuperado de https://es.scribd.com/document/355913083/MdA-Scoring-AHP-pdf

Rodríguez-Camayo, F., Romero, M., Maya, J., Riaño, N., Delerce, S., Da Silva, M.,...Quintero, M. (s.f.). Aguacate como cultivo para la mitigación de cambio climático y la generación de valor [Diapositivas]. Recuperado de https://studylib.es/doc/1094095/el-aguacate-como-cultivo-para-la-mitigaci%C3%B3n-de-cambio-cli...

Rueda, C. (2014). *Estimación de las Reservas de Carbono en la Biomasa Aérea de una Plantación de Inga edulis en Campo Verde, Ucayali* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. Recuperado de http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2361/K10-R94-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rügnitz, M., Chacón, M. y Porro, R. (2009). Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales. Lima, Perú: Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF)- Consórcio Iniciativa Amazônica (IA).

Segura, M., Kanninen, M. y Suárez, D. (2006). Allometric models for estimating aboveground biomass of shade trees and coffee bushes grown together. *Agroforestry systems, 68*(2), 143-150. doi: 10.1007/s10457-006-9005-x

Seppänen, P. (2002). Secuestro de carbono a través de plantaciones de eucalipto en el trópico húmedo. *Foresta Veracruzana, 4*(2), 51-58.

Evaluación de la adsorción de glifosato con estropajo común (*luffa cylindrica*) a escala laboratorio

Ricardo Ignacio Pereira Martínez[25]
Juan Fernando Muñoz Paredes[26]
Jean Alexander León Guevara[27]

Resumen

Se evaluó el fenómeno de adsorción de glifosato mediante el empleo de estropajo común (*Luffa cylindrica*) a escala laboratorio, con el fin de estudiar las propiedades de este material y sus posibles aplicaciones en la eliminación del contaminante. Se empleó reactores batch de mezcla completa con fibras del material previamente acondicionado con NaOH al 2 % p/v y sometido a secamiento forzado por doce horas. En la metodología se planteó un diseño experimental con dos factores: tiempo y temperatura, cada uno de ellos dividido en tres niveles, en los que se aplicó un diseño de bloques aleatorizados por triplicado, obteniendo un total de 27 muestras. Como variable de respuesta se utilizó la eficiencia de eliminación. El fenómeno de adsorción se analizó mediante los modelos de Langmuir y Freundlich y se determinó que el modelo que mejor explica el fenómeno es el de Langmuir con coeficiente de correlación R2 igual a 1. Después de analizar y comprobar los supuestos de normalidad, homocedasticidad y homogeneidad de varianzas, el análisis ANOVA (por sus siglas en inglés) demostró que el factor tiempo, es estadísticamente significativo en la adsorción de glifosato, lo que no ocurrió con el factor temperatura. Con el tratamiento se alcanzó eliminaciones superiores al 90 % para un tiempo máximo de 60 minutos.

Palabras clave: adsorción, eliminación, reactor.

[25] Programa de Ingeniería Industrial, Universidad Cooperativa de Colombia, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: ripereira@gmail.com

[26] Facultad de Posgrados y Relaciones Internacionales, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: jfmunoz@umariana.edu.co

[27] Facultad de Posgrados y Relaciones Internacionales, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: jleon@umariana.edu.co

Evaluation of the adsorption of glifosate with common scrap (*luffa cylindrica*), at laboratory scale

Abstract

The phenomenon of glyphosate adsorption was evaluated using common scourer (*Luffa cylindrica*) at laboratory model, in order to study the properties of this material and its possible applications in the elimination of the contaminant. Batch reactors of complete mixture (RBMC) were used with fibers of the previously conditioned material with 2% w/v NaOH and subjected to forced drying for 12 hours. In the methodology, an experimental design with two factors was proposed: time and temperature, each one divided into three levels and in which a design of randomized blocks was applied in triplicate, obtaining a total of 27 samples. The elimination efficiency was used as the response variable. The phenomenon of adsorption was analyzed by the Langmuir and Freundlich models and it was determined that the model that best explains the phenomenon is that of Langmuir with correlation coefficient R2 equal to 1. After analyzing and checking the assumptions of normality, homoscedasticity and homogeneity of variances, the ANOVA analysis showed that the time factor is statistically significant in the adsorption of glyphosate, which did not occur with the temperature factor. With the treatment, eliminations greater than 90% were achieved for a maximum time of 60 minutes.

Key words: Adsorption, elimination, reactor.

Avaliação da adsorção de glifosato com sucata comum (*luffa cylindrica*) a laboratório escala

Resumo

O fenômeno da adsorção de glifosato foi avaliado em esfregão comum (Luffa cylindrica) em escala laboratorial, a fim de estudar as propriedades deste material e suas possíveis aplicações na eliminação do contaminante. Reatores em lote de mistura completa (RBMC) foram utilizados com fibras do material previamente condicionado com NaOH a 2% p / v e submetidos a secagem forçada por 12 horas. Na metodologia, foi proposto um delineamento experimental com dois fatores: tempo e temperatura, cada um dividido em três níveis e em que foi aplicado o delineamento de blocos casualizados em triplicata, obtendo um total de 27 amostras. A eficiência de eliminação foi utilizada como variável de resposta. O fenômeno da adsorção foi analisado pelos modelos de Langmuir e Freundlich e determinou-se que o modelo que melhor explica o fenômeno é o de Langmuir com coeficiente de correlação R2 igual a 1.

Após análise e verificação dos pressupostos de normalidade, homocedasticidade e homogeneidade de variâncias, a análise ANOVA mostrou que o fator tempo é estatisticamente significativo na adsorção de glifosato, o que não ocorreu com o fator temperatura. Com o tratamento, foram alcançadas eliminações superiores a 90% por um tempo máximo de 60 minutos.

Palavras-chave: Adsorção, eliminação, reator.

Introducción

Según la UNESCO (2012), el 70% del agua dulce disponible para las actividades humanas se utiliza en labores agropecuarias, actividad desde la cual, el agua residual retorna a través de diferentes vías hacia los cauces, transportando entre otras sustancias, trazas de agroquímicos de diversa índole; para el caso que ocupa a esta investigación, el herbicida glifosato, el cual es un agente industrial, cuya discusión provoca controversias en todo el mundo, en razón de los temas ambientalistas, sociales y políticos que provoca sobre su toxicidad y la conveniencia de su utilización.

Por otra parte, numerosas experiencias han demostrado la eficiencia de las propiedades adsorbentes de las fibras del estropajo en la remoción de sustancias contaminantes. En esos ensayos se han explicado los fenómenos asociados a la adsorción, en los que el uso de algunas variedades de estropajo, incluyendo la *Luffa cylindrica*, se hayan utilizado como materiales bioadsorbentes de los contaminantes de ensayo. Unas de las principales conclusiones de estos trabajos explicaron que debido a la interacción del sistema nanovascular de las fibras fibroso, que por su parte permite la eliminación del contaminante del agua (Ye, Hu, & Wang, 2013); con la protonación de sus fibras permite la retención de radicales químicos, actuando sobre radicales metálicos, sustancias orgánicas y algunas sales minerales. Por lo tanto, las fibras duras son promisorias para la producción de materiales industriales, como los filtros (López-Vásquez, Suárez y Gómez, 2012).

Adicionalmente, los asuntos concernientes con el tema del tratamiento del glifosato cobran particular relevancia nacional y local, pues el tratamiento de agua es concerniente también con los escenarios de salubridad de las poblaciones y, por tanto, con la política de desarrollo nacional, ya que incorpora el componente ambiental de forma transversal con las estrategias de seguridad ciudadana, lucha contra el narcotráfico, la política de paz y la sostenibilidad económica. De manera que, la investigación también se justifica al incidir en problemas con efecto en la calidad de la vida ciudadana, en lo político, en lo industrial, en lo institucional y, por supuesto, en lo ambiental (Universidad Nacional de Colombia, 2013).

Aprovechando las propiedades descritas por los investigadores que experimentaron con luffa, se ha podido intuir que es posible una alta capacidad para realizar eficientemente la remoción del glifosato diluido en agua

(Pereira, Muñoz y Peluffo, 2017), de modo que en la práctica experimental de la investigación, se utilizaron las fibras de estropajo común como el medio adsorbente para realizar la remoción del glifosato presente en una solución acuosa y pura diluida a 0,7 ppm preparada en el laboratorio, de modo que al finalizar los tratamientos descritos en el diseño experimental, se obtuvieron los datos con los que se analizó la cinética de adsorción y, consecuentemente, el modelo que se ajusta a la dinámica de la reacción, para finalmente estudiar la eficiencia de remoción de las FLc.

Es por tanto, el propósito de este texto que al describir la experiencia experimental realizada y los resultados alcanzados con el tratamiento dado a la solución de glifosato, se explique y se demuestren las ventajas de un tratamiento aplicable a escala industrial en el tratamiento de agua para potabilización y de aguas residuales con presencia de trazas de sustancias tóxicas, en particular utilizando la *Luffa* como biomaterial adsorbente de alta eficiencia, bajo costo, fácil disposición y alta sostenibilidad (Vidal, 2014).

Metodología

Para obtener las FLc se utilizaron paños de estropajo de la variedad *Luffa cylindrica,* los cuales fueron lavados y blanqueados con soda caustica (NaOH) al 2 % p/v en agua tibia a 30 °C; luego fueron desecados a 60 °C durante 12 horas y se cortaron en pequeñas fibras sueltas de entre 2 y 3 mm de largo, que posteriormente se almacenaron en una botella desecadora cerrada.

Después, en 27 frascos de vidrio de 150 ml, se llenaron 2 gramos exactos de las FLc, conformándose de este modo los reactores batch, que al someterse a agitación mecánica se configuran como de mezcla completa en el sistema de tratamiento (RBMC). Los reactores se agruparon en nueve lotes, conformados cada uno por tres reactores, así cada lote se sometió a su respectivo tratamiento según la unidad experimental correspondiente con la temperatura de proceso.

El experimento se planteó con un diseño de tipo bifactorial, conformado por los factores temperatura y tiempo de retención. La temperatura se fijó en 283 °K, 293 °K y 303 °K; a su vez, para cada uno de estos niveles se establecieron tres tiempos de retención, fijados a 10, 30 y 60 minutos, en los cuales se hicieron los muestreos. Así, cada unidad experimental correspondió con una temperatura y con un tiempo de lectura específico, configurándose nueve unidades experimentales. Cada unidad experimental se replicó dos veces, cada una con un reactor diferente, de modo que se obtuvieron tres muestras para cada temperatura y para cada tiempo de retención, procesándose un total de 27 muestras, de las cuales se extrajo una porción de 50 ml del agua residual de cada reactor, agrupadas por su respectivo nivel de temperatura y tiempo de tratamiento.

Las muestras se hicieron reaccionar con vanadato molibdato, se estabilizaron después de ocho horas y se analizaron en un espectrofotómetro calibrado a 323 nm UV monocromático, de tal modo que, a partir de las absorbancias se calcularon las concentraciones residuales de glifosato y, por defecto, la cantidad de glifosato removido por las FLc en los reactores, estableciéndose el porcentaje de eficiencia de remoción del agroquímico.

Para establecer la validez de los supuestos del modelo experimental, los datos de los conjuntos de muestras se sometieron inicialmente a la prueba estadística de Shapiro Wilks, estableciéndose la distribución normal de los datos del modelo por su significancia mayor a 0.05 y la normalidad de los residuos del modelo, con una significancia Z igual a 1.447.

Para evaluar la hipótesis estadística de independencia de los residuos, se elaboró una matriz para comparar los residuos con respecto a sus pronósticos, de modo que se obtuvo una distribución de puntos que no expresa ninguna tendencia sistemática en la que se deba suponer alguna independencia de los datos.

A través de la hipótesis de homocedasticidad se indicó que cada grupo de muestras tiene su propio promedio y sus dos desviaciones típicas, observándose la independencia de los residuos, que en cada temperatura experimental la distribución es homogénea. Así mismo, se confirmó la homogeneidad de las variancias por medio de la prueba ANOVA de un factor.

Para determinar las diferencias en la interacción entre los factores tiempo y temperatura se aplicó una prueba de análisis de varianza ANOVA factorial, estableciendo que entre los dos factores no hay efectos de interacción (p=0,337), es decir que, las absorbancias en cada temperatura son diferentes en cada uno de los tiempos de lectura.

Una vez verificada la validez del modelo, se corrobora que los datos de estudio son estadísticamente confiables, por tanto, los valores de las eficiencias de remoción resultan igualmente ciertos.

Resultados

Cinética de reacción

El estudio de la cinética de adsorción del glifosato en las FLc explica la rapidez con que ocurre la transferencia de masa del glifosato disuelto, desde la solución de trabajo hacia la matriz tubular de las FLc. Durante la trasferencia, la cantidad de masa inicial del glifosato en la solución se reduce paulatinamente a medida que avanza el tiempo, ocurriendo la eliminación del glifosato en la solución, fenómeno que se evidencia al observar la sucesión de valores de las concentraciones residuales de las muestras, las que al ser expuestas en una gráfica de cajas permiten observar la tendencia con que ocurre la reducción de la concentración de glifosato en cada una de las tres unidades experimentales.

En la Figura 1 se puede apreciar que el tratamiento inicia en tiempo cero con una concentración inicial del contaminante de 0,7 ppm para todos los reactores; luego, al transcurrir los 10 primeros minutos, la concentración del glifosato ha descendido de manera significativa, indicador de que en esta etapa ha ocurrido una abundante y rápida transferencia de glifosato hacia las FLc, debido a la activa interacción electrostática inicial entre el glifosato y las FLc. Luego, durante la segunda etapa, a los 30 minutos de iniciado el tratamiento, la concentración continúa disminuyendo, aunque con una tendencia a moderar su descenso con respeto a la primera etapa, comportamiento que se también observa a los 60 minutos, aunque con tendencia a desacelerar la cantidad de masa transferida por unidad de tiempo [ppm.min-1], momento en el que los valores de las concentraciones residuales son similares y tendientes a cero.

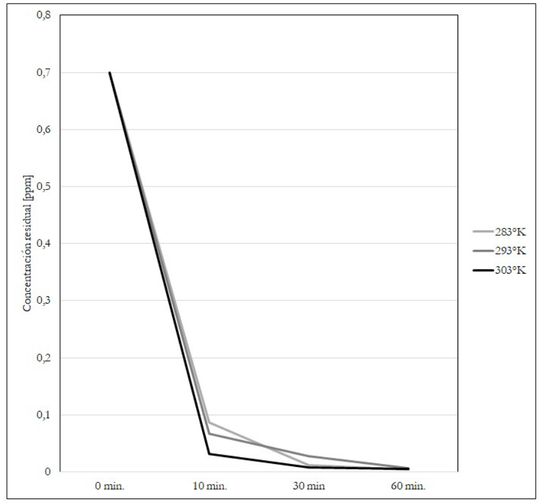


Figura 1. Reducción de la concentración de glifosato según la temperatura.

Adsorción de glifosato

Modelo de Freundlich.

Utilizando el modelo de Freundlich se calcularon las isotermas para los tres experimentos, diferenciados por sus respectivas temperaturas y bajo las consideraciones teóricas de las reacciones de adsorción, trabajando cada temperatura por separado y observando la cinética del comportamiento adsorbente de las FLc en el tiempo. De este modo se configuró la isoterma

de Freundlich a partir de su ecuación fundamental indicada en la ecuación 1, de la cual se ha derivado su expresión lineal dada en la ecuación 2.

Ecuación1. Isoterma de Freundlich

$$qe = Kf * Ce^{1/n}$$

En estas ecuaciones, las variables Kf y n configuran la isoterma de Freundlich, en la que la constante Kf corresponde con la medida de la capacidad de adsorción de las FLc, 1/n es la medida de la intensidad de la adsorción que indica la cantidad de glifosato adsorbido por cada gramo de FLc en el equilibrio momentáneo de cada tiempo de prueba en unidades de [mg.g-1]. Finalmente, la variable Ce corresponde con la concentración residual de glifosato presente en la solución en unidades de ppm [mg.l-1].

Ecuación 2. Modelo lineal de Freundlich.

$$\log qe = \log Kf + 1/n * \log Ce$$

Para calcular la cantidad de glifosato adsorbido por las FLc, se aplicó la ecuación 3 teniendo en cuenta que, las consideraciones experimentales de referencia corresponden con una masa m de material adsorbente (FLc) de 2 gramos y un volumen V de solución en tratamiento igual a 0,1 litros en cada RBMC.

Ecuación 3. Cantidad de glifosato adsorbido según el modelo de Freundlich.

$$qe=(Co-Ci)*V/m$$

Para la confección de los datos referentes a las constantes de Freundlich de cada unidad experimental, se trazaron las correspondientes isotermas, extrayendo de ellas sus respectivas ecuaciones lineales con sus coeficientes R2. Para su análisis y discusión estas isotermas se muestran en las Figuras 2, 3 y 4. En estas ecuaciones el coeficiente de la pendiente indica la constante 1/n y el intercepto será el logaritmo de Kf, que como se explicó corresponde con la medida de la capacidad de adsorción de las FLc.

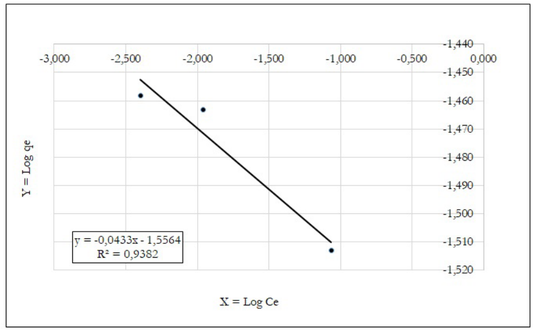


Figura 2. Isoterma de Frundlich a 283°K.

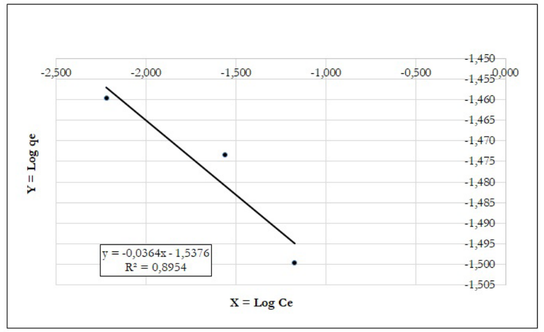


Figura 3. Isoterma de Frundlich a 293°K.

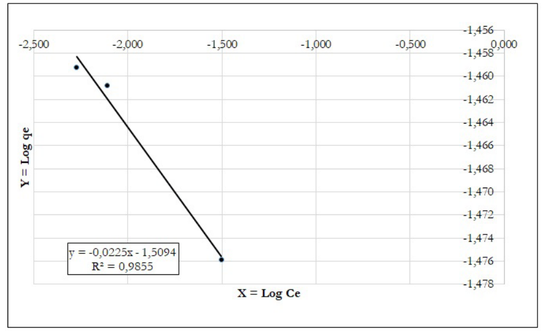


Figura 4. Isoterma de Frundlich a 303°K.

Las isotermas de Freundlich indican que el modelo se ajusta adecuadamente para explicar una cinética de primer orden en la reacción de adsorción, teniendo en cuenta que, en las isotermas de Freundlich se analizó la masa de glifosato adsorbido por unidad de masa del adsorbente. No obstante, se aprecia que, a pesar de la adecuación del modelo, la dispersión de los datos sugiere que hay un margen de desviación que se refleja en los respetivos coeficientes de dispersión establecidos en 0,9832 para la isoterma a 283°K, de 0,8954 para la isoterma a 293°K y de 0,9855 en la isoterma a 303°K.

Modelo de Langmuir.

De la misma manera como se explicó en el modelo cinético de Freundlich, la evaluación de la cinética en este modelo se realizó considerando la cantidad de glifosato adsorbido por las FLc para cada temperatura por separado y observando el comportamiento cinético adsorbente de las FLc en el tiempo.

La configuración de la isoterma de Langmuir se hizo también a partir de su ecuación fundamental indicada en la ecuación 4; en aquella, las variables KL y Ce configuran su isoterma, en la que la constante KL dada en [litros.mg-1] es la constante de Langmuir, relacionada con la energía de adsorción y que emerge de relacionar con respecto a Ce el cual coincide numéricamente con la razón entre el coeficiente de la pendiente y el intercepto de su ecuación lineal y=bx+a. Por su parte, la variable qmax indica la máxima capacidad de adsorción del glifosato.

Ecuación 4. Modelo de Langmuir.

$$qe = (qmax*KL*Ce) / (1+KL*Ce)$$

Vale aclarar que, como en el caso de las isotermas de Freundlich para la confección de los datos referentes a las respectivas constantes de este modelo, se requirió el trazado de las isotermas, extrayendo de ellas sus correspondientes ecuaciones lineales con sus coeficientes R2, estas isotermas se muestran en las Figuras 5, 6 y 7.

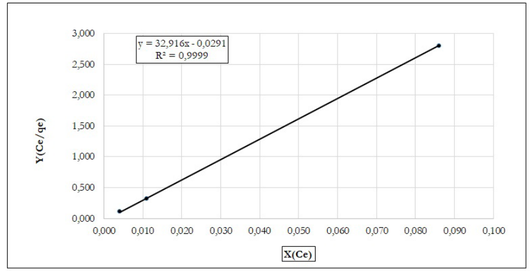


Figura 5. Isoterma de Langmuir a 283°K.

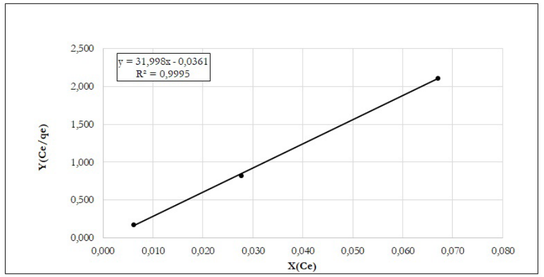


Figura 6. Isoterma de Langmuir a 233°K.

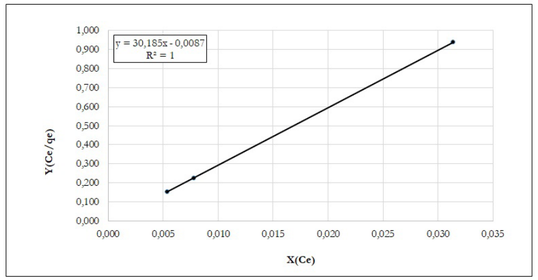


Figura 7. Isoterma de Langmuir a 303°K

En las isotermas de Langmuir, los coeficientes de correlación del modelo indican un mejor ajuste de la tendencia de la reacción, que la aportada por el modelo de Freundlich, correspondiendo con las conclusiones de Abdelwahab & Amin (2013), lo que indica que, finalmente, la cinética de la reacción de adsorción fue de pseudo segundo orden, consideración que sigue ajustándose a los modelos típicos de los reactores RBMC, también reportados por Laidani, Hanini & Henini (2010), Sayed & Ashtoukhy (2009) y Demir, Top, Balköse & Ulkü (2008), entre otras investigaciones realizadas con FLc, sin que ello indique un desajuste de la cinética originalmente analizada.

Por medio de las isotermas de Langmuir también se determinó que el principal mecanismo de remoción del glifosato por parte de las FLc es la adsorción física de tipo electrostático, atracción en la que no existe ninguna interacción entre las moléculas del glifosato adsorbido, las cuales se limitan a formar una monocapa sobre la superficie de las FLc. Este efecto se explica a través del parámetro de Langmuir o coeficiente de adsorción b, que en las ecuaciones lineales de las isotermas indicadas en las Figuras 5, 6 y 7 corresponde al coeficiente de la pendiente (y=bx+a); está indicado para cada experimento en la Tabla 1, revelando la fuerza con la cual el glifosato se adsorbe sobre la superficie de las FLc, de modo que, un valor alto expresa que el glifosato se adhiere fuertemente en la superficie de las FLc, además indica un alto grado de recubrimiento de la monocapa (Castro et al., 2013) y con ello la presencia de un mayor número de microporosidaes para alojar las moléculas del contaminante, característica en la cual las FLc son abundantes, además de su rugosa superficie tratada con soda caustica, tratamiento también explicado por Boynard, Monteiro & D'Almeida (2003) .

Tabla 1. *Parámetros de fuerza de adsorción de Langmuir para el glifosato*

Parámetro de Langmuir b=[L/mg]	283°K	293°K	303°K
	32,916	31,998	30,185

De acuerdo con los datos experimentales de Castro et al. (2013) y de Martínez (1990), los datos correspondientes al parámetro de Langmuir indican una alta fuerza de adsorción en los tres experimentos, con tendencia a disminuir a medida que aumenta la temperatura experimental.

Por otra parte, para evaluar la favorabilidad de la adsorción del glifosato en las FLc, según la forma de la isoterma de Langmuir, se calcula el parámetro de equilibrio de Langmuir RL mediante la aplicación de la ecuación 5 (Flores, Ly, Tapia y Maldonado, 2001).

Ecuación 5. Parámetro de equilibrio de Langmuir-Favorabilidad.

$$RL = 1 / (1+b*Co)$$

El RL se calcula en relación con la amplitud de las concentraciones iniciales residuales en la solución de cada etapa de tiempo, partiendo del tiempo cero, y utilizando como referencia los rangos descritos por Castro et al. (2013), expuestos en la Tabla 2, pues como su nombre lo explica, son los valores que indican los rangos en los cuales se establece la favorabilidad de la reacción de adsorción.

Tabla 2. *Rangos de los parámetros de equilibrio de Langmuir*

Parámetro	Irreversible	Favorable	Desfavorable
RL	Igual a 0	0< RL < 1	RL > 1

De éste modo se calcularon los valores correspondientes a RL, se puede observar que la adsorción en todos los casos es favorable al ubicarse en el rango comprendido entre cero y uno, pero existe una importante tendencia de los datos a acercarse a 1, de modo que a medida que aumenta el tiempo de retención se aprecia que la adsorción se hace progresivamente desfavorable. Estos parámetros corresponden claramente con el análisis de la cinética de la reacción, con la fuerza de adsorción establecida y con el coeficiente de adsorción b, que pudo apreciarse en la Figura 1.

Tabla 3. *Parámetros RL de Langmuir en la adsorción de glifosato*

b [L/mg]		32,916	31,998	30,185
Tiempo [min]	Concentración residual en la solución Co=(mg/L)	283°K	293°K	303°K
0	0,7	0,0416	0,0427	0,0452
10	0,086	0,2610	0,2665	0,2781
30	0,011	0,7342	0,7397	0,7507
60	0,004	0,8837	0,8865	0,8923

Eficiencia de eliminación

Para determinar la eficiencia de las FLC en la remoción del contaminante disuelto en agua ultra pura, se aplicó la ecuación 6 (Rios, s.f.), en la cual se consideró que Er es la medida relativa de la eficiencia de la cantidad de glifosato removido del agua en los experimentos, desde el punto de vista del tratamiento del agua experimental.

Ecuación 6. Porcentaje de eficiencia de remoción.

$$Er=(Co-Ci)/Co)*100$$

Los resultados del cálculo, indicados en la Tabla 4, fueron contrastados con la hipótesis de la investigación que estimó que el tratamiento tendría una eficiencia igual o superior al 95 % en la eliminación del contaminante.

Tabla 4. *Eficiencias de remoción de glifosato*

Tiempo de retención (min)	0	10	30	60
Eficiencias de remoción	283°K	87,67%	98,37%	99,45%
	293°K	90,42%	96,05%	99,13%
	303°K	95,52%	98,89%	99,24%

Durante el estudio de la cinética de reacción, por medio de los modelos de Freundlich y de Langmuir anteriormente explicados, se realizó la evaluación de la normalidad de los datos correspondientes a las concentraciones residuales de cada una de las repeticiones realizadas para cada uno de los tres experimentos, estableciéndose claramente que, los datos correspondieron a una distribución normal suficientemente confiable para permitir la obtención de valores significativamente adecuados para realizar los análisis de los diferentes parámetros experimentales de la investigación. Los valores utilizados fueron los promedios estadísticos de las concentraciones residuales de cada grupo de repeticiones para cada experimento, es decir que, de los 27 datos originales se obtuvieron 9 representativos.

Finalmente, al exponer los resultados de las eficiencias de remoción a la prueba estadística, se ha podido establecer que los resultados obtenidos a los 60 minutos del tiempo experimental, en todos los casos, se confirma la hipótesis cierta, al indicar que las remociones alcanzadas son todas superiores al 95 %. No obstante, y dado a que las eficiencias de remoción son

variables que dependen del tiempo y de la temperatura, se hizo necesario determinar estadísticamente el tipo de interacciones que existieron entre los factores fijos y la variable eficiencia; de modo que, al efecto se realizó un diseño estadístico en bloques completamente aleatorizados, mediante la aplicación de un análisis de varianza multifactorial utilizando en la prueba ANOVA sobre las eficiencias de remoción.

Una vez comprobados los supuestos del diseño experimental, se determinó estadísticamente la influencia que tuvieron los factores experimentales durante el proceso, al igual que las interacciones que existieron entre los factores fijos tiempo y temperatura, respecto de la variable eficiencia. Para tal fin, se realizó un análisis estadístico en bloques completamente aleatorizados, cuyos resultados se exponen en la Tabla 5 y en el que mediante la aplicación de un análisis de varianza multifactorial se compararon las medias de las eficiencias para cada uno de los dos factores por separado, al igual que las medias de las eficiencias de eliminación en la relación tiempo-temperatura.

En la Tabla 5 se aprecia que la variable A, correspondiente al factor tiempo, tiene un p-valor menor a 0.05, lo cual indica que este factor es estadísticamente significativo al establecerse diferencias en la eliminación del glifosato en cada etapa de tiempo; no así la variable B, correspondiente a la temperatura, como tampoco la interacción entre estos dos factores (AB). En consecuencia, se realizó una prueba de múltiples rangos para analizar estadísticamente los contrastes del factor tiempo respecto de las eficiencias, de tal forma que se encontraron diferencias estimadas de las medias de las eficiencias de eliminación para un determinado contraste de tiempo.

Tabla 5. *Análisis en bloques completamente aleatorizados de las interacciones entre tiempo y temperatura*

Fuente	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales				
A: Tiempo	593.78	296.89	5.84	0.0111
B: Temperatura	51.91	25.95	0.51	0.6087
Interacciones				
AB	34.49	8.62	0.17	0.9511
Residuos	915.39	50.85		
Total (corregido)	1595.56			

En la Tabla 5 se observa que, el factor tiempo (p=0,0111) es el que tiene un efecto estadísticamente significativo sobre las eficiencias de remoción de glifosato, mientras que la temperatura con un p=0,6087 no tiene un efecto significativo en las eficiencias de remoción.

Tabla 6. *Pruebas de Múltiples Rangos para eficiencia por contrastes de tiempo*

Contraste	Significancia	Diferencia	+/- límites
10 - 30	*	-8,78444	7,06271
10 - 60	*	-10,8022	7,06271
30 - 60		-2,01778	7,06271

Durante el mismo análisis, se establecieron las diferencias estimadas de las medias para un determinado contraste de tiempos, indicadas en la Tabla 6; en ella se marca con un asterisco (*) a los pares de tiempos que son significativamente diferentes, con un nivel de confianza del 95 %. Esta Tabla explica que, las medias de las eficiencias de remoción en los contrastes de tiempo a 10 minutos son diferentes de las medias de los tiempos a 30 y 60 minutos; explicación que también es expuesta en la Tabla 7, en la que mediante la marcación con la letra X en las filas de los tiempos a 30 y 60 minutos, se indica que sus respectivas medias son homogéneas y similares y por lo tanto no existen diferencias significativas entre las medias de las eficiencias de remoción, mientras que en el tiempo a 10 minutos, la eficiencia de remoción es significativamente distinta.

Tabla 7. *Pruebas de Múltiples Rangos para eficiencia por tiempo*

Tiempo	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos homogéneos
10	9	88,4511	2,37709	
30	9	97,2356	2,37709	X
60	9	99,2533	2,37709	X

En la Figura 8 se aprecia que los resultados de las eficiencias de remoción obtenidas durante los 10 primeros minutos son diferentes de las remociones alcanzadas a 30 minutos del proceso, momento en el cual la velocidad de reacción se reduce, de tal modo que las eficiencias de remoción a 60 minutos son altas, pero similares a las alcanzadas a minuto 30, lo cual es concordante con lo explicado durante el estudio de la cinética de la remoción.

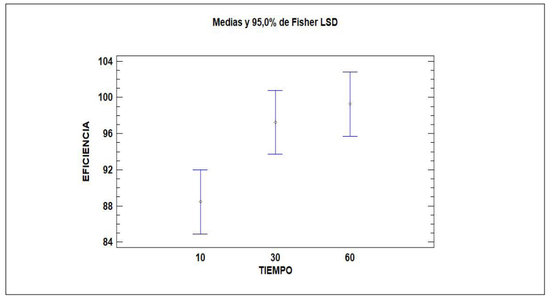


Figura 8. Interacciones entre las medias de las eficiencias con respecto al tiempo.

En la Figura también se aprecia que, a los 10 minutos de iniciado el proceso no existe interacción entre las eficiencias de remoción con respecto a las obtenidas a 30 y luego a 60 minutos.

El método utilizado para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método se certifica un 95 % de confianza de que el tratamiento a 30 y 60 minutos es significativamente similar. Finalmente, se realizó una segunda prueba con las cifras de las eficiencias calculadas a partir de los datos promedios de las concentraciones residuales. En ella se obtuvieron similares resultados a los derivados en la primera prueba estadística, de modo que al establecerse sus similitudes, se confirmó que las eficiencias obtenidas a partir de los promedios de las concentraciones residuales resultan igualmente confiables y, que por tanto, se garantiza la fiabilidad estadística de los resultados experimentales.

De este modo se pudo expresar que en el experimento a 233 °K se alcanza la máxima eficiencia de remoción respecto a todo el sistema, alcanzando un 99,45 %; no obstante, las eficiencias en los tratamientos a 293 °K y a 3.030 °K alcanzan una eficiencia igualmente mayor al 99 %, indicando que el tratamiento es eficiente dadas las características adsorbentes de las FLc.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados experimentales, es viable la utilización de las FLc en la eliminación de glifosato comercial; ya que se alcanzaron porcentajes de eliminación del contaminante, estimados en un intervalo máximo entre el 99,13 % y el 99,45 %, alcanzados a los 60 minutos de retención en los tres niveles de temperatura probados.

El análisis del fenómeno de adsorción demuestra que el modelo empírico de Langmuir se ajusta adecuadamente para describir la cinética de eliminación del glifosato comercial, en reactores de adsorción con FLc tipo bache de mezcla completa.

Igualmente, se determinó que la reacción se inicia de manera favorable, comprobándose que la temperatura determina la autonomía inicial de la adsorción, no obstante, durante todo el tratamiento el factor determinante de las eficiencias de eliminación es el tiempo de contacto con las FLc y no las diferentes temperaturas estudiadas, en las que finalmente las eficiencias de eliminación resultaron similares.

Los resultados de esta investigación demuestran que la *Luffa cylindrica* es una esponja natural capaz de aportar soluciones al problema del tratamiento por la presencia del glifosato en el agua, razón por la cual podría considerarse como un biomaterial promisorio en el tratamiento de diversos contaminantes.

Referencias

Abdelwahab, O. & Amin, N. (2013). Adsorption of phenol from aqueous solutions by Luffa cylindrica fibers: kinetics, isoterm and thermodynamic studies. *The Egyptian Journal of Aquatic Research, 39*(4), 215-223. doi:10.1016/j.ejar.2013.12.011

Boynard, C., Monteiro, S. & D'Almeida, J. (2003). Aspects of alkali treatment of sponge gourd (Luffa cylindrica) fibers on the flexural properties of polyester matrix composites. Journal of Applied Polymer Science, 87(12). doi: org/10.1002/app.11522

Castro, S., Cerda, R., Betabci, N., Canelo, F., López, X., García, A. y Benavente, M. (2013). Estudio del equilibrio y cinética de adsorción de Cd (II), Ni (II) y Cr (VI) usando Quitosano y Quitosano modificado con cobre. *Nexo revista científica, 26*(2), 56-68.

Demir, H., Top, A., Balköse, D. & Ülkü, S. (2008). Dye adsorption behavior of Luffa cylindrica fibers. Journal of Hazardous Materials, 153(1-2), 389-394. doi:10.1016/j.jhazmat.2007.08.070

Flores, J., Ly, M., Tapia, N. y Maldonado, H. (2001). Biosorción con quitosano. Estudios de equilibrio. *Revista de Química, 15*(2), 134-147.

Laidani, Y., Hanini, S. & Henini, G. (diciembre de 2010). Valorization of Luffa cylindrica for water treatments copper chargers. Study of the possibility of regeneration by chermical desorption. En Memorias ICAMMM 2010 Conferencia Internacional sobre Mecánica Aplicada, Materiales y Fabricación. Conferencia llevada a cabo en Sultab Qaboos Universisty, Oman. Recuperado de https://www.univ-chlef.dz/uhbc/seminaires_2010/LAIDANI_MAT26.pdf

López-Vásquez, A., Suárez, A. y Gómez, C. (julio de 2012). Assessment of dye adsorption by Luffa Cylindrica fibers using experimental design methodology. En Memorias World Congress on Engineering. Recuperado de http://www.iaeng.org/publication/WCE2012/WCE2012_pp646-650.pdf

Martín, J. (1990). *Adsorción física de gases y vapores por carbones*. España: Universidad de Alicante.

Pereira, R., Muñoz, J. y Peluffo, D. (2017). Empleo del estropajo común (*Luffa cylindrica)* en la remoción de contaminantes. *Revista de investigación agraria y ambiental, 8*(1), 205-215.

Ríos, D. (s.f.). Utilización del parámetro "eficiencia" en remoción de turbiedad en sedimentadores. Recuperado de http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/tratagua/peru/urgapa006.pdf

Sayed, E. & Ashtoukhy, E. (2009). Loofa egyptacea as a novel absorvent for removal of direct bluy dye from aqueous solution. *Environ Manage, 90*(8), 2.755-2.761. doi:10.1016/j.jenvman.2009.03.005

UNESCO. (2012). Managing water under uncertainty and risk. Recuperado de http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/WWDR4%20Volume%201-Managing%20Water%20under%20Uncertainty%20and%20Risk.pdf

Universidad Nacional de Colombia. (17 de marzo de 2008). Nuevas secuelas del glifosato. *CVN Centro Virtual de Noticias*. Recuperado de https://www.mineducacion.gov.co/cvn/1665/article-156476.html

Vidal, E. (2014). *Gestión de envases de agroquímicos descontaminación de efluentes provenientes de plantas de reciclado de envases que contienen glifosato con la tecnología avanzada de oxidación que emplea UV/H_2O_2* (tesis de maestría). Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe de Argentina. Recuperado de http://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8080/tesis/bitstream/handle/11185/655/tesis.pdf?sequence=1

Ye, C., Hu, N. & Wang, Z. (2013). Experimental investigation of *Luffa Cylindrica* as a natural sorbent material for the removal of cationic surfactant. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 44*(1), 74-80. doi:10.1016/j.jtice.2012.08.006

Estandarización de bioensayos ecotoxicológicos para la evaluación de la calidad del agua de ríos impactados por descargas de aguas residuales de curtiembres

Mario Alberto Jurado Erazo[28]
Jennifer Camila Delgado Sánchez[29]
Jeraldin Rojas Pialejo[30]
Carlos David Viveros Rivera[31]

Resumen

El agua se constituye como el elemento de mayor importancia para la vida en nuestro planeta, pero desafortunadamente, el aumento en cuanto al crecimiento poblacional y el empeño del hombre por satisfacer sus necesidades, han generado contaminación en el recurso hídrico y, a la vez, su agotamiento debido a la existencia de numerosas causas de contaminación hídrica; dentro de las más comunes se encuentra el vertimiento de los desechos industriales. Los razonamientos que se ha venido realizando sobre tal situación conducen a que esta investigación tenga como objetivo, evaluar la toxicidad de las aguas residuales derivadas del proceso de curtimbres, debido a que las fuentes hídricas cercanas, en este caso el río Pasto en el tramo de Pandiaco - La Ensillada, presentan contaminantes tóxicos; por lo tanto, es importante identificar una alternativa que brinde mayor eficacia al momento de la remoción de este tipo de contaminantes en dichas aguas.

Palabras clave: agua residual, curtiembres, ecotoxicidad.

[28] Programa Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: majurado@umariana.edu.co

[29] Programa Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: jenndelgado@umariana.edu.co

[30] Programa Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico:jerrojas@umariana.edu.co

[31] Programa Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: caviveros@umariana.edu.co

Standardization of ecotoxicological bioassays for the evaluation of the water quality of rivers impacted by wastewater discharges from tanneries

Abstract

Water is the most important element for life on our planet. Unfortunately, the increase in population growth and the commitment of man to meet their needs have generated pollution in the water resource and, at the same time, its depletion, due to the existence of numerous causes of water pollution. Among the most common is the dumping of industrial waste.

The arguments that have been carried out on such a situation, lead to the objective of this investigation: to evaluate the toxicity of wastewater derived from the tannery process, due to the nearby water sources, in this case the Pasto River in the section from Pandiaco - La Ensillada, have toxic contaminants. Therefore, it is important to identify an alternative that pro-

vides greater efficiency at the time of removal of this type of contaminants in these waters.

Key words: residual water, tannery, ecotoxicity

Padronização de bioensaios ecotoxicológicos para avaliação da qualidade da água de rios impactados por descargas de águas residuais de curtumes

Resumo

A água é o elemento mais importante para a vida em nosso planeta. Infelizmente, o aumento do crescimento populacional e o compromisso do homem de atender às suas necessidades geraram poluição nos recursos hídricos e, ao mesmo tempo, seu esgotamento, devido à existência de inúmeras causas de poluição das águas. Entre os mais comuns está o despejo de resíduos industriais.

Os argumentos que foram levados a cabo nessa situação levam ao objetivo desta investigação: avaliar a toxicidade das águas residuais derivadas do processo de curtume, dado que às fontes de água próximas, neste caso o rio Pasto na seção de Pandiaco - La Ensillada, tem contaminantes tóxicos. Portanto, é importante identificar uma alternativa que ofereça maior eficiência no momento da remoção desse tipo de contaminante nessas águas.

Palavras-chave: água residual, curtume, ecotoxicidade.

Introducción

Es evidente decir que los productos generados por la industria de curtiembres son tan contaminantes como los de las industrias mineras y del petróleo, por eso el espectro de contaminantes es muy amplio, entre ellos: metales pesados (como el cromo, y en algunos casos aluminio y titanio), sólidos en suspensión, sales inorgánicas, sulfuros, gran cantidad de materia putrescible y polímeros orgánicos. Esto hace que los efluentes de la industria curtiembre sean difíciles de purificar y, por lo general, arrastran un volumen considerable de lodos. Por tal razón, se ha optado por que el hombre tome conciencia del daño que está generando al ambiente, y en la búsqueda de proteger su entorno tratar de revertir los daños (Esparza y Gamboa, 2001).

No obstante, es importante precisar que la ecotoxicología hace referencia específicamente al efecto de los tóxicos sobre los ecosistemas, es decir que, es la ciencia que toma como sujeto principal de estudio las poblaciones, la biocenosis y el hábitat, las cuales se han visto afectadas por las aguas residuales provenientes del proceso de curtiembres (Pedrazas, 2018).

En concreto, diferentes organizaciones internacionales y nacionales han estandarizado metodologías para la realización de estos bioensayos con distintas especies, tanto animales como vegetales, describiendo métodos de cultivo, condiciones de los experimentos, ámbito de aplicación y restricciones, en este orden de ideas, es de suma importancia que cada país tenga estandarizado diversos métodos de ensayo, donde las especies autóctonas estén en lo posible representadas (Oliveros-Bastidas, Hernández-Rodríguez y Calcagno-Pissarelli, 2011).

Desarrollo

Metodología

Identificación. Como primer objetivo se estandarizaron bioensayos ecotoxicológicos con bulbos de cebolla (*Allium cepa*) y peces cebra (*Brachydanio rerio*), para esto se llevó a cabo la búsqueda de información tanto en trabajos como en artículos relacionados con el tema planteado, con el fin de identificar las características morfológicas y condiciones de hábitat de dichas especies.

Planeación. Para el segundo objetivo se determinó la toxicidad aguda de muestras de agua del río Pasto en el tramo de estudio, mediante los dos bioensayos estandarizados; para la determinación de la toxicidad se utilizó dicromato de potasio (K2Cr2O7) en el control positivo, para esto se prepararon los materiales con días de anticipación. Estos ensayos toxicológicos se llevaron a cabo teniendo en cuenta lo estipulado en la norma ISO 5667 del 2017, en la que está establecido que para obtener los resultados finales es importante realizar los procedimientos durante 72 horas para bulbos de cebolla (*Allium cepa*) y 92 horas para peces cebra (*Brachydanio rerio*). Una vez finalizado este tiempo se puede evidenciar los cambios en los bioindicadores. Antes de realizar los bioensayos se tuvo en cuenta el marco bioético, con el fin de identificar el adecuado manejo sobre la especie.

Comparación. Para dar inicio al tercer objetivo se procedió a realizar el análisis en el laboratorio para evaluar los parámetros fisicoquímicos, pH, carbono orgánico total (COT), NTK y la concentración química de cromo hexavalente con la muestra tomada en el tramo Pandiaco-La Ensillada, además de analizar en el laboratorio casero la ecotoxicidad de la muestra tomada en el área de estudio.

Problema

El problema de la investigación es la falta de técnicas estandarizadas para la determinación de la ecotoxicología en ríos impactados por curtiembres en el departamento de Nariño y las posibles consecuencias que genere a la salud humana y animal por descargas de agua residual de esta industria.

Resultados y Discusión

La estandarización de un bioensayo ecotoxicológico con bulbos de cebolla (*Allium cepa*) y peces cebra (*Brachydanio rerio*) de muestras acuosas se llevó a cabo mediante el acondicionamiento de las dos especies. En primer lugar, fue necesario acondicionar los peces cebra (*Brachydanio rerio*) a la condiciones ambientales similares a las que están expuestas en su hábitat natural, controlando los parámetros respectivos para el funcionamiento óptimo de los organismos, adicionalmente, se llevó a cabo la toma de datos de parámetros, tales como temperatura ambiente, humedad relativa, conductividad, pH, oxígeno disuelto y temperatura del agua, intensidad lumínica, intensidad de sonido, con los cuales se dio inicio a la siembra de los peces cebra (*Brachydanio rerio*), una vez obtenidos los datos se procedió a la elaboración de gráficas, con las cuales se pudo evidenciar la variación de los datos obtenidos, concluyendo que los rangos obtenidos se encuentran adecuados para la crianza y mantenimiento. Una vez realizada la siembra se procedió a llevar a cabo los protocolos para el caso del pez cebra (*Brachydanio rerio*), y así desarrollar las condiciones generales de calidad de agua para el crecimiento y reproducción del pez cebra (*Brachydanio rerio*).

Al mismo tiempo se efectuó un análisis exploratorio de variables confusas de Kruskal Wallis (p-valor > 0.05), en la cual se propuso una hipótesis nula (ho) (los datos obtenidos se encuentran en el rango óptimo para mantener el cultivo de pez cebra (*Brachydanio rerio*)), al obtener los datos de registro de los parámetros y al realizar las respectivas graficas se evidenció que estos se encuentran en los rangos estipulados para el crecimiento y reproducción de la especie, ya que el P-valor es mayor en todos los casos, por lo tanto, dichas condiciones son aptas para llevar a cabo el cultivo del *Brachydanio rerio*, es decir, se acepta la hipótesis nula, afirmando que los datos tomados no presentaron cambios drásticos que afecten la calidad de vida de estas especies, con el fin de preparar un agua dura reconstituida.

En cuanto a la determinación de la concentración de Dicromato de Potasio se realizó por medio de un test preliminar, con estos resultados se obtienen las concentraciones finales, con las cuales se realizaron las pruebas de control positivo y control negativo. Dichas pruebas se realizaron con el fin de determinar si la especie es o no sensible a cualquier tóxico, en este caso y según diferentes estudios se manejó el Dicromato de potasio (K2Cr2O7) para llegar a la concentración de cromo hexavalente. Con este resultado se dio inicio a las pruebas toxicológicas con el agua reconstituida.

Por medio de los test preliminares y revisión bibliográfica se obtuvo un rango de toxicidad, el cual permitió establecer unos intervalos de concentraciones de cromo Hexavalente, y así poder llegar al resultado final esperado por medio de los test definitivos. Esto se realizó con 8 concentraciones que permitieron verificar un porcentaje de mortalidad entre 0-100 %. Para la prueba de sensibilidad preliminar fue necesario iniciar con los rangos establecidos en el trabajo titulado *Efecto Ecotoxicológico de tres Metales Pesados Sobre el Crecimiento Radicular de Cuatro Plantas Vasculares* (Iannacone y Alvariño, 2005), partiendo de estos rangos se estableció la concentración para el control positivo, donde la mitad de los organismos

expuestos viven en un término de 96 horas (ver Tabla 1), simultáneamente se realizó el control negativo (ver Tabla 2).

Tabla 1. *Concentraciones de cromo hexavalente control positivo*

Número	Dicromato de Potasio seco impuro (mg)	Concentración de Cromo Hexavalente mg/l	Numero de organismos expuestos	Numero de organismos muertos	% Mortalidad obtenida
1	332	35,1	12	0	0%
2	374	39,475	12	0	0%
3	415	43,85	12	2	17%
4	457	48,225	12	3	25%
5	498	52,6	12	3	25%
6	539	56,975	12	8	67%
7	582	61,35	12	9	75%
8	622	65,725	12	10	83%

En la Tabla 1 se observa que en las concentraciones de 52,6 - 59,975 - 61,35 y 65,725 (mg/l) existe un porcentaje de mortalidad de 25 %, 67 %, 75 % y 83 % respectivamente, con esto se puede concluir que el rango de sensibilidad de la especie en estudio se encuentra alrededor de 51,6 y 56,975 mg/l de cromo hexavalente, lo cual hace referencia a 498 y 539 mg/l de dicromato de potasio.

Tabla 2. *Mortandad de Individuos (Brachydanio rerio) para control Negativo*

Numero	Dicromato de Potasio seco impuro (mg)	Concentración de Cromo Hexavalente mg/l	Numero de organismos expuestos	Numero de organismos muertos	% Mortalidad obtenida
1	0	0	12	0	0 %
2	0	0	12	0	0 %
3	0	0	12	0	0 %
4	0	0	12	0	0 %
5	0	0	12	0	0 %
6	0	0	12	0	0 %
7	0	0	12	0	0 %
8	0	0	12	0	0 %

De acuerdo a la Tabla 2 se evidencia que el porcentaje de mortalidad es cero al momento de usar el agua reconstituida, esto para el control negativo.

A la hora de realizar los controles se tuvo en cuenta las variables confusas, las cuales fueron analizadas por medio de Kruskal Wallis (p-valor > 0.05), para la cual se propuso una hipótesis nula (los datos obtenidos se encuentran en el rango óptimo para mantener el cultivo de *Brachydanio rerio*) y una hipótesis alternativa (los datos obtenidos no se encuentran en el rango óptimo para mantener el cultivo de *Brachydanio rerio*), con esto se puede corroborar que los datos proceden de una distribución normal.

Como hipótesis nula se tiene que la prueba estadística es apta para obtener el resultado de la CL50, mientras que la hipótesis alternativa hace referencia a que la prueba estadística no es apta para obtener el resultado de la CL50. Por lo anterior, la prueba Probit para el control positivo tuvo como resultado una CL50 de 54,985 mg/l, con un rango de confianza del 95 %, un límite superior de 59,738 mg/l y un límite inferior de 45,691mg/l, con un P valor de 0,749, (ver Tabla 3), con lo cual se comprobó la hipótesis nula.

Tabla 3. *Control prueba PROBIT con Brachydanio Rerio*

		Límites de confianza				
	Probabilidad	95 % de límites de confianza para Dosis			95 % de límites de confianza para logaritmo(Dosis)a	
	Estimación	Límite inferior	Límite superior	Estimación	Límite inferior	Límite superior
PROBIT	,200	47,590	33,312	53,287	1,678	1,523	1,727
	,250	48,975	35,536	54,408	1,690	1,551	1,736
	,300	50,252	37,639	55,464	1,701	1,576	1,744
	,350	51,466	39,676	56,495	1,712	1,599	1,752
	,400	52,645	41,681	57,530	1,721	1,620	1,760
	,450	53,812	43,680	58,601	1,731	1,640	1,768
	,500	54,985	45,691	59,738	1,740	1,660	1,776
	,550	56,183	47,727	60,984	1,750	1,679	1,785
	,600	57,428	49,794	62,395	1,759	1,697	1,795
	,650	58,744	51,891	64,053	1,769	1,715	1,807
	,700	60,163	54,009	66,076	1,779	1,732	1,820

a. Base de logaritmo = 10.

Pruebas de chi-cuadrado

		Chi-cuadrado	glb	Sig.
PROBIT	Prueba de bondad de ajuste de Pearson	2,678	5	,749a

a. Puesto que el nivel de significación es mayor que 0,50 no se utiliza el factor de heterogeneidad en el cálculo de los límites de confianza.

b. Las estadísticas basadas en casos individuales difieren de las estadísticas basadas en casos agregados.

Con estas pruebas se comprobó que el *Brachydanio rerio* es afectado por el tóxico y no por otros factores o fallas operacionales en la aplicación del método, determinando el rango de variabilidad y sensibilidad frente al tiempo de exposición.

Finalmente, se concluyó que los rangos obtenidos en el desarrollo de esta actividad están acordes a los datos entregados por la ISO 7346 de 1996; donde los rangos de aceptación en cuanto al tiempo están entre 46 y 96 horas, demostrando el buen estado del cultivo y garantizando la confiabilidad de los resultados, y así poder continuar con la investigación, ya que se demostró el buen estado de los bioindicadores.

Bioensayo Bulbo de Cebolla (*Allium Cepa*): Para este objetivo se adaptaron los bulbos de cebolla (*Allium cepa*) a las condiciones ambientales si-

milares a las que están expuestas en su hábitat natural, controlando los parámetros respectivos para el funcionamiento óptimo. Por otra parte, se tomó datos de parámetros tales como: temperatura ambiente, humedad relativa, intensidad lumínica, intensidad de sonido, con estos resultados se dio inicio a la siembra para los bulbos de cebolla (*Allium cepa*). Una vez obtenidos los datos se procedió a la elaboración de gráficas, con las cuales se pudo evidenciar la variación de los datos obtenidos, se concluyó que los rangos se encuentran adecuados para la crianza y mantenimiento. Una vez adecuada las condiciones de hábitat, se procedió a llevar acabo los protocolos para el caso de los bulbos de cebolla (*Allium cepa*) y así poder tener las condiciones generales de calidad del cultivo de *Allium*.

Simultáneamente, se pudo corroborar que las variables confusas proceden de una distribución normal, ya que se llevó acabo la prueba de normalidad de Kruskal Wallis (p-valor > 0.05), donde se propuso una hipótesis nula (ho) (los datos obtenidos se encuentran en el rango óptimo para mantener el cultivo de bulbos de cebolla (*Allium cepa*).

Por lo anterior, se puede decir que los datos tomados no presentaron cambios drásticos que afecten el crecimiento de bulbos de cebolla (*Allium cepa*), debido a que el P-valor es mayor en todos los casos, por lo tanto, dichas condiciones son aptas para llevar a cabo el cultivo, es decir, se acepta la hipótesis nula (ver Tabla 4).

Tabla 4. *Análisis estadístico de variables confusas para cultivo de Allium Cepa*

	Estadísticos de prueba [a,b]				
	Temperatura Incubadora	Temperatura ambiente	Humedad relativa	Intensidad lumínica	Intensidad sonido
Chi-cuadrado	2,599	5,432	3,563	2,038	6,253
Gl	6	6	6	6	6
Sig. Asintótica	,857	,485	,736	,916	,395
a. Prueba de Kruskal Wallis					
b. Variable de agrupación: Días					

Los bulbos de cebolla (*Allium cepa*) fueron conservados en el laboratorio casero en incubadoras de icopor, éstas se adaptaron para brindar las condiciones necesarias que requiere el mantenimiento de esta especie. Al tener en cuenta lo estipulado en la guía *Ensayos toxicológicos para la evaluación de sustancias químicas en agua y suelo*, se tomaron 24 bulbos de cebolla por cada incubadora, éstas se encuentran cubiertas para evitar contaminación y una temperatura promedio de 20 ºC.

La determinación de la concentración de Dicromato de Potasio se realizó por medio del estudio de Iannacone y Alvariño (2005), con estos resultados se obtuvieron las concentraciones finales, con las cuales se realizaron las pruebas de control positivo y control negativo. Dichas pruebas se realizaron con el fin de determinar si la especie es o no sensible a cualquier tóxico, en este caso y según diferentes estudios se maneja el Dicromato de potasio (K2Cr2O7) para llegar a la concentración de cromo hexavalente. Con este resultado se dio inicio a las pruebas toxicológicas.

Para la realización de un bioensayo de toxicidad aguda con bulbos de cebolla (*Allium cepa*) se tuvo en cuenta las condiciones y factores necesarios para que los resultados de las pruebas no fueran alterados. Por medio de la revisión bibliográfica se obtuvo un rango de toxicidad, el cual permitió establecer unos intervalos de concentraciones de cromo Hexavalente, para así poder llegar al resultado final esperado. Esto se realizó con 12 concentraciones, las cuales permitieron verificar un porcentaje de inhibición entre 0-100 %.

Para la prueba de sensibilidad preliminar fue necesario iniciar con los rangos establecidos en el trabajo de Iannacone y Alvariño (2005), partiendo de estos rangos se estableció la concentración para el control positivo en un término de 72 horas (ver Tabla 5), simultáneamente se realizó el control negativo (ver Tabla 6).

Tabla 5. *Concentraciones de cromo hexavalente control positivo*

Número	Dicromato de Potasio seco impuro (mg)	Concentración de Cromo Hexavalente mg/l	Numero de réplicas expuestas	Longitud de raíz más largo por replica(mm)	% inhibición obtenida
1	3,25	1,144	2	9	47 %
2	6,5	2,288	2	7	58 %
3	9,75	3,433	2	5	70 %
4	13	4,577	2	4	76 %
5	16,25	5,772	2	4	76 %
6	19,5	6,868	2	4	76 %
7	22,75	8,013	2	3	82 %
8	26	9,155	2	3	82 %
9	29,25	10,303	2	2	88 %
10	32,5	11,477	2	1	94 %
11	35,75	12,592	2	0	100 %
12	39	13,736	2	0	100 %

Tabla 6. *Concentraciones de cromo hexavalente control negativo*

Número	Dicromato de Potasio seco impuro (mg)	Concentración de Cromo Hexavalente mg/l	Numero de réplicas expuestas	Longitud de raíz más largo por replica(mm)
1	0	0	2	22
2	0	0	2	19
3	0	0	2	15
4	0	0	2	16
5	0	0	2	17
6	0	0	2	15
7	0	0	2	18
8	0	0	2	16
9	0	0	2	17
10	0	0	2	18
11	0	0	2	19
12	0	0	2	17

Después de realizadas las pruebas de control positivo, se estableció que los organismos expuestos presentaron un porcentaje de inhibición de un 50 %, en un rango de concentraciones de cromo hexavalente de 1,114 y 2,288 m/l, mientras que para las pruebas de control negativo utilizando agua destilada hubo un promedio de crecimiento de la raíz de 17 mm, observando que no hay porcentaje de inhibición.

Teniendo en cuenta el criterio básico para analizar los resultados de pruebas de toxicidad se seleccionó un método estadístico, por tanto, los resultados de las pruebas definitivas de toxicidad fueron evaluados por el método Litchfield Wilcoxon, este consistió en dibujar curvas de dosis-efecto logarítmicas (Adams, Slaght, & Boogaard, 2016).

De acuerdo a los datos, se concluyó que los rangos obtenidos en el desarrollo de esta actividad están acordes a los datos entregados por el artículo de Iannacone & Alvariño (2005); demostrando el buen estado del cultivo y garantizando la confiabilidad de los resultados, por lo tanto se puede continuar con la investigación, ya que se demostró el buen estado del bioindicadores.

En segunda instancia esta determinar la toxicidad aguda de muestras de agua del río Pasto en el tramo Pandiaco - La Ensillada, impactado por curtiembres, mediante los dos bioensayos estandarizados. Para el desarrollo de este objetivo se eligió el mes de abril de 2018, para llevar a cabo las actividades de muestreo. Posterior a esto, se tomaron las muestras de agua potable, con el fin de que se les hiciera el análisis de los parámetros correspondientes (Melo, 2016).

Para la preparación de las pruebas finales de toxicidad con el agua residual del tramo Pandiaco-La Ensillada, se realizaron diferentes disoluciones con agua reconstituida, llevando a cabo 6 pruebas con concentraciones en progresión geométrica por cada punto de muestreo para los peces cebra (*Brachydanio rerio*), con las que se pudo verificar los porcentajes de mor-

talidad en un 0-100 %. Fue necesario realizar varios ensayos a diferentes rangos de concentración, iniciando con una variación desde 2.700 ml hasta 1,5 ml de agua residual, donde el rango de mortalidad fuera del 100 %, de lo cual se pudo verificar el proceso que se debe tener en cuenta para la preparación de las pruebas de toxicidad con agua residual.

Se muestran las disoluciones que se realizaron por medio de la ecuación de dilución [V/V]. (Ver Tabla 7).

Tabla 7. *Concentraciones de agua para bioensayos con Brachydanio Rerio punto 1 y punto 2*

Concentración V/V	Volumen de la corriente de agua del Rio Pasto (ml)	Volumen agua reconstituida (ml)
90 %	2700	300
40 %	1200	1800
10 %	300	2700
1 %	30	2970
0,1 %	3	2997
0,05 %	1,5	2998,5

Además, se realizó la toma de datos de parámetros, tales como temperatura ambiente, humedad relativa, conductividad, pH, oxígeno disuelto y temperatura del agua, intensidad lumínica, intensidad de sonido; al mismo tiempo se llevó a cabo un análisis exploratorio de variables confusas de Kruskal Wallis (p-valor > 0.05), en la cual se propuso una hipótesis nula (ho) (los datos obtenidos se encontraron en el rango óptimo para mantener el cultivo de pez cebra (*Brachydanio rerio*)) y una hipótesis alternativa (los datos obtenidos no se encuentran en el rango óptimo para mantener el cultivo de *Brachydanio rerio*), al obtener los datos de registro de los parámetros y al realizar las respectivas graficas se evidenció que algunos de los datos se encuentran en los rangos estipulados para el crecimiento y reproducción de estas especies, ya que el P-valor es mayor en todos los casos, por lo tanto dichas condiciones fueron aptas para llevar a cabo el cultivo del *Brachydanio rerio*, es decir, se acepta la hipótesis nula, afirmando que los datos tomados no presentaron cambios drásticos que afecten la calidad de vida de estas especies.

Dichas pruebas se realizaron con el fin de determinar si la especie es o no sensible al agua de la corriente del río Pasto obtenida. Para la realización de un bioensayo de toxicidad aguda con *Brachydanio rerio* se tuvo en cuenta las condiciones y los factores necesarios para que los resultados de las pruebas no fueran alterados.

En las Tablas 8 y 9 se muestra los resultados de los bioensayos realizados, donde las disoluciones se realizaron por medio de la ecuación de dilución [V/V], en un término de 96 horas.

Tabla 8. *Ensayo de sensibilidad con muestras de agua residual de Pandiaco-Pasto*

Número	Volumen de la corriente punto 1 Pandiaco ml	Número de organismos expuestos	Número de organismos muertos	% Mortalidad obtenida
1	90 %	8,00	5,00	62 %
2	40 %	8,00	4,00	50 %
3	10 %	8,00	2,00	25 %
4	1 %	8,00	1,00	12 %
5	0,1 %	8,00	0,00	0 %
6	0,05 %	8,00	0,00	0 %

En la Tabla 8 se observa que para las concentraciones de 90 %, 40 % y 10 % existe un porcentaje de mortalidad de 100 %, 37,5 % y 25 % respectivamente, con esto se puede concluir que el rango de sensibilidad de la especie en estudio se encuentra alrededor de 90 %-40 % de agua residual en Pandiaco.

Tabla 9. *Ensayo de sensibilidad con muestras de agua residual de La Ensillada Chachagüi*

Número	Volumen de la corriente punto 2 La Ensillada ml	Número de organismos expuestos	Número de organismos muertos	% Mortalidad obtenida
1	90 %	8,00	4	50 %
2	40%	8,00	2	25 %
3	10 %	8,00	1	12 %
4	1 %	8,00	1	12 %
5	0,1 %	8,00	0	0 %
6	0,05 %	8,00	0	0

En la Tabla 9 se observa que para las concentraciones de 90 %, 40 % y 10 % existe un porcentaje de mortalidad de 62,5 %, 37,5% y 12,5 % respectivamente, con esto se puede concluir que el rango de sensibilidad de la especie en estudio se encuentra alrededor de 90 %-40 % de agua residual en La Ensillada.

El método permitió estimar la CL50, ajustando los datos de mortalidad mediante una técnica de probabilidad, para estimar los valores que siguen una distribución logarítmica de tolerancias. El porcentaje de organismos afectados o muertos por la acción tóxica de una sustancia se transforma a unidades Probit.

Por tanto, a las pruebas realizadas con el agua de la corriente se les calculo la CL50, como se dijo anteriormente, esto para comprobar cuál es el rango donde muere el 50 % de los organismos usados como bioindicadores, también fue necesario establecer una hipótesis nula y alternativa, con el fin de corroborar si este tipo de prueba fue bien realizada.

Como hipótesis nula se obtuvo que la prueba estadística es apta para obtener el resultado de la CL50, mientras que la hipótesis alternativa hace referencia a que la prueba estadística no es apta para obtener el resultado de la CL50.

Por lo anterior la prueba Probit para para el punto 1 Pandiaco, tuvo como resultado una CL50 de 40,909 %, con un rango de confianza del 95 %, un límite superior de1528,431 % y un límite inferior de 12,159 %, con un P valor de 0,977 (ver Tabla 10), de acuerdo a los niveles de toxicidad expuesto por Hafez, Abdul, Bustam, El-Harbawi & Leveque (2016)organic and bioorganic syntheses, biotechnologies, nanotechnology and Enhanced Oil Recovery (EOR, se determina que el nivel es previamente no toxico.

Tabla 10. *Ensayo método PROBIT con Brachydanio Rerio punto 1 Pandiaco-Pasto*

		Límites de confianza					
	Probabilidad	95 % de límites de confianza para Dosis		95 % de límites de confianza para logaritmo(Dosis)a			
	Estimación	Límite inferior	Límite superior	Estimación	Límite inferior	Límite superior	
PROBIT	,200	4,611	,249	15,347	,664	-,603	1,186
	,250	7,113	,683	24,483	,852	-,165	1,389
	,300	10,499	1,557	40,386	1,021	,192	1,606
	,350	15,059	3,051	70,303	1,178	,484	1,847
	,400	21,206	5,280	130,169	1,326	,723	2,115
	,450	29,531	8,295	255,592	1,470	,919	2,408
	,500	40,909	12,159	528,431	1,612	1,085	2,723
	,550	56,671	17,010	1144,673	1,753	1,231	3,059
	,600	78,920	23,115	2598,638	1,897	1,364	3,415
	,650	111,132	30,927	6222,869	2,046	1,490	3,794
	,700	159,403	41,199	15935,233	2,202	1,615	4,202

a. Base de logaritmo = 10.

Pruebas de chi-cuadrado

		Chi-cuadrado	glb	Sig.
PROBIT	Prueba de bondad de ajuste de Pearson	,466	4	,977a

a. Puesto que el nivel de significación es mayor que 0,50, no se utiliza el factor de heterogeneidad en el cálculo de los límites de confianza.

b. Las estadísticas basadas en casos individuales difieren de las estadísticas basadas en casos agregados.

Para para el punto 2 La Ensillada, se tiene como resultado una CL50 de 175, 930 %, con un rango de confianza del 95 %, un límite superior de 6032587,293 %y un límite inferior de 33,116 %, con un P valor de 0,827 (ver Tabla 11), de acuerdo a los niveles de toxicidad expuesto por Hafez et al. (2016)organic and bioorganic syntheses, biotechnologies, nanotechnology and Enhanced Oil Recovery (EOR, se determina que el nivel es relativamente inofensivo.

Tabla 11. *Ensayo método PROBIT con Brachydanio Rerio punto 2 La Ensillada Chachagüi*

		Límites de confianza					
	Probabilidad Estimación	95 % de límites de confianza para Dosis			95 % de límites de confianza para logaritmo(Dosis)a		
		Límite inferior		Límite superior	Estimación	Límite inferior	Límite superior
PROBIT	,200	11,444	,378	95,063	1,059	-,423	1,978
	,250	19,690	1,919	408,808	1,294	,283	2,612
	,300	32,054	5,210	2402,585	1,506	,717	3,381
	,350	50,351	9,993	16312,045	1,702	1,000	4,213
	,400	77,286	16,097	115674,173	1,888	1,207	5,063
	,450	116,990	23,674	830058,488	2,068	1,374	5,919
	,500	175,930	33,116	6032587,293	2,245	1,520	6,781
	,550	264,567	45,048	45085254,323	2,423	1,654	7,654
	,600	400,482	60,414	354790949,273	2,603	1,781	8,550
	,650	614,721	80,676	3034743183,074	2,789	1,907	9,482
	,700	965,591	108,224	29461804410,151	2,985	2,034	10,469

a. Base de logaritmo = 10.

Pruebas de chi-cuadrado

		Chi-cuadrado	glb	Sig.
PROBIT	Prueba de bondad de ajuste de Pearson	1,498	4	,827a

a. Puesto que el nivel de significación es mayor que 0,50 no se utiliza el factor de heterogeneidad en el cálculo de los límites de confianza.

b. Las estadísticas basadas en casos individuales difieren de las estadísticas basadas en casos agregados.

Por lo anterior, se pudo comprobar que el *Brachydanio rerio* es afectado por el agua y no por otros factores o fallas operacionales en la aplicación del método, determinando el rango de variabilidad y sensibilidad frente al tiempo de exposición.

Bioensayo Bulbo de Cebolla (*Allium Cepa*): Para el desarrollo de este objetivo y llevar a cabo las actividades de muestreo se eligió el mes de abril. Posterior a esto, se tomaron las muestras de agua potable para realizar el análisis de los parámetros correspondientes (Melo, 2016).

En cuanto a la preparación de las pruebas finales de toxicidad con el agua residual de descarga de curtiembres se realizaron diferentes disoluciones con agua reconstruida, llevando a cabo 6 pruebas con concentraciones en progresión geométrica, con las que se pudo verificar los porcentajes de mortalidad en un 0-100 %. Fue necesario realizar varios ensayos a diferentes rangos de concentración, iniciando con una variación desde 2.700ml hasta 1,5 ml de agua residual, donde el rango de mortalidad fuera del 100 %. En la Tabla 12 se muestran las soluciones que se realizaron por medio de la ecuación de dilución [V/V].

Tabla 12. *Concentraciones de agua de la corriente del río Pasto para bioensayos con Bulbo de Cebolla (Allium Cepa)*

Concentración v/v de agua Residual	Volumen de muestra de Agua Residual de descarga de Curtiembres (ml)	Volumen agua reconstituida ml
100 %	24	0
90 %	21,6	2,4
70 %	16,8	7,2
50 %	12	12
30 %	7,2	16,8
10 %	2,4	21,6

En este procedimiento se hizo la toma de datos de parámetros de las variables confusas, con el fin de determinar mediante el método de Kruskal Wallis (p-valor > 0.05), tras obtener los datos de registro de los parámetros y al realizar las respectivas gráficas, se evidencio que algunos de los datos se encuentran en los rangos estipulados para el crecimiento y reproducción de estas especies (ver Tablas 13 y 14), ya que el P-valor es mayor en todos los casos, por lo tanto, dichas condiciones fueron aptas para llevar a cabo el cultivo del *Allium Cepa*, es decir, se acepta la hipótesis nula, afirmando que los datos tomados no presentaron cambios drásticos que afecten la calidad de vida de estas especies.

Tabla 13. *Análisis exploratorios de variables confusas en incubadoras para Allium Cepa con agua residual de Pandiaco (T° ambiente, Hum Relativa, Int Luminica, Ins Sonido, T° Incubadora)*

	Estadísticos de prueba[a,b]				
Punto 1 Pandiaco	Temperatura Incubadora	Temperatura ambiente	Humedad relativa	Intensidad lumínica	Intensidad sonido
Chi-cuadrado	1,726	3,468	,259	3,590	,833
Gl	2	2	2	2	2
Sig. Asintótica	,422	,177	,879	,166	,659

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: Dias

Tabla 14. *Análisis exploratorios de variables confusas en incubadoras para Allium Cepa con agua residual de La Ensillada Chachagüi (T° ambiente, Hum Relativa, Int Luminica, Ins Sonido, T° Incubadora)*

Estadísticos de pruebaa,b					
Punto 2 La Ensillada	Temperatura Incubadora	Temperatura ambiente	Humedad relativa	Intensidad lumínica	Intensidad sonido
Chi-cuadrado	,900	3,468	,259	,833	2,730
Gl	2	2	2	2	2
Sig. asintótica	,638	,177	,879	,659	,255

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: Dias

En las Tablas 15 y 16 se muestra los resultados del bioensayo realizado, donde las disoluciones se realizaron por medio de la ecuación de dilución [V/V], en un término de 76 horas.

Tabla 15. *Concentraciones de agua de la corriente del Río Pasto punto 1 Pandiaco*

Número	% de concentración V/V de la Corriente de agua de Rio Pasto	Volumen de la corriente de agua Rio Pasto	Numero de réplicas expuestas	Longitud de raíz más largo por replica(mm)	% inhibición obtenida
1	100 %	1,144	2	20	16 %
2	90 %	2,288	2	17	29 %
3	70 %	3,433	2	15	37 %
4	50 %	4,577	2	12	50 %
5	30 %	5,772	2	12	50 %
6	10 %	6,868	2	9	62 %

Después de realizadas las pruebas, se estableció que los organismos expuestos presentaron un porcentaje de inhibición de un 50 %, en un rango de concentraciones de 50 % y 30 % (ver Tabla 15).

Tabla 16. *Concentraciones de agua de la corriente del Rio Pasto punto 2 La Ensillada*

Número	% de concentración V/V de la Corriente de agua de Rio Pasto	Volumen de la corriente de agua Rio Pasto	Numero de réplicas expuestas	Longitud de raíz más largo por replica(mm)	% inhibición obtenida
1	100 %	1,144	2	20	16 %
2	90 %	2,288	2	15	37 %
3	70 %	3,433	2	13	45 %
4	50 %	4,577	2	12	50 %
5	30 %	5,772	2	9	62 %
6	10 %	6,868	2	7	70 %

Después de realizadas las pruebas, se estableció que los organismos expuestos presentaron un porcentaje de inhibición de un 50 %, en una concentración de 50 % (ver Tabla 16). De acuerdo a la IC50 el punto 1 en el sector de Pandiaco, la muestra presenta un grado de toxicidad moderadamente toxico, mientras que en el punto 2 La Ensillada, la muestra presenta un grado de toxicidad levemente toxico (ver Tabla 17).

Tabla 17. *Clasificación toxicológica para cada punto de muestreo*

Punto 1 Pandiaco		Punto 2 La Ensillada	
Bioindicadores	Clasificación Toxicológica	Bioindicadores	Clasificación Toxicológica
Pez Cebra (Brachidario rerio)	No toxico	Pez Cebra (*Brachidario rerio*)	Relativamente inofensivo
Bulbo de Cebolla (Allium Cepa)	Moderadamente toxico	Bulbo de Cebolla (*Allium Cepa*)	Levemente toxico

Teniendo en cuenta que las muestras de agua estudiadas en la presente investigación fueron tomadas del agua de la corriente del río Pasto en dos puntos, y según la literatura científica, se conoce que hay la presencia de compuestos orgánicos complejos, por ejemplo, aquellos que se derivan de las actividades antrópicas e industriales, los cuales podrían estar involucrados en la toxicidad del agua (Jurado, Benavides, Morales, Huertas y Morales, 2017).

De acuerdo con la Tabla 17 y lo mencionado anteriormente, se puede observar que los datos obtenidos no presentaron un toxicidad aguda muy alta, contrario a lo que se pensaba con los reportes de la literatura, ya que al estar involucradas actividades que contribuyen a la toxicidad de las fuentes hídricas en la zona de estudio, se pensó que los resultados arrojados por los bioensayos indicarían un mayor grado de toxicidad, por lo tanto, se puede decir que las especies utilizadas como bioindicadores no son adecuadas para este tipo de ensayo o presentan condiciones especiales como absorción de los contaminantes o poca sensibilidad a estos (Córdova, Gaete, Aránguiz y Figueroa, 2009).

Estimar preliminarmente la calidad ecotoxicológica del agua del río Pasto en el tramo Pandiaco - La Ensillada, mediante la relación entre la toxicidad aguda arrojada por los ensayos estandarizados y los parámetros fisicoquímicos: pH, carbono orgánico total (COT), nitrógeno total (NTK) y la concentración química de cromo hexavalente. Para la realización de este objetivo a las muestras de agua no solamente se realizaron los ensayos toxicológicos, sino que a su vez se les hizo un análisis de diferentes parámetros fisicoquímicos, esto con el fin de evidenciar la correlación entre el resultado de estos y la toxicidad obtenida anteriormente, para poder estimar preliminarmente la calidad ecotoxicológica del tramo de estudio (ver Tabla 18).

Tabla 18. *Resultados de laboratorios análisis de muestras*

Muestra	Parámetro	Unidades	Valor Laboratorio	Valor de la EPA
Punto 1. Pandiaco	pH	Unidades de pH	7	6.5-9
	Nitrógeno NTK	mg N/l	27,78	<20
	Cromo Hexavalente	mg/l	0,06	<0.10
	Oxígeno Disuelto	mg Co/l	6,3	5-6
	Carbono Orgánico Total	mg O2/l	4,6	<5
Punto 2. La Ensillada	pH	Unidades de pH	6,92	6.5-9
	Nitrógeno NTK	mg N/l	28,52	<20
	Cromo Hexavalente	mg/l	0,02	<0.10
	Oxígeno Disuelto	mg Co/l	2,5	5-6
	Carbono Orgánico Total	mg O2/l	8,7	<5

Conociendo que la mayor extracción de materia prima se realiza del ganado bovino y que para esta extracción se hace necesario una gran cantidad de elementos físicos y químicos, se reconoció en la misma medida que como forma normal se presenta una gran cantidad de desechos, que llegan a las vertientes hídricas de manera bastante significativa, este es precisamente el caso de las curtiembres que se presentan en la ciudad de San Juan de Pasto, en estas pequeñas industrias se encuentran diferentes procesos que modifican la inocuidad del agua.

Para iniciar con la descripción de las condiciones que se han modificado a partir de la cantidad de residuos que se han depositado en el agua, se inició con la identificación del pH, actualmente, según las pruebas que se realizó en el laboratorio se logró identificar que el punto de agua que se encuentra en Pandiaco (Punto 1), tiene un pH de 7, lo que significa, según estudios de la Universidad de Jaen (2016), que se presenta un índice neutro, cabe reconocer que el pH neutro se debe al equilibrio carbónico y a la actividad de los microorganismos acuáticos. Entre las condiciones evaluadas que se basan en los principios de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, existe unos niveles de alcalinidad y basicidad que denotan un agua considerada inocua; el nivel analizado en el punto de agua de Pandiaco demuestra estar en estándares que se encuentran entre los 6,5 a 9 niveles, por lo tanto se reconoce este nivel como adecuado, ahora bien, esta situación se repite para la muestra de La Ensillada (Punto 2), no obstante, se reconoce que con un nivel de 6,92, el agua de este punto es en una medida baja mayormente acida cuando se compara los dos puntos, cabe reconocerse que el pH es una medida básica cuando se trata de analizar el agua.

El nitrógeno por su parte es uno de los indicadores medioambientales más relevantes, precisamente, por la importancia que tiene este componente cuando se trata de analizar las modificaciones que realiza a los afluentes de agua los desechos depositados por los pequeños productores que laboran en las curtiembres, de esta manera se determinó a través de la EPA que, los niveles máximos que debe tener una afluente hídrica para considerarse inocua y de buena calidad llega a unos niveles del 20 %, según esto y a través de la identificación de este componente en el laboratorio, realizado para darle mayor concordancia a la investigación, se logra identificar que el nivel del punto 1 (Pandiaco) es de 27,78 mg N/l, lo cual demostró que existe un alto grado de contaminación dado por el nitrógeno total, se hace necesario acotar que el método ocupado para la indagación y la determinación del nitrógeno es el de Kjeldahl (2012), el cual es el método más ocupado, ya que recoge de manera conjunta el nitrógeno orgánico, amoniacal, nitritos y nitratos.

Teniendo en cuenta las pruebas de laboratorio aplicadas y las consideraciones del método y de la EPA, se pudo reconocer que este tipo de aguas son muy propensas para el crecimiento de plantas acuáticas, lo cual genera que en muchos casos se taponen las afluentes de agua, permitiendo un estancamiento o un paso del agua poco acelerado, así mismo en lo concerniente a los niveles de nitrógeno y las afecciones que pueden sufrir los animales y las plantas al momento de identificar cuáles son las afecciones principales, se encontró que un exceso puede causar precisamente daño en la respiración de los peces y los invertebrados acuáticos, e inclusive, dada la absorción que produce el nitrógeno del oxígeno en el proceso normal de reacción química, puede ocasionarse un pudrimiento de las plantas profundas que tienen las vertientes, debido a la falta de luz, esto a su vez, produce en la misma medida una descomposición del agua (Llorens et al., 2013).

Se aclara que, la cantidad excesiva del nitrógeno en el tramo de vertiente hídrica analizado hace alusión, en gran parte, a la cantidad de desechos de las curtiembres que son arrojados en ese preciso lugar, ahora bien, cabe resaltar que las condiciones no mejoran con el recorrido hídrico, pues en La Ensillada (Punto 2), se encontró que los niveles de nitrógeno NTK están en niveles más altos, con 28,52 mg N/l, lo que desmejora las condiciones del agua de esta vertiente.

Siguiendo con la evaluación de las condiciones ecotoxicológicas del tramo, se hace alusión al Cromo hexavalente, para realizar una contextualización sobre este compuesto es necesario afirmar que es: toxico, y es una forma cancerígena del metal Cromo que se encuentra en oxidación, la afección que es causada no es fácilmente reconocible, debido a que es un compuesto que no tiene olor ni sabor, generalmente, se encuentra en las rocas, en el suelo y las plantas, pero tiene aparición cuando existe algún tipo de producción industrial, en este caso se habla de la transformación del cuero o las curtiembres. Según la identificación que realiza la EPA, se encuentra que el nivel máximo que pueden tener las aguas para considerarse inocuas o de buena calidad es de 0.10 partes por millón, a partir de esto se identifica que las condiciones hídricas de los puntos analizados tienen condiciones diferentes para el punto 1 (Pandiaco) de agua analizado, la cantidad de Cromo asciende hasta las 0,06 mg/l, según conversiones realizadas esta medida corresponde en la misma medida a las partes por millón, lo que denota que existe una concentración que no supera el estándar, por lo tanto, se considera buena para el análisis de las condiciones de los afluentes.

Según el estudio realizado por Chávez (2010), se encuentra que, el cromo como componente de las aguas que se pretenden consumir produce en el ser humano intoxicaciones que afectan directamente los riñones, el intestino, la tiroides, y la medula ósea, este componente, por tener las características ya mencionadas, es invisible y no se reconoce el momento preciso de consumo, no obstante, este mismo permanece durante un periodo largo en el interior del cuerpo. En el análisis que se realiza sobre las curtiembres y las condiciones que generan para la contaminación con Cromo puede demostrarse que este es un compuesto clave en su proceso productivo, debido a que es parte esencial del proceso de salado, en donde se ocupan grandes cantidades del compuesto y los desechos son en la misma medida bastante grandes.

Una vez realizado el análisis del segundo punto de revisión (La Ensillada), se evidencio un nivel de Cromo que hace alusión a las condiciones de inocuidad del agua con respecto al análisis de este componente, pues estas llegan hasta las 0,02 partes por millón, ahora bien, en este caso es necesario reconocer que a medida que el afluente va recorriendo su curso, se presenta una mayor disolución del compuesto y por lo tanto los niveles bajan hasta llegar a considerarse un buen nivel de inocuidad; en ese sentido, se evidencio que es una característica buena en la calidad del agua, se puede considerar que la población que por alguna circunstancia consuma este tipo de agua no tendrá percances de salud o por lo menos no los que son ocasionadas por el Cromo.

Uno de los ítems más importantes cuando se trata de generación de vida acuática es la cantidad de oxígeno disuelto que se encuentra en el agua. El oxígeno es un componente clave para la vida en general, este se considera un factor fundamental para definir la contaminación del agua, que afecta de manera directa la vida vegetal y animal, según las indagaciones realizadas puede definirse que un nivel bastante alto de oxigeno demuestra una mejor calidad del agua, no obstante, según la EPA, este debe estar con suficiencia entre 5 a 6 partes por millón o miligramos por litro; cabe aclarar en esta situación que, se presenta de manera corriente una diferencia en el Oxígeno Disuelto por la temperatura del ambiente, entonces, es probable que el agua más fría conserve en mayor medida niveles de oxígeno, en comparación con el agua caliente.

Al realizar el análisis de los dos puntos de agua que hacen parte de la presente investigación, se pudo identificar que en principio en el punto 1 (Pandiaco) se presenta una saturación del agua por oxígeno disuelto, como se reconoció anteriormente el nivel máximo llega a ser de 6, si existe un nivel de 6,5 no significa necesariamente que este sea erróneo o que se presente una contaminación por exceso, ya que como se había relacionado con anterioridad, existe una relación indirecta entre el clima y la cantidad de oxígeno disuelto en el agua; también es necesario identificar que este es un entorno en el que se puede presentar relativamente rápido la proliferación de vida acuática.

En la presente investigación, teniendo en cuenta el análisis del Oxígeno Disuelto, se encontró que en el punto 2 (La Ensillada) se presenta una cantidad que no alcanza a llegar ni a 3 ppm, lo cual tiene implicaciones graves, porque según lo analizado existen probabilidades muy bajas de que se presente vida acuática en este punto, dado que este nivel de OD es insuficiente para la respiración de muchas especies.

Si se hace alusión a las consideraciones del Departamento Administrativo de Estadística Nacional para Colombia (2007), se logró comprobar que efectivamente la cantidad de Oxígeno Disuelto necesaria para el sostenimiento de la flora y fauna del país, dado éste por el Decreto 1594 de 1984, es para la ciudad de San Juan de Pasto, y teniendo en cuenta que esta zona se reconoce como agua dulce fría es de 5 mg/l, por consiguiente, ninguno de los dos puntos evaluados corresponden a este nivel, por lo tanto, no se considera el agua inocua o de buena calidad.

Dadas las consideraciones de Greenpeace (2012), se encuentra que las curtiembres son contaminantes directos de las afluentes hídricas, porque el desecho de estas ocupa el oxígeno necesario para la vida acuática y no permite la supervivencia de especies que necesitan de este componente; cabe aclarar que, según lo identificado, se puede afirmar que en un principio el proceso de oxidación de desechos no se produce de manera inmediata a su depósito, sino que se realiza en el cauce, por esta razón existe un menor nivel de oxígeno en el punto número 2 (La Ensillada).

El análisis del último factor químico que se ha analizado antes de las pruebas de biofactores es el Carbono Orgánico Total, en esta medida, se incluye el carbón como tal y el carbón orgánico; es necesario aclarar que la medición del carbono orgánico no es una medida precisa de componentes, pero si es una medida obligatoria, debido a que el carbón es un compuesto químico que puede reaccionar fácilmente con otro tipo de compuestos, por esta razón es preocupante un nivel alto de este compuesto. Cabe reconocer que el carbono, a diferencia de otros compuestos analizados con anterioridad, no se produce en el agua de manera normal, éste hace parte de los desechos que provoca el ser humano, en ese sentido, se reconoce que las curtiembres son industrias que producen una gran huella de carbono, debido a la cantidad de pelos que se generan en el cuidado de las pieles, mercancías que se reconocen como principales en estas producciones.

En el análisis de los dos puntos investigados se evidencian dos situaciones disimiles, en primera instancia es necesario aclarar que los niveles aceptados de Carbono Orgánico Total, según la EPA el nivel aceptable es de hasta 5 mg/l. En el primer punto (Pandiaco) se encuentra un nivel que alcanza a ser de 4,6 mg O2/l, por cuanto se evidencia que este punto tiene unos niveles aceptables. No obstante, el nivel de carbono para el punto 2 (La Ensillada) es de 8,7 mg O2/l, un nivel bastante alto, lo cual demuestra una huella de carbono que permanece en el tiempo, situación que se considera preocupante para la determinación de la calidad del agua y de la protección de flora y fauna.

En el análisis de los biofactores se encuentra inicialmente el test de pez cebra, el cual se generó a partir de estudios propuestos para el río Rin en Alemania. En este se evidencio de manera objetiva las condiciones de la afluente hídrico, este consiste en evaluar el desarrollo embrionario, dado a que es bastante ocupado se puede analizar bajo la comparación, ahora bien, en ese sentido se encuentran en los puntos analizados lo siguiente: en el punto 1 (Pandiaco) el pez cebra demuestra unas condiciones de no toxi-

cidad, y en el punto 2 (La Ensillada) un ambiente relativamente inofensivo, situación considerada como positiva.

De la misma manera, el test *Allium Cepa*, que es otro bioindicador, demostró de manera compleja y concreta la cantidad de toxicidad que posee un afluente, demostrado a partir del crecimiento de las ramificaciones radiculares, en ese sentido, cuando el agua tiene estándares adecuados, las ramificaciones tienen un crecimiento acelerado, en lugar de esto, cuando existen inconsistencias en el crecimiento se reconocen modificaciones en el entorno, que se denomina como ambiente toxico. Estos tipos de modelos de evaluación (pez cebra, y *Allium Cepa*) tienen una importancia particular dada por la forma que se realiza, pues es in vivo, así las cosas, según las consideraciones de la evaluación presente, se puede evidenciar los siguientes resultados: en el punto 1 (Pandiaco) existe una contaminación y un daño en la inocuidad del agua más fuerte, en este se presenta una actividad moderadamente toxica, mientras que en el punto 2 (La Ensillada), la contaminación es levemente toxica, la preocupación radica en que en ninguno de los casos la contaminación es nula y el ambiente no es el correcto para iniciar con la vida acuática.

En general, existe una contaminación preocupante cuando se trata de analizar la curtiembre como actividad productiva y su incidencia en los afluentes cercanos, en ese sentido, es correcto implementar planes de acción ambiental que contrasten las acciones que han afectado la calidad del agua en la totalidad de las producciones de la región.

Conclusiones

Durante la realización de las pruebas preliminares y finales de toxicidad es necesario mantener un control constante de los parámetros de calidad del cultivo de bulbo de cebolla (*Allium cepa*) y pez cebra (*Brachydanio rerio*), tales como pH, temperatura ambiente, temperatura de las peceras e incubadora, Oxígeno Disuelto y conductividad, con el fin de verificar que el bioindicador se encuentre en las condiciones óptimas para poder llevar a cabo los diferentes ensayos y así obtener resultados apropiados, garantizando la confiabilidad de ellos

De acuerdo con los resultados ecotoxicológicos de las muestras ambientales, se evidenció un efecto claro de inhibición con bulbo de cebolla (*Allium cepa*) y mortalidad del pez cebra (*Brachydanio rerio*). No obstante, la causa de dicha toxicidad no se puede vincular directamente a los químicos utilizados en el proceso de curtiembres, por tanto, se puede atribuir que las respuestas de toxicidad en este tramo del río podrían ser causadas por otro tipo de contaminantes, como los agroquímicos y aguas residuales domesticas que son descargadas.

Los resultados del laboratorio permiten evidenciar que el agua del río Pasto tramo Pandiaco-La ensillada no es altamente toxica, esto se puede afirmar gracias a la comparación realizada con los estándares de la EPA para aguas superficiales, la cual tiene una clasificación de la calidad del agua, donde involucra el pH, Nitrógeno Total, Oxígeno Disuelto, Cromo Hexavalente, Carbono Orgánico Total, entre otros, permitiendo concluir que los parámetros evaluados dentro de la investigación no cumplen con los rangos establecidos en la norma.

Referencias

Adams, J., Slaght, K. & Boogaard, M. (2016). An automated approach to Litchfield and Wilcoxon's evaluation of dose-effect experiments using the R package LW1949. *Environmental Toxicology and Chemistry, 35*(12), 3.058–3.061. doi: https://doi.org/10.1002/etc.3490

Córdova, S., Gaete, H., Aránguiz, F. y Figueroa, R. (2009). Evaluación de la calidad de las aguas del estero Limache (Chile central), mediante bioindicadores y bioensayos. *Latin American Journal of Aquatic Research, 37*(2), 199–209. doi: 10.3856/vol37-issue2-fulltext-7

Esparza, E. y Gamboa N. (2001). Contaminación debida a la industria curtiembre. *Revista de química, 15*(1), 41-63.

Hafez, N., Abdul, M., Bustam, M., El-Harbawi, M. & Leveque, J. (2016). Ecotoxicity of Pyridinium Based ILs towards Guppy Fish and Four Bacterial Strains. *Procedia Engineering, 148*, 830–838. doi: https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2016.06.625

Iannacone, J. y Alvariño, L. (2005). Efecto ecotoxicológico de tres metales pesados sobre el crecimiento radicular de cuatro plantas vasculares. *Agricultura técnica, 65*(2), 198-203. doi: 10.4067/S0365-28072005000200009

Oliveros-Bastidas, A., Rodríguez-Hernández, D. y Calcagno-Pissarelli, M. (2011). Estandarización de un bioensayo para la búsqueda de compuestos fitotóxicos en extractos vegetales. *Ciencia, 19*(3), 187-202.

Tejerina, W., Liberal, V., Iribarnegaray, M. y Seghezzo, L. (2013). Gestión de residuos en curtiembres de la provincia de Salta. *Revista avances en energías renovables y medio ambiente, 17*(10), 679-688.

Simulación de la Concentración de Oxígeno Disuelto en un Lago Tropical de Alta Montaña: Caso Lago Guamués

Mery Liliana López Martínez[32]
Francisco Ricardo Mafla Chamorro[33]
Sandra Milena Madroñero Palacios[34]

Resumen

Este artículo presenta los resultados de la implementación de un modelo de oxígeno disuelto en el Lago Guamués, ecosistema léntico, que hace parte del Humedal de importancia internacional RAMSAR, laguna de la Cocha. Este lago posee un gran potencial ecosistémico, sin embargo, los estudios existentes sobre implementación de modelos matemáticos son inexistentes para este lago y escasos para lagos de alta montaña colombianos, ya que en el país, la gran mayoría de estudios se han desarrollado en ecosistemas lénticos templados tropicales. Teniendo en cuenta la importancia del lago Guamués y los avances en el campo de la tecnología y la informática, es posible hacer la evaluación de la calidad del agua de un ecosistema léntico, mediante la utilización del modelo matemático de calidad de agua WASP7, para simular la concentración de oxígeno disuelto en tres sectores del Lago. Los resultados indican que, el lago Guamués se encuentra en condiciones oligotróficas, no existe deficiencia de oxígeno y presenta en toda la columna de agua concentraciones de oxígeno disuelto compatibles con las formas de vida acuática.

[32] Universidad Nacional Abierta y a Distancia, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: mery.lopez@unad.edu.co

[33] Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: fmaffla@umariana.edu.co

[34] Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: smadronero@umariana.edu.co

Palabras clave: lago tropical de alta montaña, lago Guamués, oxígeno disuelto, WASP7.

Simulation of Dissolved Oxygen Concentration in a Tropical Lake of High Mountain: Case of Lake Guamués

Abstract

This article shows the results of the implementation of a model of dissolved oxygen in the Guamués Lake, a lentic ecosystem, which is part of the RAMSAR Wetland of International Importance, Cocha Lagoon. Although this lake has great ecosystem potential, studies on the implementation of mathematical models are scarce for Colombian high mountain lakes. The existence of other studies, developed in tropical temperate lentic ecosystems, is recognized. Taking into account the importance of Lake Guamués and the advances in the field of technology and information technology it is possible to evaluate the water quality of a lentic ecosystem, by using the mathematical model of water quality WASP7, to simulate the concentration of dissolved oxygen in three sectors of the Lake. The results indicate that Lake Guamués is in oligotrophic conditions; there is no oxygen deficiency and it presents in the entire water column, dissolved oxygen concentrations compatible with the aquatic life forms.

Key words: Tropical Lake of High Mountain, Guamues Lake, dissolved oxygen, WASP7.

Simulação da Concentração de Oxigênio Dissolvido em um Lago Tropical da Alta Montanha: Caso Lago Guamués

Resumo

Este artigo mostra os resultados da implementação de um modelo de oxigênio dissolvido no lago Guamués, um ecossistema lêntico, que faz parte do Pantanal RAMSAR de Importância Internacional, Lagoa Cocha. Embora este lago possua um grande potencial ecossistêmico, são escassos os estudos sobre a implementação de modelos matemáticos para lagos colombianos de alta montanha. É reconhecida a existência de outros estudos, desenvolvidos em ecossistemas lênticos temperados tropicais. Considerando a importância do Lago Guamués e os avanços no campo da tecnologia e da tecnologia da informação, é possível avaliar a qualidade da água de um ecossistema lêntico, usando o modelo matemático da qualidade da água WASP7, para simular a concentração de oxigênio dissolvido em três setores do lago. Os resultados indicam que o lago Guamués está em condições oligotróficas; não há deficiência de oxigênio e se apresenta em toda a coluna d'água, concentrações de oxigênio dissolvido compatíveis com as formas de vida aquáticas.

Palavras-chave: Lago Tropical da alta montanha, Lago Guamues, oxigênio dissolvido, WASP7.

Introducción

El lago Guamués (LG) hace parte del humedal de importancia internacional RAMSAR laguna de La Cocha, ecosistema muy importante porque alberga los páramos azonales más bajos del mundo, es un área rica en diversidad endémica restringida y especializada, contribuye a la regulación del clima de la región y tiene importancia cultural e histórica para las comunidades asentadas en el área (Ministerio del Medio Ambiente, 2000; López, Jurado, Páez y Madroñero, 2017).

Por otra parte, teniendo en cuenta las características del lago, éste se clasifica como un lago tropical monomíctico cálido, que se caracteriza por presentar periodos de mezcla completa en los meses de julio y septiembre, una termoclina durante el mes de mayo y poca variación de la temperatura del agua de la superficie al fondo (López et al., 2017), por su altitud se clasifica como un lago de alta montaña (Casallas y Gunkel, 2001). En general, los lagos tropicales de alta montaña son un tipo especial de ecosistema acuático, de los cuales existe un gran vacío de conocimiento (Gunkel, 2003; López, 2014; López y Madroñero, 2015; López et al., 2017).

> Teniendo en cuenta la relevancia de la zona y que en el tema específico de simulación de calidad de agua no se encontraron registros, ni estudios adelantados en el LG, se adelantó esta investigación, en la cual se utilizó por primera vez en el LG el modelo de calidad de agua *Water Quality Analysis Simulation Program* versión 7 (WASP7), con este modelo se simuló la concentración de oxígeno disuelto en el lago durante el año 2013, época en la cual se tienen registros para su calibración.
>
> WASP7 es un modelo creado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), es de distribución gratuita y está diseñado para ayudar al usuario a predecir e interpretar las respuestas en calidad del agua ante la contaminación natural o inducida por el hombre en cualquier cuerpo de agua superficial. WASP7 es un modelo dinámico y tridimensional. Es un programa de dividido en copartimientos, aplicable a sistemas acuáticos, que incluye tanto la columna de agua como las zonas bentónicas o de fondo de un lago o embalse (Wool, Ambrose, Martin & Comer, 2008).

El programa que desarrolla el modelo tiene dos submodelos: el hidrodinámico DYNHID que simula el movimiento del agua en todo el sistema acuático y el WASP7 que simula la calidad del agua. Este último, por facilidad operativa a su vez, está dividido en dos submodelos: el EUTRO y el TOXI; el primero simula los contaminantes convencionales y otros parámetros asociados al fenómeno de eutroficación y el segundo simula las sustancias químicas como compuestos orgánicos, metales y sedimentos. Los modelos se pueden correr separadamente o en conjunto (Sierra, 2011).

Materiales y Métodos

Área de estudio

El lago Guamués hace parte de la cuenca alta del río Guamués, importante tributario de los ríos Putumayo y San Miguel, afluentes a su vez del río Amazonas. Sus

límites lo ubican entre las coordenadas: 0°50" - 1°15" latitud norte y 77° 05" - 77° 20" longitud oeste (ver Figura 1) (Ministerio del Medio Ambiente, SIGAM, 2004).

Es el mayor humedal de los Andes Colombianos, con un espejo de agua que tiene un área de 41,74 kilómetros cuadrados, una longitud máxima de 14,1 kilómetros, un ancho máximo de 6,2 kilómetros, una profundidad máxima de 70 metros y una capacidad de almacenamiento de 1.700 millones de metros cúbicos de agua (Ministerio del Medio Ambiente, Corponariño, 2011).



Figura 1. Localización geográfica de LG.

Fuente: López et al., 2017.

Modelo matemático

Las ecuaciones de gobierno de WASP7 se basan en el principio de conservación de masa, por lo cual, el modelo matemático presenta una ecuación de balance para cada constituyente, con una ecuación diferencial en derivadas parciales de la forma

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}(uc) - \frac{\partial}{\partial y}(vc) - \frac{\partial}{\partial z}(wc) + \frac{\partial}{\partial x}\left(E_X \frac{\partial c}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(E_Y \frac{\partial c}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(E_Z \frac{\partial c}{\partial z}\right) + S_L + S_B + S_K \quad (1)$$

Donde:

c:	Concentración puntual del constituyente (mg/l).
t:	Tiempo (días).
u, v, w:	Componentes de la velocidad longitudinal, lateral y vertical respectivamente (m/s).
Ex, Ey, Ez:	Coeficientes de difusión turbulenta longitudinal, lateral y vertical (m^2/s).
S_L:	Tasa de carga directa y difusa (g/ (m^3 día)).
S_B:	Tasa de carga de contorno (g/ (m^3 día)).
S_K:	Tasa de transformaciones cinéticas totales, positiva si es una fuente y negativa si es un sumidero (g/ (m^3 día)). (Cuello, Trento y Alvarez, 2006, p. 1.427

WASP7 resuelve una aproximación en diferencias finitas de la ecuación uno con el método de Euler (Yannopoulos & Kaloyannis, 2008). El método de Euler resuelve las ecuaciones diferenciales ordinarias con un valor inicial, este valor sirve para que de forma general con la pendiente de la función se pueda extrapolar un nuevo valor:

Nuevo valor = valor anterior + pendiente (tamaño de paso)

O con la fórmula:

$$Y_{i+1} = Y_i + hf\ (X_i, Y_i) \quad (2)$$

Descripción de wasp7

WASP7 es un modelo dinámico y tridimensional (Wool et al., 2008) capaz de predecir y simular las respuestas hidroambientales de los cursos de agua a impactos de origen natural o antrópico, que se puede utilizar en diferentes ecosistemas (lagos, ríos, estuarios). Permite además "el modelado de cuerpos de agua uni, bi o tridimensionalmente, dependiendo principalmente del grado de precisión que requiera el estudio y el tipo de escenario que se esté tratando" (Cuello et al., 2006, p. 1.426).

> WASP7 lo componen básicamente dos [módulos] que pueden o no trabajar conjuntamente; uno de ellos es el modelo hidrodinámico DYNHYD5, que permite simular el movimiento del agua; el otro es el propio WASP7 que representa la interacción de los distintos constituyentes con la masa de agua. (Cuello et al., 2006, p. 1.426).

El software proporciona la opción de elegir entre diferentes subrutinas, precisando la clase de constituyente que se pretende estudiar; las subrutinas a las que se hace referencia son: Eutroficación, Eutroficación Avanzada, Tóxico simple, Tóxico no ionizante, Tóxico orgánico, Mercurio, Metales pesados y Calor (Wool et al., 2008; Cuello et al., 2006).

> La discretización del escenario de estudio se realiza a través de diferentes segmentos interconectados que permiten obtener la configuración geométrica del mismo. Existen cuatro tipos de segmentos: columna de agua superficial, columna de agua sub-superficial, lecho superior activo y lecho inferior.
>
> Este software posee una interfase con el sistema operativo Windows que permite un manejo y control interactivo de los datos para la simulación. El sistema dispone de un preprocesador en el cual se ingresa la información básica y un posprocesador que permite visualizar los resultados obtenidos posteriores a la simulación.
>
> [El preprocesador], consiste en una serie de iconos y menús contextuales, que permiten ingresar la información de entrada. Entre ellos se encuentran parametrización del modelo, intervalo de impresión de los datos, cuadro de segmentación, datos de parámetros, variables de estado a simular, tipos y valores de constantes a utilizar, cargas puntuales o difusas, funciones temporales, intercambios difusivos y dispersivos, flujos advectivos y condiciones de borde. (Cuello et al., 2006, p. 1.427-1.432).

La información de salida puede verse a través de un post procesador, el cual se encuentra inserto en el sistema y ofrece dos opciones: en la primera, los resultados se pueden visualizar por medio de un archivo exportado en formato de planilla de cálculo de Excel tipo CSV y la segunda es el programa donde se crean las diferentes gráficas que proyecta el modelo, una vez realizada la simulación (Cuello et al., 2006).

Implementación

Para la implementación de WASP7 se adoptó el escenario que se describe a continuación:

- ✓ Se asumió el cuerpo hídrico como un sistema de mezcla completa.
- ✓ El LG se dividió en 3 segmentos, que se denominaron: segmento superior con una profundidad de 0 a 30 metros; segmento

medio con una profundidad de 20 metros, que va de los 31 a 50 metros; y segmento inferior con una profundidad de 20 metros, que va de los 51 a los 70 metros.

✓ El ancho, la longitud y el área de cada segmento se calcularon utilizando la batimetría más reciente del LG que se realizó en el año 1984.

✓ Se utilizó el subprograma eutroficación sin acoplamiento de un modelo hidrodinámico.

✓ Se simuló la concentración de oxígeno disuelto. Se escogió este parámetro porque el impacto de una baja concentración de oxígeno disuelto es reflejo de un sistema desbalanceado, considerándose el parámetro más importante en el diagnóstico sobre el estado de contaminación de un ecosistema acuático (Sierra, 2011).

✓ Se simuló un año (365 días) comenzando desde el 1 de enero hasta el 31 de diciembre de 2013.

✓ Como parámetros ambientales, se utilizaron los valores medios mensuales de la velocidad del viento, registrados en el año 2013. Los datos se obtuvieron de los reportes de la estación Encano del IDEAM.

✓ Como condiciones de borde se tomaron los valores de O.D, medidos en la máxima profundidad. (Ver Tabla 1).

Tabla 1. *Parámetros para implementación de WASP7 en el Lago Guamués*

Parámetro	Segmento		
	Superior	Medio	Inferior
m s. n. m.	2.780	2.750	2.730
Profundidad en metros	0	30	50
Área en m^2	43.947,60	37.492,57	26.651,59
Longitud en metros	13.820	12.016,85	8.825,03
Ancho en metros	3,18	3,12	3,01
Profundidad máxima	30	20	20
Volumen de agua en m^3	1.318.428	749.851,44	531.266,81
Temperatura promedio del agua en el segmento	15,74	14,38	13,99
Nitratos	0,05	0,05	0,05
Fósforo	0,009	0,009	0.,009
Clorofila	1,52	0	0
Oxígeno disuelto promedio en el segmento (mg/L.)	8,50	6,69	5,22
DBO	7	7	7

Calibración

Para adelantar el proceso de calibración de WASP7, se adelantaron jornadas de muestreo mensuales desde enero hasta septiembre de 2013 (ver Tabla 2). Los meses de muestreo abarcaron las épocas de mayor y menor precipitación, los registros de la precipitación media anual en la estación de El Encano indican las máximas medias mensuales en los meses de abril, mayo, junio y julio, mientras que los mínimos se presentan en los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero (López et al., 2017; Ministerio del Medio Ambiente, Corponariño, 2011).

Tabla 2. *Fechas de muestreo Simulación de O.D.*

Fecha de Muestreo	Precipitación Media Mensual. Estación Encano
Enero 25 de 2013	82 mm
Febrero 5 de 2013	87 mm
Marzo 18 de 2013	101 mm
Abril 23 de 2013	145 mm
Mayo 7 de 2013	155 mm
Julio 25 de 2013	133 mm
Septiembre 27 de 2013	85 mm

Fuente: López et al., 2017.

Las coordenadas geográficas de cada punto se obtuvieron utilizando un GPS Garmin, modelo Map 76Csx. Para cargar los datos a WASP7 en el segmento superior, las mediciones de profundidad, temperatura y oxígeno disuelto se realizaron en 10 puntos representativos en el LG, seleccionados siguiendo la metodología propuesta por Bonilla y Guillot (2003). Se hizo un recorrido en zig-zag de sur a norte (ver Figura 2), iniciando en la vereda Santa Lucía, y terminando en la entrada nueva del río Encano, con una longitud aproximada de 20 km (López et al., 2017).

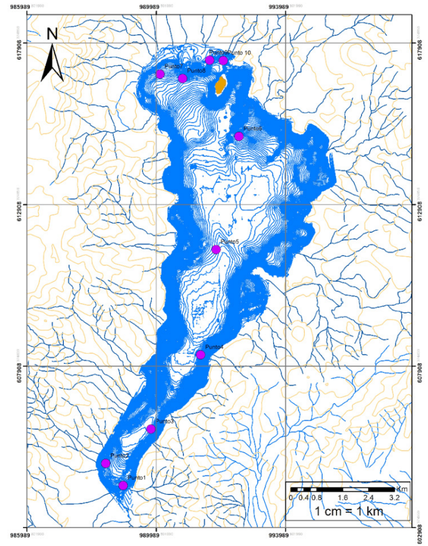


Figura 2. Ubicación de los puntos de muestreo.
Fuente: López et al., 2017.

Los valores de concentración de oxígeno disuelto medidos en campo, con los cuales se calibró el modelo en el segmento superior se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3. *Valores de oxígeno disuelto (mg/L) segmento superior LG*

Punto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Julio	Septiembre
1	9,15	8,83	7,45	7,99	8,62	6,4	7,16
2	9,15	8,85	7,7	7,92	7,75	6,99	7,71
3	9,53	9,04	7,88	8,14	8,34	7,84	7,6
4	8,84	9,14	7,84	8,41	8,11	8,05	6,65
5	9,72	9,28	7,86	9,42	8,88	8,05	7,95
6	9,18	9,43	7,88	8,56	8,86	8,81	7,61
7	9,74	9,4	8,17	8,38	8,82	8,13	8,22
8	9,53	9,51	8,24	8,3	8,82	8,95	8,36
9	9,41	9,46	8,3	8,32	8,98	8,23	8,41
10	9,43	9,53	8,36	8,42	9	9,77	8,03

Fuente: López et al., 2017.

Para los segmentos medio e inferior se utilizaron los datos de los puntos 4, 5 y 7, ya que son los que registraron profundidades mayores a los 30 metros, los valores de oxígeno se pueden observar en la Tabla 4.

Tabla 4. *Valores de oxígeno disuelto (mg/L.) segmentos medio e inferior LG*

Punto	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Julio		Septiembre	
	Med.	Inf.	Med.	Inf.	Med.	Inf.	Med.	Inf.	Med.	Inf.	Med.	Inf.	Med.	Inf.
4	5,63	5,75	6,37	5,7	4,34	3,95	5,32	6,16	4,61	3,99	6,75	3,59	6,73	6,64
5	6,91	6,51	6,32	6,26	4,72	4,65	6,18	6,1	6,28	4,58	7,61	4,48	7,07	6,69
7	6,79	4,57	6,76	5,78	5,43	2,57	6,45	6,16	7,53	5,28	7,97	3,85	7,24	6,28

Resultados y análisis

Corrida inicial del modelo

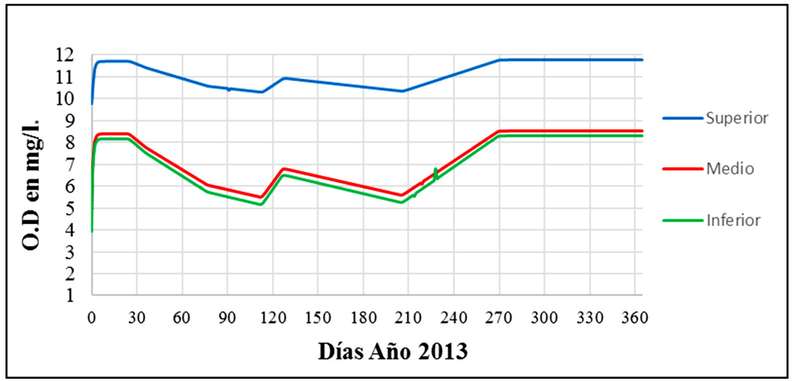


Figura 3. Corrida de Implementación WASP7 en LG.

La Figura 3 indica que la concentración de oxígeno disuelto en el segmento superior es mayor a 11,5 mg/l, resultados que no se pueden comparar con las mediciones que se hicieron en campo y no son coherentes con lo reportado en la literatura respecto a la concentración de oxígeno disuelto en ecosistemas lénticos. Para los segmentos medio e inferior, los valores máximos de oxígeno disuelto serían de 8,5 mg/l, valor que no concuerda con las mediciones que se hicieron en campo.

Con la gráfica obtenida y los valores de las constantes, que por defecto se recuperan en la pantalla de inicio de la simulación, se procedió a realizar la calibración.

Calibración del modelo

Una vez realizada la corrida inicial se procedió a realizar varias simulaciones intermedias, hasta obtener el mejor ajuste de la gráfica a los valores de oxígeno disuelto medidos en campo. WASP7 tiene la ventaja de que, automáticamente, arroja por defecto los valores de las constantes de los parámetros considerados en la cinética del crecimiento del fitoplancton y en los ciclos del nitrógeno y el fósforo, y permite hacer los ajustes necesarios sin métodos complejos de determinación.

En la simulación de oxígeno disuelto, la calibración se centró en la constante de reaireación, donde al hacer el cálculo por la fórmula de Covar, los valores de oxígeno disuelto en la superficie eran muy altos y no existía coherencia con los valores medidos en campo con las fórmulas de Owens y Churchill; el modelo presenta inestabilidad numérica, que se explica por la profundidad de los segmentos. El modelo finalmente fue corrido utilizando la fórmula de O'Connor.

La fórmula de O'Connor (Chapra, 1997), para calcular la reaireación es:

$$Ka = 3{,}93\frac{U^{0,5}}{H^{1,5}} \qquad (3)$$

Donde:

Ka:	Constante de reaireación en días $^{-1}$
H:	Profundidad media del agua en metros.
U:	Velocidad media del flujo en m/s.

La calibración se realizó manipulando en el modelo el valor de la constante de reaireación y realizando varias simulaciones preliminares hasta conseguir por ensayo y error la "Calibración Subjetiva", la gráfica que se adecue mejor a los datos medidos en campo.

Cuando se simula oxígeno disuelto con WASP7, el éxito depende del valor de la constante de reaireación, que en general es fácil de determinar, porque al igual que la mayoría de las constantes cinéticas consideradas en la simulación, el modelo las arroja por defecto (Chong, Wei & Zhifeng, 2010; Lifen, Xingwen & Lianbiao, 2012).

Para el LG se tuvo en cuenta la altura sobre el nivel del mar y el área total del cuerpo hídrico, con el fin de establecer el rango en el cual puede oscilar el valor de la constante de reaireación, se aplicaron diferentes valores a varias simulaciones preliminares hasta obtener la gráfica con mejor ajuste a la situación real.

Partiendo de la Figura 3, se realizó la calibración de la constante de reaireación, se tuvo en cuenta que los valores de la constante de reaireación en lagos, según Wool et al. (2008) oscila en el rango de 0 a 10 d^{-1}, siendo el valor de 0,3 d^{-1} el que permitió calibrar el modelo para el LG, valor que está de acuerdo con lo planteado por Tchobanoglous & Schroeder (1985) y Thomann & Mueller (1987), quienes determinan el rango de la constante de reaireación para lagos entre 0,2 a 0,35 d^{-1}.

Los valores por defecto de las constantes se recuperan en la pantalla de inicio de la simulación, el valor de cada constante se añade en el preprocesador y se realiza una nueva simulación hasta que el modelo corra adecuadamente. Con el modelo calibrado, se realizó una simulación final, para esto se utilizó los datos de oxígeno disuelto que se tomaron en campo durante los meses de enero a septiembre de 2013; la simulación dio un valor de oxígeno disuelto por cada día y por cada segmento.

El resultado de esta simulación se puede observar en la Figura 4, donde se encuentran las líneas que representan la concentración de oxígeno disuelto para el segmento superior, medio e inferior, que se consideraron para la simulación del LG. Para los 3 segmentos, los valores más bajos de oxígeno disuelto se registraron en el mes de marzo (días 60 a 90), la concentración sube bruscamente en el mes de abril (días 91 a 120), baja de forma rápida en el primeros días del mes de mayo (días 120 a 131); durante la segunda mitad del mes de mayo y los meses de junio y julio (días 121 a 212), la concentración de oxígeno disuelto sigue disminuyendo de forma constante, para que en los meses de agosto y septiembre (días 243 a 273) comience a subir y se estabilice en su valor más alto en los meses de octubre a diciembre (días 304 a 365).

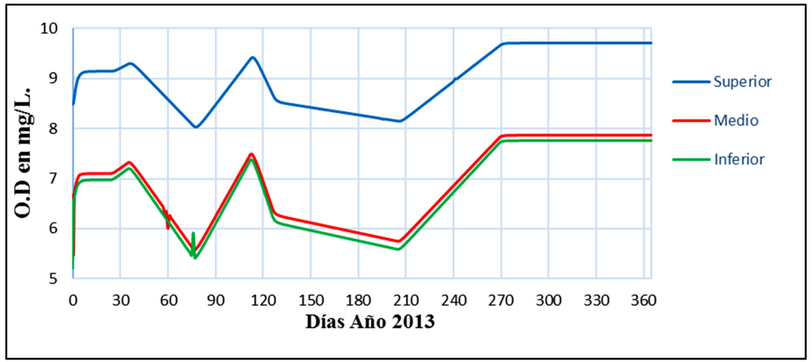


Figura 4. Simulación de O.D en LG, para el año 2013.

Para el segmento superior, la variación de oxígeno disuelto osciló en el rango de 8 a 9,7 mg/l; para el segmento medio, la variación de oxígeno disuelto osciló en el rango de 5,4 a 7,8 mg/l; y para segmento inferior, la variación de oxígeno disuelto osciló en el rango de 5,2 a 7,7 mg/l.

Con el fin de visualizar con mayor claridad los resultados obtenidos en la simulación, se construyeron las Figuras 5, 6 y 7 para realizar una comparación de los resultados de WASP7 y los valores reales de oxígeno disuelto medidos en campo. En cada una de las figuras se separaron los segmentos considerados en la simulación, así que hay una figura para el segmento superior, otra para el segmento medio y otra para el segmento inferior.

En la Figura 5 se muestran los resultados de las predicciones que hace WASP7 para el segmento superior, valores que se representan mediante la línea continua de color negro, las mediciones de oxígeno disuelto que se hicieron en campo se representan por medio de puntos, cada punto corresponde a uno de los de los 10 puntos de muestreo donde se hicieron las mediciones.

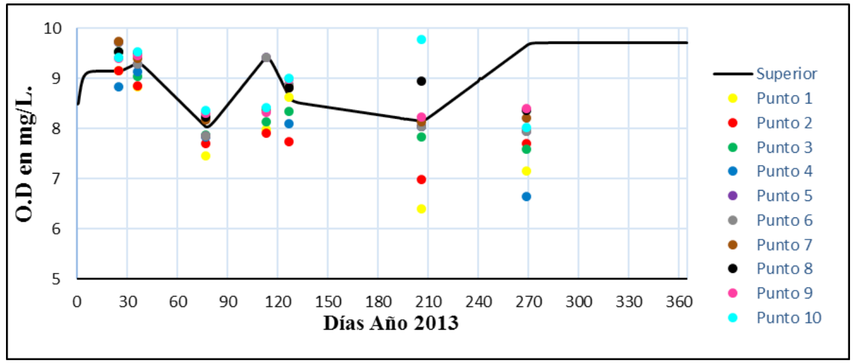


Figura 5. Simulación de O.D segmento superior en LG.

Se observa que los datos de mejor ajuste fueron en los meses de enero, febrero, marzo, abril y mayo, los valores del mes de septiembre son inferiores al valor que predice el modelo.

En la Figura 6 se observan los resultados del modelo WASP7 para el segmento medio, valores que se representan en la figura mediante la línea continua de color negro, las mediciones de oxígeno disuelto que se hicieron en campo se representan por medio de puntos. Para este segmento se utilizaron los valores obtenidos en los puntos identificados como 4, 5 y 7, que como se ha manifestado anteriormente son los puntos de muestreo en los que se midieron profundidades mayores a 30 metros.

La concentración de oxígeno disuelto, predicha para el segmento medio, oscilaría en el rango de 5,4 a 7,8 mg/l, indicando una buena calidad del agua en profundidad. El segmento medio tiene una profundidad de 20 metros que se midió desde los de 30 hasta los 50 metros en la columna de agua.

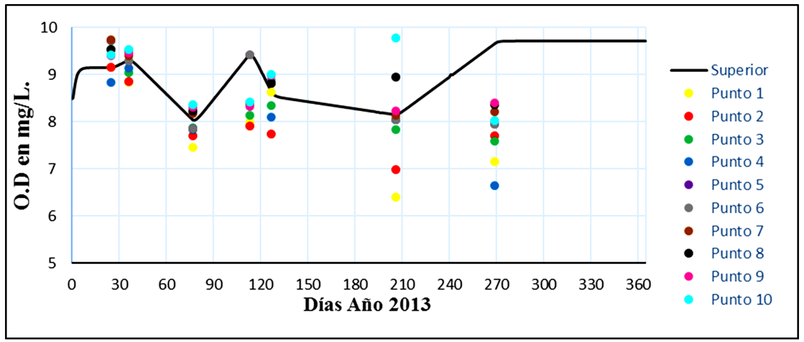


Figura 6. Simulación de O.D segmento medio en LG.

Se observa que no hay una concentración de los datos medidos en campo sobre la curva de predicción de WASP7. Los datos medidos en campo en el mes de julio son superiores a los que predice el modelo; para los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo y septiembre, los valores que predice el modelo fueron superiores a las mediciones que se hicieron en campo.

En la Figura 7 se observa los resultados del modelo WASP7 para el segmento inferior, valores que se representan en la figura mediante la línea continua de color negro, las mediciones de oxígeno disuelto que se hicieron en campo se representan por medio de puntos. Para este segmento se utilizó los valores obtenidos en los puntos identificados como 4, 5 y 7, ya que son los puntos de muestreo en los que se midió profundidades mayores a 50 metros.

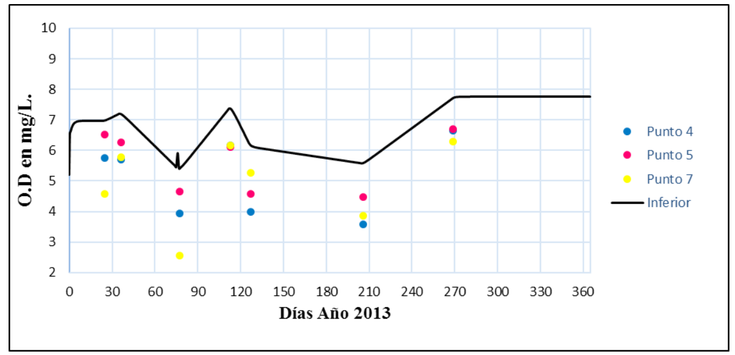


Figura 7. Simulación de O.D segmento inferior en LG.

Se observa que no hay una concentración de los datos medidos en campo sobre la curva de predicción de WASP7. Todos los valores medidos en campo fueron menores a los valores predichos por el modelo. La concentración de oxígeno disuelto predicha para el segmento inferior oscilaría en el rango de 5,2 a 7,7 mg/l, indicando una buena calidad del agua, aún en una profundidad de 50 a 70 metros. Los resultados permiten afirmar que existen condiciones aerobias en toda la columna de agua de LG.

Las figuras que se obtuvo en la simulación muestran que, la concentración de oxígeno disuelto es alta en los tres segmentos que se consideró; esta situación es un indicador de una buena calidad de agua en el LG. Se encuentraron concentraciones de oxígeno disuelto totalmente compatibles con formas de vida acuática. Se refuerza la afirmación de Sierra (2011), que en el LG existe una mezcla completa de la columna de agua, que permite la entrada de oxígeno a las capas inferiores y un reemplazo constante, aún en el fondo, haciendo que no existan problemas de deficiencia de oxígeno.

Para los 3 segmentos, los valores predichos fueron más altos que los valores medidos en campo, esta misma situación se encontró en los estudios de Cuello et al. (2006), Yannopoulos & Kaloyannis (2008) y Ekdal et al. (2011), en los 3 estudios se explica que a pesar de la superioridad de los valores de las predicciones, WASP7 capta muy bien la tendencia general del comportamiento del parámetro que se esté simulando, permitiendo explicar adecuadamente las condiciones generales en el ecosistema.

Los resultados predichos en el segmento superior son los que mejor se ajustan a los valores medidos en campo, esta situación puede darse por la gran cantidad de datos medidos (10 datos por cada mes) y porque es el segmento donde se hicieron mediciones de todos los parámetros de entrada al modelo. Los resultados de las predicciones para los segmentos medio e inferior son muy similares, esta condición se puede explicar porque las concentraciones de los parámetros de entrada son iguales para los dos segmentos, la variación entre los dos segmentos es muy pequeña en cuanto al volumen y como lo explica Cuello et al. (2006), el volumen

de los segmentos se constituye en un factor fundamental para observar diferencias marcadas en los resultados de una simulación con WASP7.

Los valores más bajos de oxígeno disuelto en las predicciones de WASP7 para los 3 segmentos se presentaron en el mes de marzo, época que coincide con la presencia de menores precipitaciones y menor velocidad de los vientos (1,7 m/s). La velocidad del viento es un parámetro ambiental muy importante en el comportamiento de la reaireación, Ekdal et al. (2011) consideran que, la importancia de los parámetros ambientales en una simulación de O.D, utilizando WASP7 es muy alta, y lo correcto sería hacer mediciones de velocidad del viento y temperatura ambiental en el punto de muestreo y no utilizar datos de las estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio para evitar errores.

A medida que aumentan las precipitaciones y los vientos, los valores de oxígeno disuelto aumentan y bajan nuevamente en el mes de mayo cuando se presenta la estratificación térmica. Roldán y Ramírez (2008) y Sierra (2011) consideran que la estratificación es uno de los factores que mayor influencia ejerce sobre la calidad del agua de un reservorio, los resultados de la simulación en el LG muestran su efecto en el mes de mayo porque ante la ausencia de mezcla en la columna de agua, la concentración de oxígeno disminuye en las capas inferiores. El nivel de O.D baja sin llegar a concentraciones no compatibles con la vida acuática, permitiendo que la calidad del agua sea buena.

La influencia de la velocidad del viento queda nuevamente en evidencia cuando la concentración de oxígeno disuelto llega a sus valores más altos, lo cual coincide cuando en la zona se presenta las mayores velocidades del viento; durante los meses de agosto a octubre la velocidad del viento es de 2,3 a 2,6 m/s.

Los resultados de la simulación indican un buen nivel de oxígeno disuelto en toda la columna de agua. Roldán y Ramírez (2008) afirman que una buena oxigenación en toda la columna de agua es una característica típica de lagos oligotróficos sin problemas de contaminación. López (2014) y López y Madroñero (2015) clasificaron al LG como ultraoligotrófico a oligotrófico, permitiendo corroborar los resultados obtenidos en la simulación. Chong et al. (2010) en la simulación del lago Baiyangdian de China, lo clasificaron como eutrófico, porque los valores de oxígeno disuelto fueron inferiores a 3 mg/l, valores que nunca se alcanzan en las predicciones de WASP7 en el LG.

No existen muchos estudios de simulación de oxígeno disuelto en lagos mediante la implementación de WASP7, que permitan hacer una comparación extensa de los resultados, este vacío de información, como lo afirman Yannopoulos & Kaloyannis (2008), se debe a que simular ecosistemas lénticos es muy complicado por la cantidad de parámetros que deben ser medidos en campo, la complejidad y costo de los equipos para realizar los muestreos en profundidad y el elevado valor económico que implica analizar las muestras.

Conclusiones

En el LG no existe deficiencia de oxígeno disuelto y presenta en toda la columna de agua concentraciones compatibles con las formas de vida acuática.

La simulación de oxígeno disuelto en el LG mostró un buen nivel de oxígeno disuelto en toda la columna de agua. Las variaciones que se presentaron en la concentración dependen de factores ambientales de la zona en la que se ubica la laguna, los periodos de mezcla y estratificación.

Los resultados obtenidos permiten afirmar que, la calidad del agua del LG es buena para la conservación de la biodiversidad y para el equilibrio del ecosistema.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Grupo de Investigación Biotics de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD y al Grupo de Investigación Ambiental GIA de la Universidad Mariana, quienes financiaron la investigación.

Referencias

Bonilla, M. y Guillot, G. (2003). *Prácticas de Ecología*. Santa Fe de Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Casallas, J. y Gunkel, G. (2001). Algunos aspectos limnologicos de un lago altoandino: el lago San Pablo, Ecuador. *Limnética*, *20*(2), 215–232.

Chapra, S. (1997). *Surface Water - Quality Modeling*. New York: McGraw Hill.

Chong, Z., Wei, Y. & Zhifeng, Y. (2010). Environmental flows management strategies based on the spatial distribution of water quality, a case study of Baiyangdian Lake, a shallow freshwater lake in China. *Procedia Environmental Sciences*, *2*, 896–905. doi:10.1016/j.proenv.2010.10.101

Cuello, J., Trento, A. y Alvarez, A. (2006). Transporte de sedimentos y metales pesados con WASP 7.0. *Mecanica Computacional*, *XXV*, 1.425–1.440.

Ekdal, A., Gürel, M., Guzel, C., Erturk, A., Tanik, A. & Gonenc, I. E. (2011). Application of WASP and SWAT models for a Mediterranean Coastal Lagoon with Limited Seawater Exchange. *Journal of Coastal Research*, (64), 1.023–1.027.

Gunkel, G. (2003). Limnología de un Lago Tropical de Alta Montaña, en Ecuador: Características de los sedimentos y tasa de sedimentación. *Revista de Biología Tropical*, *51*(2), 381–392.

Kaufman, G. B. (2011). *Application of the Water Quality Analysis Simulation Program (WASP) to Evaluate Dissolved Nitrogen Concentrations in the Altamaha River Estuary, Georgia*. University of Georgia.

Lifen, H., Xingwen, B. & Lianbiao, C. (2012). Apply with WASP Water Quality Model. In Atlantis Press (Ed.). En *the 2nd International Conference on Computer Application and System Modeling* (pp. 714–717). Conferencia llevada a cabo en París.

López, M. Jurado, G., Páez, I. y Madroñero, S. (2017). Estructura térmica del Lago Guamués, un lago tropical de alta montaña. *Luna Azul*, *44*, 94-119. doi: 10.17151/luaz.2017.44.7.

López, M. L. (2014). *Evaluación de la calidad del agua a través del estado trófico y la estratificación térmica en la Laguna de La Cocha, Municipio de Pasto* (tesis de Maestría). Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Colombia.

López, M. y Madroñero, S. (2015). Estado trófico de un lago tropical de alta montaña: caso laguna de La Cocha. *Ciencia E Ingeniería Neogranadina*, *25*(2), 21–42.

Ministerio del Medio Ambiente. (2000). Decreto 698 de 2000. Por el cual se designa un humedal para ser incluido en la lista de humedales de importancia internacional, en cumplimiento de lo dispuesto en la Ley 357 de 1997. Recuperado de http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/col133126.pdf

Ministerio del Medio Ambiente. Corponariño. (2011). Plan de manejo integral Humedal Ramsar Laguna de la Cocha.

Ministerio del Medio Ambiente. SIGAM. (2004). *Agenda Ambiental del Municipio de Pasto*. San Juan de Pasto: Corponariño.

Roldan, G. y Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología Neotropical* (2.ª ed.). Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia.

Sierra, C. A. (2011). *Calidad del agua. Evaluación y diagnóstico.* Medellín, Colombia: Universidad de Medellín.

Tchobanoglous, G., & Schroeder, E. (1985). *Water Quality: Characteristics, Modeling and Modification.* Michigan: Pearson.

Thomann, R. & Mueller, J. (1987). *Principles of surface water quality modeling and control*. New York: Harper & Row Publishers.

Wool, T., Ambrose, R. Martin, J. & Comer, E. (2008). *Water Quality Analysis Simulation Program (WASP) version 6.0 Draft: User´s Manual.* Atlanta: Tetra Tech, Inc.

Yannopoulos, S., & Kaloyannis, H. (2008). Water quality modelling of the Pamvotis lake (Greece) using the wasp mathematical model. *Protection*, (3), 1–8.

Análisis de la Sostenibilidad Ambiental de la Huella Hídrica en un Proceso de Beneficio Cárnico

Jhoana Montenegro Córdoba[35]
Gabriela Santacruz Montenegro[36]
María Alejandra Cantillo[37]
Luz Zenaida Gomez[38]

Resumen

El índice Huella Hídrica (HH) es una herramienta de evaluación de la sostenibilidad de los recursos hídricos, empleado para cuantificar el volumen total de agua utilizada en un producto consumido por un individuo, grupo de consumidores, empresa o país, y su aplicación derivada se enfoca a los procesos productivos y a todas sus etapas previas. El objetivo de este estudio fue evaluar la sostenibilidad ambiental a partir de la huella hídrica en un proceso de beneficio porcino y bovino en el Frigorífico Jongovito S.A, mediante la tercera etapa de la metodología planteada por Hoekstra, Chapagain, Aldaya y Mekonnen. Como resultado se obtuvo un indicador de sostenibilidad de 0.00903 respecto a la huella hídrica azul y un indicador de sostenibilidad de 0.0324 respecto a la huella hídrica gris. Con los resultados obtenidos se puede inferir que la evaluación de sostenibilidad, según el impacto causado por el proceso de beneficio en relación a la HH, fue bajo, resaltando la gran disponibilidad del recurso agua y su capacidad de asimilación de contaminantes de las fuentes hídricas en la región.

[35] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: jmontenegro@umariana.edu.co

[36] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia.

[37] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia.

[38] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia.

Palabras clave: evaluación ambiental, huella hídrica, proceso de beneficio, proceso cárnico, recurso hídrico.

Analysis of the Environmental Sustainability of the Water Footprint in a Process of Benefit Carnic

Abstract

The Water Footprint Index is a tool for assessing the sustainability of water resources, used to quantify the total volume of water used in a product consumed by an individual, consumer group, company or country; its derivative application is focuses on the productive processes and all their previous stages. The objective of this study was to evaluate the environmental sustainability from the water footprint in a porcine and bovine benefit process in Frigorífico Jongovito S.A, through the third stage of the methodology proposed by Hoekstra, Chapagain, Aldaya, and Mekonnen. As result, a sustainability indicator of 0.00903 was obtained with respect to the blue water footprint and a sustainability indicator of 0.0324 regarding the gray water footprint. With the results obtained it can be inferred that the evaluation of sustainability according to the impact caused by the benefit process in relation to the HH, was low, highlighting the high availability of the water resource and its capacity to assimilate pollutants from the water sources in the region.

Key words: environmental Evaluation, water footprint, benefit stage, meat processing, and water resource.

Análise da Sustentabilidade Ambiental da Pegada Hídrica em um Processo de Benefício dos produtos à base de carne

Resumo

O Índice de Pegada Hídrica é uma ferramenta para avaliar a sustentabilidade dos recursos hídricos, usada para quantificar o volume total de água usado em um produto consumido por um indivíduo, grupo de consumidores, empresa ou país, e sua aplicação derivativa é focada na processos produtivos e todas as suas etapas anteriores. O objetivo deste estudo foi avaliar a sustentabilidade ambiental a partir da pegada hídrica em um processo de benefícios de suínos e bovinos no Frigorífico Jongovito S.A, através da terceira etapa da metodologia proposta por Hoekstra, Chapagain, Aldaya e Mekonnen. Como resultado, um indicador de sustentabilidade de 0,00903 foi obtido com relação à pegada hídrica azul e um indicador de sustentabilidade de 0,0324 com relação à pegada hídrica cinza. Com os resultados obtidos pode-se inferir que a avaliação da sustentabilidade, de acordo com o impacto causado pelo processo de benefício em relação à HM foi baixa, destacando-se a alta disponibilidade dos recursos hídricos e sua capacidade de assimilar poluentes dos mananciais no entorno na região.

Palavras-chave: Avaliação ambiental, pegada hídrica, estágio de benefício, processo da carne, recurso hídrico.

Introducción

> El agua es uno de los recursos más preciados que dispone (…) el planeta tierra. Es un recurso esencial, limitado y en peligro, cuya disponibilidad se hace cada vez más crítica llevando a conflictos geopolíticos o cambios en políticas internas de producción y comercio en muchos países (Parada-Puig, 2012, p. 69).

Según la Comisión Europea (2003):

> Los problemas medioambientales más significativos relacionados con las operaciones de los mataderos son el consumo de agua, los vertidos al agua de líquidos de alta concentración orgánica y el consumo de energía que conllevan la refrigeración y el calentamiento de agua. (p. 2).

Actualmente, existe la necesidad de realizar estudios en cuanto al uso del agua en la producción de bienes y servicios, ya que están conformados por largas cadenas productivas y cada una de ellas con diferente consumo de agua, causando impacto en este recurso. Para poder hacer un análisis de este recurso dentro de un proceso, se utilizará la herramienta denominada Huella Hídrica (HH), definida según Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen (2011), como el "volumen total de agua utilizada para producir los bienes y servicios consumidos por un individuo, por un grupo de personas o por un país" (Jefferies et al., 2012; Parada-Puig, 2012; Bosire et al., 2015; Bonamente et al., 2016). Además, es un indicador de uso de este recurso, que tiene en cuenta el uso directo e indirecto por parte de un consumidor o productor, está compuesto por tres huellas (azul, verde y gris), completando la red de HH (Hoekstra et al., 2011; Rodriguez, Ruiz & Kruse, 2015;Aviso, Tan, Culaba, & Cruz, 2011). La aplicación de este concepto e indicador es uno de los más comunes para evaluar el impacto ambiental en relación con la producción de alimentos.

> La sostenibilidad de los recursos hídricos consumidos en un proceso, un producto, o por un consumidor o productor, depende de sus propias características, como el tamaño de la huella hídrica, duración, ubicación, color, entre otras; y de las condiciones del área geográfica (Hoekstra et al., 2011). La sostenibilidad se puede analizar desde una perspectiva ambiental, social o económica, y a diferentes escalas, nivel micro (local – zona de captación), meso (cuenca hidrográfica) y macro (global, superior a la cuenca fluvial).

> Cuando las captaciones son bastante pequeñas (menos de 100 km^2), se realiza una evaluación ambiental a nivel micro. En este caso, se incluyen los impactos que se producen dentro de la zona donde se evalúa la HH, (…). Se pueden identificar los puntos conflictivos o calientes de la HH de un producto, de un consumidor o de un productor en función de los componentes que se localizan en la cuenca donde se consume o se contamina. En este nivel, el impacto de la HH de un producto, un consumidor o un productor, siempre dependerá de la suma de las HH de todas las actividades en relación con los recursos disponibles de agua y su capacidad de asimilación. (Tolón, Lastra y Fernández, 2013, p. 78).

La evaluación de la huella hídrica es una metodología desarrollada por el investigador holandés Arjen Hoekstra y su equipo de colaboradores de la Universidad de Twente. El Manual de evaluación de huella hídrica (Hoekstra et al. 2011) contiene una explicación detallada de los conceptos y aplicaciones de esta metodología, y fue desarrollado teniendo en cuenta las contribuciones de los miembros de la Red Internacional de Huella Hídrica.

La evaluación de la huella hídrica consta de cuatro fases:

1. **Definición de objetivos y alcance de la evaluación** A favor de la transparencia y claridad, deben entablarse las razones para desarrollar la evaluación, y definir sus límites. Esta discusión preliminar definirá, finalmente, las decisiones que deben tomarse durante el estudio, así como las suposiciones.

2. **Contabilidad de la huella hídrica** En esta fase se recolectan datos y se desarrolla la cuantificación. El nivel de detalle en esta fase depende de las decisiones realizadas en la fase anterior.

3. **Análisis de sostenibilidad de la huella hídrica** Los resultados de huella hídrica son evaluados desde el punto de vista de la sostenibilidad ambiental, económica y social.

4. **Formulación de estrategias de respuesta** Con base en los resultados, se plantean estrategias o políticas de respuesta para mejorar la gestión del recurso hídrico. (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 2017, p. 9).

En el presente artículo se presenta el análisis de sostenibilidad de la huella hídrica azul (HHA) y gris (HHG), siendo esta la tercera etapa de la metodología planteada por Hoekstra. Los datos de la contabilidad de las Huellas hídricas azul y gris se obtuvieron de un estudio anterior realizado por las mismas autoras.

Metodología

A partir de la metodología desarrollada por Hoekstra (2011) para calcular la sostenibilidad ambiental de la HHA, se tuvo en cuenta la situación hídrica de las microcuencas Mijitayo, debido a que de esta fuente se abastece la empresa Frigovito S.A, y para la evaluación de la sostenibilidad de la HHG, se tuvo en cuenta la quebrada La Loreana, donde la empresa vierte las aguas residuales posteriormente tratadas. Además, fue necesario solicitar al IDEAM, datos meteorológicos de precipitaciones, caudales y temperaturas de las estaciones Botana, Obonuco y Wikipamba. La demanda hídrica se calculó a partir de la ecuación 1.

Ecuación 1. Demanda hídrica de la cuenca

$$Demanda\ total = DUD + DUI + DUS + DUA + DUP$$

En donde DUD es la demanda de uso doméstico; DUI es la demanda de uso industrial; DUS es la demanda de agua para el sector de servicios; DUA es la demanda de agua para uso agrícola; y finalmente DUP es la demanda para uso pecuario.

En cuanto a oferta hídrica, se hizo relación entre escorrentía natural y caudal ecológico dando como resultado en unidades de m^3/año, a partir de la ecuación 2.

Ecuación 2. Oferta hídrica de la cuenca

$$Oferta\ hídrica = Escorrentía\ superficial - Caudal\ ecológico$$

Posterior a ello, se realizó el cálculo del índice de escasez (Ie) de la quebrada Mijitayo con la ecuación 3.

Ecuación 3. Índice de escasez de la cuenca

$$Indice\ de\ escasez\ (\%) = \frac{Demanda\ de\ agua\ (m^3)}{Oferta\ hídrica\ superficial\ neta\ (m^3) * 100\ \%}$$

Una vez obtenido este valor dado en porcentaje (%), es posible interpretar este resultado a partir de la Tabla 1, donde se establecen las categorías de índice de escasez planteadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, que dieron rangos entre abundancia o escasez.

Tabla 1. *Categorías del índice de escasez*

Categoría	Rango	Color	Explicación
Alto	> 50 %		Demanda alta
Medio Alto	21-50 %		Demanda apreciable
Medio	11-20 %		Demanda baja
Mínimo	1-10 %		Demanda muy baja
No significativo	<1 %		Demanda no significativa

Fuente: IDEAM.

Si el índice de escasez se encuentra en el color rojo y naranja, significa que ha excedido la capacidad de demanda de agua, por el contrario, si se encuentra en color amarillo o verde relaciona a la demanda y oferta hídrica en igual proporción, y si está en azul, el proceso no hace un uso completo de la oferta hídrica de esta fuente.

Evaluación de la sostenibilidad de la HHA

Se realizó la evaluación de la sostenibilidad de la HHA, usando la ecuación 4 planteada por Hoeskstra et al. (2011), que menciona la relación entre HHA anual y la disponibilidad natural de la fuente.

Ecuación 4. Sostenibilidad de HHA

$$Sostenibilidad\ HHA = \frac{Huella\ hídrica\ azul\ (\frac{m^3}{año})}{Disponibilidad\ natural\ (\frac{m^3}{año})}$$

La HHA fue calculada en un estudio previo. El resultado obtenido se comparó con la tabla propuesta por Hoeskstra et al. (2011), que clasifica en qué nivel de impacto ambiental sobre la cuenca está presente el proceso de beneficio, estos valores se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. *Rangos de impacto ambiental*

Rango	Color	Impacto
> 4.0		Muy alto
> 2.0		Alto
> 1.5		Moderado
< 1.0		Bajo

Fuente: Hoeskstra et al., 2011.

Evaluación de la sostenibilidad de la HHG

La evaluación de la sostenibilidad de la HHG se realizó usando la ecuación 5, el valor obtenido se comparó con lo planteado por Hoekstra et al., (2011), en donde se establece que, si este valor es mayor al 50 %, significa que excedió la capacidad de asimilación de contaminantes por parte de la cuenca; si el valor es igual al 50 % corresponde a que ha usado completamente esta capacidad de la cuenca; por el contrario, si el valor es menor a 50 % es porque aún no se ha usado por completo esta capacidad de asimilación. La HHG fue calculada en un estudio previo.

Ecuación 5. Índice de contaminación hídrica

$$Indice\ de\ contaminación\ hídrica = \frac{Huella\ hídrica\ gris\ (\frac{m^3}{año})}{Disponibilidad\ real\ de\ agua\ en\ la\ cuenca\ (\frac{m^3}{año})}$$

Resultados y Discusión

La quebrada Mijitayo cuenta con 0,1537 m^3/s disponibles para satisfacer la demanda generada por actividades sociales y económicas del hombre (Corponariño, 2011) correspondiendo a una oferta hídrica anual de 4.780.684,60 m^3 y a una demanda total de 56.478,4 m^3, en la cual abarca al sector doméstico y al sector industrial, que incluye al proceso de cárnico de Frigovito S.A. En la Tabla 3, se observa la demanda hídrica de cada sector.

Tabla 3. *Componentes de la demanda hídrica total de la quebrada Mijitayo*

Sector doméstico (m^3/año)	Sector industrial (m^3/año)	Demanda Hídrica total (m^3/año)
46.000	10.478,4	56.478,4

En relación con la demanda hídrica, se muestra que al sector doméstico le corresponde el 81 % del valor total, esto debido al abastecimiento del 25 % de la población del municipio de Nariño (Corponariño, 2011) que corresponde a aproximadamente 400.000 habitantes. En cuanto al sector industrial le pertenece el 19 % con un valor neto de 10.478,4 m^3/año, donde el proceso cárnico de Frigovito S.A se beneficiaria de este servicio público para satisfacer las necesidades básicas y ejecutar los procesos dentro de la planta.

En la Tabla 4, se muestra el área, la oferta hídrica y el caudal ecológico de la quebrada Mijitayo, los cuales fueron proporcionados por la Empre-

sa EMPOPASTO mediante documentos y estudios realizados. Una vez encontrado el valor de demanda hídrica y tomando la oferta hídrica neta, se pudo calcular el índice de escasez de esta fuente (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2012). Encontrando que la quebrada no presenta presiones importantes sobre el recurso hídrico, es decir, que el agua tomada no genera conflictos entre el abastecimiento de agua para las necesidades humanas, las ecosistémicas, las de los sistemas de producción y de las demandas potenciales (Corponariño, 2011).

Tabla 4. *Situación hídrica de la quebrada Mijitayo*

Área	Oferta Hídrica	Caudal ecológico	Oferta hídrica neta	Demanda hídrica	índice de escasez	Categoría
Ha	m³/año	m³/s	m³/año	m³/año	%	Demanda no significativa
1.109,3	4.780.684,80	0,0538	2.390.342,4	56.478,4	2,36	

Evaluación de la sostenibilidad de la HHA

En la Tabla 5 se muestra la huella hídrica encontrada en un estudio previo, con la disponibilidad natural de la fuente.

Tabla 5. *Indicador de sostenibilidad para la HHA*

HHA (m³/año)	Disponibilidad natural (m³/año)	Sostenibilidad HHA	Impacto
16.005,67	1.772.928,00	0,00903	Bajo

La Tabla 5 permite inferir que la relación de la HH con respecto a la oferta hídrica neta resulta un indicador de sostenibilidad de 0.00903, por lo cual se encuentra en un nivel de clasificación de impacto bajo a la microcuenca de Mijitayo. Es necesario mencionar que este impacto es basado únicamente al proceso de beneficio de la empresa Frigovito S.A, en comparación al abastecimiento de la quebrada Mijitayo a aproximadamente 400.000 habitantes de la ciudad de San Juan de Pasto.

Evaluación de la sostenibilidad de la HHG

La quebrada La Loreana nace de las faldas del volcán Galeras, provenientes de escurrimientos superficiales, reboses y canalizaciones naturales. En la parte media de la quebrada, pasa por un costado del centro poblado del corregimiento de Jongovito, la central de sacrificio, urbanizaciones de carácter privado y ladrilleras. Esta fuente es canalizada, atravesando viviendas urbanas y la vía panamericana hasta desembocar a la quebrada Miraflores (Corponariño, 2011). Los componentes de la demanda hídrica de la quebrada La Loreana se muestran en la Tabla 6, se evidencia que abarca únicamente al sector agrícola, la cual es una actividad económica que se mantiene en el corregimiento de Jongovito, contando con cultivos de papa, maíz, frijol y hortalizas, para las cuales se necesitan 557.118,07 m³/año.

Tabla 6. *Componentes de la demanda hídrica total de la quebrada La Loreana*

Sector agrícola (m³/año)	Demanda Hídrica total (m³/año)
557.118,073	557.118,073

Por otra parte, se establece que el uso del agua en la agricultura en comparación con la industria es insignificante, esto es debido a los diferentes métodos para evaluar los impactos del uso del agua, discutiblemente los enfoques solo evalúan la cantidad de agua utilizada referenciando sólo una parte de la información. Los impactos ambientales del consumo de agua deben ser diferentes dependiendo del nivel de escasez de agua del área, incluso si la cantidad utilizada es la misma para un producto en particular; esto mencionado por Jeswani & Azapagic, (2011).

Tabla 7. *Situación hídrica de la quebrada La Loreana*

Área	Oferta Hídrica	Caudal ecológico	Oferta hídrica neta	Demanda hídrica	índice de escasez	Categoría
Ha	m³/año	m³/s	m³/año	m³/año	%	Demanda alta
852,00	2777407,91	0,0291	1388703,96	557118,07	40,12	

En la Tabla 7 se muestra la situación hídrica de la quebrada La Loreana, que es la receptora de las aguas residuales de la empresa Frigovito S.A. Según el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico de la quebrada Miraflores, que es una de las abastecedoras a la quebrada la Loreana, menciona que, sí existe una alta demanda hídrica, puesto que esto representa más del 40 % de la oferta hídrica utilizada y se encuentra directamente representada en actividades antrópicas, en especial para grandes terrenos de uso agrícola, ya que casi toda la cobertura del suelo de la subcuenca está destinada a la siembra de cultivos. En la Tabla 7 se observa que ésta representa una demanda alta, debido a que el volumen de agua que se pierde está directamente relacionado a defectos que existen en los sistemas de distribución y, por ende, un gran porcentaje no está regresando a la cuenca como tal, es decir que, está dejando de ser sostenible para su uso, tanto por las pérdidas de agua en el sistema de distribución como por el volumen de HHA en relación a su sostenibilidad.

En cuanto a la sostenibilidad de HHA, se consideró realizar una comparación de la cuantificación con las características ambientales del entorno, que en este caso están relacionadas con la generación y aprovechamiento de agua con base en un criterio oferta/demanda.

Tabla 8. Índice de contaminación hídrica

HHG (m³/año)	Disponibilidad natural (m³/año)	Índice de contaminación hídrica	Impacto
21.813,83	674.105,11	0,0324	Bajo

En la Tabla 8 se indica la sostenibilidad para la HHG, relacionada con la oferta hídrica neta y la asimilación de contaminantes. Evidentemente, se muestra que no se genera un uso completo de la capacidad de asimilación de contaminantes que tiene la cuenca o el cuerpo receptor del vertimiento.

Con los resultados se puede inferir que la evaluación de sostenibilidad según el impacto causado por el proceso de beneficio en relación a la HH fue bajo, por lo cual se hace necesario tener en cuenta que, la disponibilidad del recurso agua y su capacidad de asimilación de contaminantes en las microcuencas está muy relacionada con la riqueza de componentes naturales-ambientales y, principalmente, de fuentes hídricas en la región, teniendo en cuenta que el agua se encuentra en abundancia en las fuentes de abastecimiento de la ciudad de Pasto, a pesar de las diferentes clases de demanda de este recurso, según lo establece EMPOPASTO. A esto se suma el hecho de que no existe un número pronunciado de industrias que las puedan afectar de manera brusca.

Pese a lo mencionado y en concordancia con estudios previos realizados por Acero, Riaño y Cardona (2013), en términos generales, se considera que:

> [Los frigoríficos] aún deben mejorar en aspectos ambientales como el control de emisiones, el control de ruidos, mejor control del tratamiento de aguas residuales, higiene en las instalaciones y protección a la biodiversidad; en este sentido, como resultado de las entrevistas y experiencia de los investigadores se estima en cerca de 70% el grado de cumplimiento de la normatividad ambiental para los frigoríficos clase I. (p. 109).

En estos términos también resaltan que el país está a tiempo de tomar las medidas necesarias para asegurar la disponibilidad de recursos en el futuro, "promover la sostenibilidad ambiental como un factor de mitigación de la pobreza y dar bienestar a la población" (Acero et al., 2013, p. 103). Para ello proponen que se debe trabajar en tres grandes aspectos:

> El cambio climático, la gestión integral de la biodiversidad y el manejo de contaminantes, que incluyen los factores relativos a la incidencia en políticas públicas, el fortalecimiento de capacidades, la generación de conocimiento e información, la sensibilización a la comunidad, los cambios en terreno. (Acero et al., 2013, p. 103).

Después de hacer un análisis bajo los parámetros de sostenibilidad de HHA y HHG, se logró identificar algunas oportunidades de reducir los posibles impactos generados en las diferentes etapas del proceso.

En cuanto a la sostenibilidad de HHA, se considera realizar una comparación de la cuantificación con las características ambientales del entorno, que en este caso están relacionadas con la generación y aprovechamiento de agua con base en un criterio oferta/demanda.

La norma ISO 14046 (2014), se relaciona con la evaluación de la huella hídrica, en la medida que dentro del proceso de beneficio se identifican las oportunidades de reducir el impacto que está generando la problemática relacionada al uso del agua asociado al producto cárnico, al servicio que presta Frigovito que es el proceso de beneficio y a la organización que es la empresa. Por otra parte, dentro de la investigación el impacto que causa, el gasto desmedido del agua tiene en cuenta los aspectos sociales y económicos, porque afecta tanto a la cuenca como a la economía de la empresa.

Dentro del análisis, la ISO 14046 pretende, no solamente realizar el estudio del consumo de agua sino evaluar cuál es el impacto de este gasto. En el ciclo de vida se considera todas sus etapas, si bien, en esta investigación no se hace una evaluación desde el inicio de vida del ganado bovino como porcino, se analiza que la huella hídrica se ve limitada a específicamente el proceso de beneficio, que sería una etapa de todo el ciclo de vida de este proceso.

Finalmente, se debe tener en cuenta que la sostenibilidad de la huella hídrica se introduce en la fase de redacción de la ISO, de manera que, será una herramienta útil para la empresa interesada en la comprensión de los impactos ambientales relacionados con el agua, especialmente, para propósitos internos, y permitirá mejorar la gestión de los riesgos del agua frente a su escasez como recurso.

Después de hacer un análisis bajo los parámetros de sostenibilidad de HHA y HHG, se logró identificar algunas oportunidades de reducir los posibles impactos generados en este tipo de procesos. Según Hoekstra et al., (2011), la huella hídrica azul involucrada en un proceso industrial no se puede evitar cuando el proceso requiera explícitamente de la incorporación del agua dulce al producto", pero si se puede remediar por medio de otras alternativas, por lo tanto:

En vista de que de una u otra manera, el consumo de agua que se requiere dentro de la planta de beneficio en cada una de las diferentes etapas es muy alto, en virtud de que se trata de transformación de alimentos y, que además, conlleva a la generación de altas cargas de contaminantes que generan gran impacto al recurso hídrico, como se ha venido mencionando a lo largo de esta investigación, se hace evidente la necesidad de contrarrestar de cierta manera el impacto generado. En concordancia con lo mencionado y teniendo en cuenta que a pesar de que la empresa en estudio cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, el porcentaje de agua de retorno es tan solo del 26,12 %, por lo tanto, se recomienda actualizar los sistemas de tratamiento, incluyendo los sistemas diseñados para la recolección y transporte de las aguas contaminadas; de manera que se aplique una ampliación en el caudal del agua a tratar en la planta, generando una disminución de cargas contaminantes que se vierten directamente en la quebrada la Loreana, lo cual generará estabilidad en la microcuenca.

Conclusión

Con los resultados obtenidos se puede inferir que la evaluación de sostenibilidad según el impacto causado por el proceso de beneficio en relación a la HH fue bajo, resaltando la gran disponibilidad del recurso agua y su capacidad de asimilación de contaminantes de las fuentes hídricas en la región. Sin embargo, es necesario realizar estudios de este indicador en todos los sectores que consumen el agua de la quebrada Mijitayo y de todos los vertimientos que se generan a la quebrada La Loreana, con el fin de dar un valor más aproximado en cuanto a la sostenibilidad de estas fuentes hídricas y así garantizar las condiciones mínimas de vida actual y de las futuras generaciones.

Referencias

Acero, R., Riaño, G. y Cardona, D. (2013). Evaluación del sistema de gestión ambiental de los frigoríficos cárnicos en Colombia. *Criterio libre, 11*(19), 93–123.

Bonamente, E., Scrucca, F., Rinaldi, S., Cleofe, M., Asdrubali, F. & Lamastra, L. (2016). Environmental impact of an Italian wine bottle: Carbon and water footprint assessment. *Science of the Total Environment, 1*(560–561), 274–283. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.04.026

Bosire, C. K., Ogutu, J. O., Said, M. Y., Krol, M. S., Leeuw, J. & Hoekstra, A. Y. (2015). Trends and spatial variation in water and land footprints of meat and milk production systems in Kenya. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 205*(1), 36–47. doi: 10.1016/j.agee.2015.02.015

Comisión Europea. (2003). Resumen ejecutivo mataderos. Recuperado de http://www.prtr-es.es/Data/images/Resumen%20Ejecutivo%20BREF%20Mataderos-D5CF08D8C7A46A0E.pdf

Corponariño. (2011). *Plan de ordenamiento del recurso hídrico quebrada Miraflores*. San Juan de Pasto.

Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual.* London: Earthscan.

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2017). Guía metodológica para la evaluación de la huella hidríca en una cuenca hidrográfica. Recuperado de http://repositorio.iica.int/bitstream/11324/2996/1/BVE17068913e.pdf

Jefferies, D., Muñoz, I., Hodges, J., King, V. J., Aldaya, M., Ertug, A., … Hoekstra, A. Y. (2012). Water Footprint and Life Cycle Assessment as approaches to assess potential impacts of products on water consumption . Key learning points from pilot studies on tea and margarine. *Journal of Cleaner Production*, *33*, 155–166. doi:10.1016/j.jclepro.2012.04.015

Jeswani, H. & Azapagic, A. (2011). Water footprint : methodologies and a case study for assessing the impacts of water use. *Journal of Cleaner Production*, *19*(12), 1.288–1.299. doi: 10.1016/j.jclepro.2011.04.003

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2012). La estructura de la producción de carne bovina en Colombia. *Boletín mensual Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria, 4*, 1-75. Bogotá D.C. Recuperado de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos_factores_de_produccion_octubre_2012.pdf

Parada-Puig, G. (2012). El agua virtual : conceptos e implicaciones. *Orinoquía, 16*(1), 69–76.

Rodriguez, C. I., Ruiz, V. & Kruse, E. (2015). Analysis of water footprint of potato production in the pampean region of Argentina. *Journal of Cleaner Production*, *90*, 91–96. doi: 10.1016/j.jclepro.2014.11.075

Tolón, A., Bolívar, X. y Fernández, V. (2013). Huella hídrica y sostenibilidad del uso de los recursos hídricos. *Revista electrónica de medio ambiente, 14*(1), 56-86. doi: 10.5209/rev_MARE.2013.v14.n1.42123

Evaluación de Subproductos del Plátano y Aserrín en la Elaboración de Briquetas con Alto Poder Calorífico

Raquel Estefanía Benavides Peña[38]
Verónica Villota Dorado[39]
Ángela Sofía Parra Paz[40]

Resumen

Los subproductos generados en la poscosecha del plátano, como la cáscara y el vástago, no son manejados adecuadamente; su disposición se destina como abono orgánico y, asimismo, se dispone de los residuos maderables producidos en los aserraderos. Por lo anterior, se evaluó la alternativa de elaborar briquetas con alto poder calorífico. En este sentido, se realizó una caracterización fisicoquímica en términos de la capacidad calorífica (Cp), cenizas (C), humedad (H), peso específico (ϒ), lignina (L), celulosa (Ce); posteriormente, se aplicó un diseño experimental simplex con una réplica, donde se evaluó diferentes formulaciones de estos subproductos para la elaboración de las briquetas. Las variables de respuesta fueron Cp y C. Los resultados de los análisis fisicoquímicos fueron Cp: 434.66+/18.44, 247.33+/-10.06 y 3227+/-12.01Cal/g°K, para C: 1.49+/-0.05, 3.0+/-0.05 y 0.43%+/-0.88, ϒ:1.11+/-0.11, 0.18+/-0.005 y 0.87+/-0.08 g/cm3, H: 12.4+/-0.76, 80.3+/- 0.62 y 51.7+/- 1.34 %, Ce: 20.3+/-0.20, 39.3+/-1.8 y 46.03+/-1.02 % y L: 11.19+/-0.34, 29.66+/-0.52 y 37.9+/-2.3 %. El diseño experimental indica que no hay diferencias significativas en las variables de respuesta estudiadas (P>0.05); sin embargo, se encontró que la mezcla 1 obtuvo mejores resultados en término de las variables. Como conclusión, estos residuos pueden ser vinculados a procesos de transformación en la elaboración de carbón vegetal con un alto contenido calorífico.

Palabras clave: aserrín, briquetas, formulación, residuos orgánicos.

Evaluation of By-Products of Banana and Sawdust in the Production of Briquettes with High Calorific Value

Abstract

The by-products generated in the postharvest of the banana, such as the peel and the stem, are not properly managed; their disposal is intended as organic fertilizer and also timber waste produced at the sawmills is available. Therefore, the alternative of making briquettes with high calorific value was evaluated. In this sense, a physicochemical characterization was performed in terms of heat capacity (Cp), ash (C), humidity (H), specific weight (ϒ), lignin (L), and cellulose (Ce). Afterward, a simplex experimental design with a replica was applied, where different formulations of these by-products were evaluated for the preparation of briquettes. The response variables were: Cp and C. The results of the physicochemical analyzes were: Cp: 434.66 +/18.44, 247.33 +/- 10.06 and 3227 +/- 12.01Cal / g ° K, for C: 1.49 +/- 0.05, 3.0 +/- 0.05 and 0.43% +/- 0.88, ϒ: 1.11+ /-0.11, 0.18 +/- 0.005 and 0.87 +/- 0.08 g / cm3, H: 12.4 +/- 0.76, 80.3 +/- 0.62 and 51.7 +/- 1.34%, Ce: 20.3 +/- 0.20, 39.3+ /-1.8 and 46.03 +/- 1.02% and L: 11.19 +/- 0.34, 29.66 +/- 0.52 and 37.9 +/- 2.3%. The experimental design indicates that there are no significant differences in the response variables studied (P> 0.05); however, it was found that mixture 1 obtained better results in terms of the variables. In conclusion, these residues can be linked to transformation processes in the production of charcoal with a high calorific content.

Key words: sawdust, briquettes, formulation, organic waste.

Avaliação de Subprodutos de Bananeira e Serragem na Produção de Briquetes com Alto Valor Calorífico

Resumo

Os subprodutos gerados na pós-colheita da banana, como a casca e o caule, não são gerenciados adequadamente; seu descarte é destinado a fertilizantes orgânicos e também está disponível o desperdício de madeira produzido nas serrarias. Portanto, foi avaliada a alternativa de fabricação de briquetes com alto valor calorífico. Nesse sentido, foi realizada uma caracterização físico-química em termos de capacidade térmica (Cp), cinza (C), umidade (H), peso específico (ϒ), lignina (L), celulose (Ce). Posteriormente, foi aplicado um delineamento experimental simplex com réplica, onde diferentes formulações desses subprodutos foram avaliadas para a preparação de briquetes. As variáveis de resposta foram: Cp e C.

Os resultados das análises físico-químicas foram: Cp: 434,66 + / 18,44, 247,33 +/- 10,06 e 3227 +/- 12,01Cal / g ° K, para C: 1,49 +/- 0,05, 3,0 +/- 0,05 e 0,43% +/- 0,88, ϒ: 1,11+ / 0,11, 0,18 +/- 0,005 e 0,87 +/- 0,08 g / cm3, H: 12,4 +/- 0,76, 80,3 +/- 0,62 e 51,7 +/- 1,34%, Ce: 20,3 +/- 0,20, 39,3+ / -1,8 e 46,03 +/- 1,02% e L: 11,19 +/- 0,34, 29,66 +/- 0,52 e 37,9 +/- 2,3%. O delineamento experimental indica que não há diferenças significativas nas variáveis de resposta estudadas (P> 0,05); no entanto, verificou-se que a mistura 1 obteve melhores resultados em termos de variáveis. Em conclusão, esses resíduos podem estar ligados a processos de transformação na produção de carvão com alto teor calorífico.

Palavras-chave: serragem, briquetes, formulação, resíduos orgânicos.

Introducción

El plátano es una planta herbácea monocotiledónea, de la familia *Musácea* se posiciona como el cuarto cultivo más importante a nivel mundial. Adicionalmente, de forma particular, en el departamento de Nariño se cuenta con una producción de 143.794 ton (Sistemas de Información de Precios y Abastecimientos del Sector Agropecuario, 2014) y "se estima que el 95 % de los residuos generados del plátano, [como el tallo, el vástago y la cáscara presentes en el cultivo de plátano] no son aprovechados eficientemente por el cultivador; después de usar el fruto se destina el denominado 'restante' para abono de cosecha, por medio de su descomposición" (Universidad Nacional de Colombia, 2011, párr. 1), además, diferentes estudios indican que la cáscara y el vástago de plátano, materiales usados en esta investigación, representan del 35 % al 40 % del fruto (Melo, Torres-Grisales, Serna y Torres-Valenzuela, 2015). Estos residuos sirven como materia prima parcial o total para la producción de etanol, empaques, jarabes medicinales, harinas (Ministerio de Agricultura, 2015), también pueden ser "fuente de materiales fibrosos como papel, materiales de construcción y artesanías" (Mazzeo, León, Mejía, Guerrero y Botero, 2010, p. 133), los cuales pueden generar ingresos adicionales para los agricultores, impactando positivamente diversas áreas. Por otra parte, en Colombia:

> Es mínima la reutilización de madera o sus derivados de los procesos industriales, [como el aserrín], lo cual lleva a las empresas legalmente conformadas a pagar un valor por el traslado y disposición final de estos residuos generando un costo, o un manejo informal [de este material] (…). Los residuos de madera son altamente aprovechables, (…) se pueden usar para la fabricación de energía de biomasa, esta es una energía renovable procedente de materiales naturales (…), que generan calor o electricidad. La disposición de maderas tiene un gran impacto ambiental, el grupo National Timber Product Stewardship de Australia establece que la energía producida por madera reciclada emite 50 veces menos emisiones de gases de efecto invernadero que la combustión de carbón negro y 30 veces menos que el gas natural, cuando se usa en instalaciones industriales. Por otra parte, los residuos de madera se pueden emplear para la producción de pellets [o briquetas mediante] un proceso de compactación de material lignocelulósico bajo determinadas condiciones. (Amaya, 2015, pp. 4-5).

Por lo anterior, el presente trabajo de investigación se centra inicialmente en el uso de aserrín, cáscara y vástago de plátano, con el fin de elaborar briquetas con alto poder calorífico, ya que según González (2009) y Trossero (2002), la bioenergía puede ser obtenida a partir de biocombustibles sólidos, como leña, residuos agrícolas y residuos forestales. Los combustibles de origen biológico además de sustituir parte del consumo de los combustibles fósiles tradicionales, tienen la ventaja de presentar un bajo

[39] Programa de Ingeniería de Procesos, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: raqbenavides@umariana.edu.co

[40] Programa de Ingeniería de Procesos, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: vevillota@umariana.edu.co

[41] Programa de Ingeniería de Procesos, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: asparra@umariana.edu.co

impacto en el deterioro ambiental. En este sentido, inicialmente se tuvo en cuenta, la caracterización de los residuos orgánicos y maderables, posteriormente, un análisis experimental para la formulación de la elaboración de las briquetas alternativas, y finalmente, la caracterización del producto obtenido en cuanto a su poder calorífico y contenido de cenizas.

Metodología

Análisis fisicoquímicos

Para la caracterización fisicoquímica del aserrín, vástago y cáscara de plátano se realiz**ó** análisis de contenido de humedad, cenizas, densidad, capacidad calorífica, celulosa y lignina, las mediciones se realizaron por triplicado para cada análisis (ver Tabla 1). Los residuos orgánicos fueron seleccionados con el fin de separar los materiales que se encontraban en estado de putrefacción. Para el análisis de densidad previamente se realizó secado, molienda, y tamizado a cada materia prima.

Tabla 1. *Análisis fisicoquímicos de las materias primas*

Determinación	Método	Norma
Humedad	Gravimétrico	NTC 3484
Cenizas	Gravimétrico	NTC 1958
Densidad	Gravimétrico	NTC 918
Capacidad calorífica	Gravimétrico	NTC 2128
Celulosa	Gravimétrico	NTC 697
Lignina	Gravimétrico	NTC 998

Evaluación de la cáscara, vástago de plátano y residuos maderables en la elaboración de briquetas

Selección de las materias primas

La selección de la cáscara y vástago de plátano se realizó empleado el método de cuarteo, teniendo en cuenta el total de residuos orgánicos generados según la metodología de Amponsah Annor (2009).

Secado

Este proceso se llevó a cabo en un secador de bandejas con circulación de aire caliente, con el método desarrollado por Moreno (2003). El secador utilizado dispone de 10 bandejas de 30 x 30 cm, este se encendió 1 hora antes de realizar el proceso, con el fin de estabilizar las condiciones de trabajo, como temperatura y velocidad de aire 30 m/seg, se secó la cascara de plátano a una temperatura de 60 °C por 10 horas.

Molienda de cáscara y vástago de plátano

Se cortó el plátano y el vástago en trozos de 3cm^2 aproximadamente, para facilitar la molienda de los mismos. El proceso de molienda se repitió dos veces para cada materia prima, con el fin de tener un material más homogéneo.

Tamizado de residuos orgánicos y maderables

Se tamizó las materias primas empleando tamices No. 10, 20, 40 y 60 para clasificar el contenido en dos tamaños de partículas finos y gruesos.

Formulación de las briquetas

Se aplicó un diseño experimental simplex o de mezcla, en el cual se evaluó dos variables de respuesta tales como % de ceniza y capacidad calorífica, variando tres componentes: residuos maderables, cáscara de plátano y vástago de plátano previamente tratados (ver Tabla 2). Los resultados se analizaron con el paquete estadístico Statgraphics© versión de prueba.

Tabla 2. *Diseño experimental formulación de materias primas*

Bloque	Vástago de plátano	Cáscara de plátano	Residuos maderables	Características evaluadas
1	40 %	10 %	50 %	
1	10 %	40 %	50 %	
1	10 %	10 %	80 %	-Porcentaje de ceniza
2	40 %	10 %	50 %	-Capacidad calorífica
2	10 %	40 %	50 %	
2	10 %	10 %	80 %	

Prensado

A cada unidad experimental se le realizó un prensado con una prensa hidráulica, la cual trabaja a una presión de 2.5 bares de presión equivalentes a 2 toneladas de peso. Este proceso se realizó en un cilindro de un diámetro aproximado de 5cm con capacidad de 200 gr de mezcla, se empleó 20 minutos en cada prensado con el fin de obtener una forma definida y compacta.

Determinación del contenido de ceniza y la capacidad calorífica de las briquetas obtenidas

Se determinó la capacidad calorífica y el % de cenizas de cada mezcla para conocer la formulación más adecuada del diseño experimental, la cual maximice la capacidad calorífica y minimice el contenido de cenizas, las pruebas se realizan de acuerdo a los métodos descritos en la Tabla 1.

Análisis de Resultados

Análisis fisicoquímicos

Análisis del contenido de humedad de los residuos maderables, cáscara y vástago de plátano

La cáscara de plátano y el vástago de plátano cuentan con una humedad de 12,4 %, y 80,3 % respectivamente (ver Tabla 3), aunque la cáscara de plátano está dentro del rango permitido (10 a 25n %) reportado para biomasa por Vassilev, Baxter, Andersen, y Vassileva (2010), se hace necesario secar esta materia prima, ya que ocasionaría daños en el material, puesto que habría crecimiento de hongos, desprendería mal olor, y por lo tanto no sería viable para la elaboración de un carbón vegetal alternativo.

En cuanto al aserrín obtuvo una humedad de 51,7 %, este valor superar los límites máximos permisibles, ya que el contenido de humedad mayor del 25 % de los subproductos provoca la reducción del poder calorífico neto, de la eficiencia de combustión y de la temperatura generada, por ende, las materias primas no deben contener un % de humedad mayor al 10 %. Adicional a esto, los valores experimentales se asemejan a los valores teóricos encontrados en literatura.

Tabla 3. *Resultados análisis porcentaje de humedad de la cáscara de plátano*

Muestra	% Humedad promedio	Valor teórico	Referencias
Cáscara de plátano	12,4 %+/-0.76	9,95 %	Vassilev, Baxter, Andersen, y Vassileva (2010)
Vástago de plátano	80,3 %+/- 0.62	82,5 %	
Residuos maderables (aserrín)	20,7 % +/- 1.34	25 %	Gonzáles, Daza, Caballero, y Chadae (2016)

Análisis del contenido de ceniza de los residuos maderables, cáscara y vástago de plátano

Los residuos maderables tienen menor contenido de ceniza, con un resultado de 0,43 % (ver Tabla 4), teniendo en cuenta que, según Estevez, Squeo, Arancio y Erazo (2010), altos elementos inorgánicos pueden generar que las partículas se dispersen y se adhieran en el interior de los equipos aptos para la generación de energía y causar corrosión, por lo anterior, se tiene que un porcentaje mayor a 0,7 % causaría estas afectaciones (Obernberger & Thek, 2010).

Tabla 4. *Determinación de cenizas en las materias primas*

Muestra	% Ceniza
Cáscara de plátano	1,49 % +/-0,05
Vástago de plátano	3,0 % +/-0,05
Residuos maderables (aserrín)	0,43 %+/-0,88

Análisis de la densidad de los residuos maderables, cáscara y vástago de plátano

Algunos residuos presentan bajos valores de densidad aparente, es decir, poco peso con relación a su volumen, como es el caso del vástago de plátano y aserrín, a diferencia de la cáscara de plátano que presenta un alto valor, se debe tener en cuenta la densidad de las materias primas, ya que influiría en aspectos como el transporte, porque pocas cantidades ocuparían grandes espacios o se requeriría hacer adecuaciones de compactación.

La densidad final de una briqueta es una variable que está en función de la especie del material empleado y del proceso de producción (Mitchual et al., 2013); de esta manera, el aserrín y la corteza afectaran, así como la temperatura y presión del proceso (Krizan et al., 2014). La densidad de una briqueta previamente aglomerado varía entre 0.4 – 0.5 g/cm³ (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agriculuta [FAO], 2014).

Tabla 5. *Análisis de densidad de materias primas*

Muestra	Densidad promedio (g/cm³)	Valor teórico (g/cm³)	Referencias
Cáscara de plátano	1,11+/-0,11	1,02	Hoyos, Jaramillo, Giraldo Dufour, Sanchez, Lucas (2012)
		1,2	Agreda y Amp; García (2016)
Vástago de plátano	0,18+/-0,005	0,17	Muñoz y Molina (2007)
Aserrín	0,87+/-0,08	0,78	Rivera y Uceda (2016)

Análisis de la celulosa de los residuos maderables, cáscara y vástago de plátano

Los materiales utilizados tienen porcentajes altos de celulosa (ver Tabla 6), como lo expresan Gonzáles et al. (2016), en su investigación los materiales que se caracterizan por ser fibrosos tienen mayor cantidad de celulosa en su composición, se destaca el porcentaje obtenido para la madera, el cual tiene la mayor cantidad de celulosa.

Tabla 6. *Determinación de celulosa de las materias primas*

Muestra	Celulosa %	Valor teórico	Referencias
Cáscara de plátano	20,03 +/-0,20	16,2	Gonzales, Daza, Caballero, Chadae (2016)
Vástago de plátano	39,3 +/- 7,8	55,65	
Aserrín	46,03 +/- 1,02	38,46	

Análisis de la lignina de los residuos maderables, cáscara y vástago de plátano

Para el caso de la cáscara y vástago de plátano, la lignina corresponde 11,19 y 29,66 % respectivamente (ver Tabla 7). En el caso de la cáscara, por tener un % relativamente bajo de lignina, presenta una putrefacción de mayor rapidez, debido a que el alto contenido de lignina hace que presente rigidez y evite deterioro del material, lo que no ocurre con el vástago de plato, sin embargo, estos datos son adecuados para la elaboración de un carbón vegetal alternativo, ya que presentan esta característica necesaria, la cual facilita la adhesión de los tres productos y, además, ayudan al aumento del rendimiento del producto final (Revista Ambientum, 2002).

En el caso del aserrín se tiene un porcentaje de lignina del 37,9 %, es un dato alto debido a las características que este residuo posee, ya que es uno de los constituyentes básicos de la madera Bedia, Rosas, Marquez, Guerrero, Ruiz, Cotoruelo, Rodriguez y Corduelo (2009).

El aserrín proveniente de árboles de más de 10 años son fuente de sustancias antioxidantes y curtientes (por la presencia de taninos en los extractivos de naturaleza polar), los cuales son considerados aptos para la fabricación de pellets, postes y muebles, dado el alto contenido de lignina y extractivos, que les otorgan propiedades adhesivas, alto poder calorífico, color, olor, brillo y durabilidad natural (Leal, Juarez y Teran, 2011), los datos se ven evidenciados en la Tabla 7.

Tabla 7. *Resultados análisis porcentaje lignina de la cáscara de plátano*

Muestra	% Lignina promedio	Valor teórico	Referencias
Cáscara de plátano	11,19 % +/- 0.34	17 %	Manjarres, Castro y Rodriguez (2010)
		29,87 %	López, Cuarán, Arenas y Flórez (2014)
		8,21 %	Dormond, Rojas, Boschini, Mora y Sibaja (2011)
Vástago de plátano	29.66 +/-0,52 %	20 %	Gonzales, Daza, Caballero, Martinez (2016)
		28,3 %	Ayala, Martinez, Castro, Garcia y Delgado (2016)
		36,78 %	Manrique y Rivera (2012)
Residuos maderables (aserrín)	37,9 % +/- 2.3	44,2 %	Stoffel (2016)
		30 %	2007
		30,84 %	Leal, Juárez y Terán (2011).

Análisis de la capacidad calorífica de los residuos maderables, cáscara y vástago de plátano

El estudio de la capacidad calorífica evidencia que los residuos de plátano tienen bajo poder calorífico (ver Tabla 8), esto se da porque las propiedades extensivas de este material, como lignina y celulosa son bajas, lo cual reduce la temperatura de vaporización en términos de la capacidad para captar calor (Ramos, Aguilera y Ochoa, 2016). Por el contrario, el aserrín utilizado es un material fibroso con mayor contenido de lignina lo que ocasiona una mayor aceptación de calor y por ende mayor combustión.

Tabla 8. *Capacidad calorífica de las materias primas*

Muestra	Capacidad Calorífica(Cal/g K)
Cáscara de plátano	434,66 +/- 18,44
Vástago de plátano	247,33 +/- 10,06
Aserrín	3227 +/-12,01

Evaluación de la cáscara, vástago de plátano y residuos maderable en la elaboración el carbón vegetal

Secado

En la Figura 1 se observa la pérdida de humedad libre (variable dependiente) respecto al tiempo (variable independiente), obteniendo una línea decreciente, en la cual se presenta un periodo constante que va desde el inicio del secado hasta 400 minutos después.

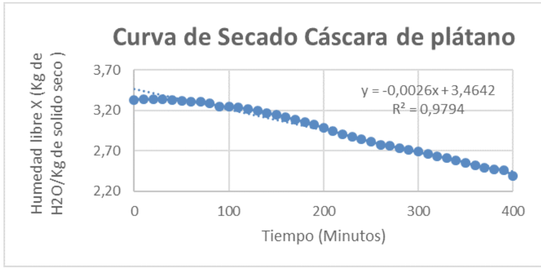


Figura 1. Pérdida de humedad libre en el secado de los residuos orgánicos con respecto al tiempo.

Tamizado de aserrín, cáscara y vástago de plátano

En la Tabla 9 se puede observar que el mayor porcentaje de aserrín, cáscara y vástago de plátano retenido luego del proceso de tamizaje corresponde al tamaño de partícula de 2 mm y 0,85 mm, con un porcentaje de 36,49 %, seguido de un 20,39 % para el aserrín, 49,26 % y 24,02 % para la cáscara de plátano y 36,49 % y 20,39 % para el vástago, siendo estos el tamaño adecuado de las partículas a emplear para la elaboración de las diferentes formulaciones.

Los tamices No. 40, 60 y fondos de las diferentes materias primas representan material muy fino para la elaboración del carbón, por lo cual ésta no será tenida en cuenta, debido a que puede fundirse fácilmente dentro del proceso de pirolisis y ocasionar mayor cantidad de hollín según con lo mencionado por Pedroza-islas y Salazar-zazueta (1999).

Tabla 9. *Tamizaje del aserrín, cáscara y vástago de plátano*

	Tamiz	Diámetro (mm)	% Peso Retenido	Clasificación
Aserrín	No.10	2	36,49	Gruesos
	No.20	0,85	20,39	

Cáscara de plátano	No.10	2	49,26	Gruesos
	No.20	0,85	24,02	
Vástago de plátano	No.10	2	37,49	Gruesos
	No.20	0,85	20,94	

Prensado

En el proceso de prensado se obtuvieron 6 briquetas compactas y de forma definida, garantizando una mejora en la apariencia del producto. De acuerdo con lo anterior, se pudo establecer que el tiempo y la presión que se utilizó en el prensado de los materiales fueron adecuadas para obtener las briquetas y que estas no pierdan su forma en el tiempo. La forma y tamaño de las briquetas fue de una altura y diámetro de 5 cm.

Determinación de ceniza y capacidad calorífica de las mezclas prensadas

El contenido de cenizas y capacidad calorífica de las formulaciones previamente realizadas se muestras en la Tabla 10. Los contenidos de ceniza de las briquetas obtenidas superaron el valor permisible, el cual corresponde a 0,7 % (Correa et al., 2014), sin embargo:

> El contenido de cenizas de un carbón vegetal varía desde 0,5 % a más del 5 %, dependiendo de la especie de las materias primas, de la cantidad de corteza de los residuos orgánicos y la cantidad de contaminación con tierra, arena u otros factores que están sometidos los subproductos. Típicamente, un pedazo de buen carbón vegetal tiene un contenido de cenizas de alrededor del 3 %. (FAO, s.f., párr. 16).

Por lo anterior, se afirma que el contenido de cenizas de los subproductos usados es apropiado para las briquetas obtenidas en esta investigación.

Con respecto a la capacidad calorífica se tiene que las briquetas oscilan entre 4.200 y 4.500 Cal/g°K, siendo una característica atractiva ambientalmente hablando, ya que reduce las emanaciones de CO_2 en un 50 % comparado con la combustión de leña o astillas. En consecuencia la combustión de briquetas contribuye a disminuir las concentraciones de dióxido de carbono (CO2), óxidos de azufre (SOx) y óxidos de nitrógeno (NOx), causantes del "efecto invernadero" y el cambio climático (Soto y Nuñez, 2008). Sin embargo, en la obtención de carbón vegetal en el proceso de pirolisis es posible que la capacidad calorífica aumente hasta aproximadamente 5092, 5 Cal/gK, superior al poder calorífico de las briquetas actualmente elaboradas

Tabla 11. *Contenido de cenizas y capacidad Calorífica de las formulaciones realizadas*

Briquetas	Contenido de Cenizas (%)	Capacidad calorífica (Cal/g°K)
1	2,24 ±0,35	3990 ± 608,11
2	3,52±1,025	3509,5±14,84
3	2,56±1,85	3525 ±106,06

Análisis estadístico

Según el análisis estadístico no existen diferencias significativas entre las formulaciones realizadas (p>0,05), sin embargo, se seleccionó la formulación 1 como la más adecuada para continuar con el proceso de carbón vegetal, ya que son las formulaciones que maximizan el poder calorífico y minimizan el contenido de ceniza (ver Tabla 12), los cuales son aspectos clave para el uso en briquetas.

Tabla 12. *Capacidad Calorífica*

Factor	**Bajo**	**Alto**	***Óptimo de Cp***	***Óptimo de % de Cenizas***
Vástago de plátano	10,0	40,0	40,0	40,0
Cáscara de plátano	10,0	40,0	10,0	10,0
Aserrín	50,0	80,0	50,0	50,0

Lo anterior indica que, se debe utilizar 40 % de vástago de plátano, 10 % de cáscara de plátano y 50 % de aserrín para obtener un carbón vegetal alternativo con bajo contenido de ceniza y alto contenido de poder calorífico.

Conclusiones

El diseño **experimental determinó que no hay diferencias significativas entre las mezclas, pero se encontró que la mezcla 1 (50 40 10) obtuvo mejores resultados en término del** porcentaje de cenizas y la capacidad calorífica.

Los residuos orgánicos utilizados en la investigación son aptos para la elaboración de un carbón vegetal alternativo, ya que cuenta con características adecuadas para ser usados como materias primas.

Referencias

Amaya, C. (2015). *Disposición de residuos industriales maderables: una estrategia empresarial ambiental para convertir costos en inversiones* (trabajo de grado). Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. Recuperado de https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/13699/TRABAJO%20DE%20GRADO%20CLAUDIA%20AMAYA%20JUN%202015.pdf;jsessionid=8ED703EC518AD51A584784B-10B91BA92?sequence=2

Correa, F., Carrillo, A., Rutiaga, J., Márquez, F., Gonzáles, H., Jurado, E., Garza, F. (2014). Contenido de humedad y sustancias inorgánicas en subproductos maderables de pino para su en pélets y briquetas. *Revista Chapingo, 20*(1), 77-88.

Dormond, H., Rojas, A., Boschini, C., Mora, G. y Sibaja, G. (2011). Evaluación preliminar de la cáscara de banano maduro como material de ensilaje, en combinación con pasto King Grass (Pennisetum purpureum) (nota técnica). *Revista Intersedes, 12*(23), 17-27.

Estevez, R., Squeo, F., Arancio, G., y Erazo, M. (2010). Producción de carbón vegetal a partir de arbustos nativos en la Región de Atacama, Chile. *Gayana Botánica, 67*(2), 213–222. doi: 10.4067/S0717-66432010000200007

Gonzáles, K., Daza, D., Caballero, P. y Chadae, G. (2016). Evaluación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel. *Luna azul, 43,* 499-517. doi: 10.17151/luaz.2016.43.21

Hoyos, J., Jaramillo, P., Giraldo, A., Dufour, D., Sánchez, T. y Lucas, J. (2012). Caracterización física, morfológica y evaluación de las curvas de empastamiento de musáceas (Musa spp.). *Acta agronómica, 61*(3), 214-229.

Leal, L., Juárez, V. y Terán, M. (2011). Composición química de la madera de Eucalyptus grandis Hill ex Maiden procedente de finca Las Maravillas, departamento de Orán, Salta. *Quebracho revista de ciencias forestales, 19*(1-2), 75-83.

López, J., Cuarán, J., Arenas, L. y Flórez, L. (2014). Usos potenciales de la cáscara de banano: Elaboración de un bioplástico. *Revista colombiana de investigaciones agroindustriales, 1*(1), 7-21. doi: http://dx.doi.org/10.23850/24220582.109

Manrique, A. y Rivera, D. (2012). *Aprovechamiento de los residuos del Pseudotallo del banano común (musa sp AAA) y del bocadillo (musa sp AAA) para la extracción de fibras textiles* (tesis de pregrado). Universidad Tecnologíca de Pereira, Pereira, Colombia. Recueprado de http://recursosbiblioteca.utp.edu.co/tesisd/textoyanexos/6284458M285.pdf

Mazzeo, M., León, L., Mejía, L., Guerrero, L. y Botero, J. (2010). Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el departamento de Caldas. *Revista educación en ingeniería, 9,* 128-139.

Melo, D., Torres-Grisales, Y., Serna, J. y Torres-Valenzuela, L. (2015). Aprovechamiento de pulpa y cáscara de plátano (*Musa paradisiaca spp*) para la obtención de maltodextrina. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial, 13*(2), 76-85. doi: 10.18684/BSAA(13)76-85

Moreno, L. (2003). *Diseño y construcción de un prototipo de máquina briquetadora para carbón vegetal, apropiada para pequeños y medianos productores* (tesis de pregrado). Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México.

Obernberger, I., & Thek, G. (2010). The pellet handbook (1st ed.). London-Washington DC: Earthscan

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2014). Bionergía y seguridad alimentaria. Evaluación rápida (BEFS RA) Manual de usuario Briquetas.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (s.f.). Uso eficiente del carbón vegetal. Recuperado de http://www.fao.org/3/X5328S/X5328S11.htm

Ramos, V., Aguilera, A. y Ochoa, E. (2016). Residuos de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca L.*) para obtener pectinas útiles en la industria alimentaria. *Revista de simulación y laboratorio, 3*(9), 22-29.

Sistemas de Información de Precios y Abastecimientos del Sector Agropecuario. (2014). El cultivo del platano (*Musa paradisiaca),* un importante alimento para el mundo. *Boletín insumos y factores asociados a la producción agropecuaria, 22,* 1-52. Recuperado de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos_factores_de_produccion_abr_2014.pdf

Soto, G. y Núñez, M. (2008). Fabricación de pellets de carbonilla, usando aserrín de *Pinus radiata* (D. Don), como material aglomerante. *Maderas, Ciencia y Tecnología, 10*(2), 129-137.

Stoffel, R. (2016). *Fraccionamiento de aserriín de pino destinado a una biorrefinería forestal* (tesis de doctorado). Universidad Nacional de La Plata, Argentina. Recuperado de https://pdfs.semanticscholar.org/14ae/743aca3c7166a63a82afd9c154238f2cb86b.pdf

Universidad Nacional de Colombia. (17 de febrero de 2011). Residuos del plátano: ganacia extra para cultivadores. *Agencia de Noticias.* Recuperado de http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/residuos-del-platano-ganancia-extra-para-cultivadores.html

Vassilev, S., Vassileva, C., Baxter, D. y Andersen, L. (2010). Relationships between chemical and mineral composition of coal and their potential applications as genetic indicators. Part 1. Chemical characteristics. *Geologica Balcanica, 39*(3), 21-41.

Bioactividad de los Aceites Esenciales de *Lippia origanoides* y *Morella pubescens* sobre *Phytophthora palmivora* en Cacao

Juliana Estefanía García Caicedo[42]
Javier Mauricio Villota Paz[43]
Julián Acosta Martínez[44]

Resumen

El *Oomycete Phytophthora* palmivora afecta al cultivo de cacao, causando pérdida de la producción, y forzando la aplicación de productos químicos. Por lo anterior, se evalúa productos amigables con el medio ambiente, que permitan establecer una producción sostenible, siendo los aceites esenciales (AE) una alternativa de gran potencial. Por lo tanto, se valoró el efecto de los AE de *Lippia origanoides* y *Morella pubescens*, los cuales fueron extraidos por arrastre con vapor; se caracterizó la presencia de los metabolitos y compuestos volátiles con GC-MS y HS-SPME-GC-MS; se evaluó la actividad biocida de los AE solos y en combinación, utilizando técnicas de cultivos enmendados y bioautografia. Se observó inhibición del crecimiento de *P. palmivora* en un 100 %, a una concentración de 225 ppm para AE de *Lippia origanoides* y 900 ppm para AE de *Morella pubescens*, obteniendo un bioinsumo en relación 4:1 respectivamente, que inhibió el crecimiento del Oomycete a 1.100 ppm, siendo sus principales componentes activos: Acetato de nerilo (34,94 %), Limoneno (10,37 %), γ- terpineno (6,04 %); y sus principales compuestos volátiles: Timol, Trans Beta Cariofileno, β- myrcene. Finalmente, se observó que el timol (RF: 0,62), ρ-cimeno (Rf de 0.34) para AE de lippia oreganoides y Trans- β- cariofileno (Rf de 0.64) para AE de *Morella pubescens* son los componentes activos con capacidad de inhibición del 100 %. Se concluyó que estos AE poseen potencial para el desarrollo de un producto biorracional.

Palabras clave: aceite esencial, bioinsumo, Lippia origanoides H.B.K, *Morella pubescens*, *Phytophthora palmivora*.

[42] Programa de Ingeniería de Procesos, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: juligarciaec@gmail.com

[43] Programa de Ingeniería de Procesos, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: javivillota@umariana.edu.co

[44] Programa de Ingeniería de Procesos, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: jacosta@umariana.edu.co

Bioactivity of Essential Oils of *Lippia origanoides* and *Morella pubescens* on *Phytophthora palmivora* on Cocoa

Abstract

The *Oomycete Phytophthora* palmivora affects the cocoa crop causing partial or total loss of production, and forcing the indiscriminate application of chemical products. Therefore, new products that interact amicably with the environment and allow establishing a sustainable production, where essential oils (AE) have a great potential, are evaluated. Hence, the effect of AE of *Lippia origanoides* and *Morella pubescens* was assessed, which were extracted by steam dragging; the presence of metabolites and volatile compounds was characterized with GC-MS and HS-SPME-GC-MS; the biocidal activity of the AE alone and in combination using modified crop techniques and bioautography was also assessed. Inhibition of the grow-

th of *P. palmivora* was observed in 100% at a concentration of 225 ppm for AE of Lippia origanoides and 900 ppm for AE of Morella pubescens. From this, it was obtained a bioinsumo in relation 4:1 respectively, which inhibited the growth of Oomycete at a concentration of 1,100 ppm, being its main active components: Nitile acetate (34.94%), Limonene (10.37%) , γ-terpinene (6.04%); and the main volatile compounds: Thymol, Trans Beta, Caryophyllene, β-myrcene. Finally, it was observed that thymol (RF: 0.62), ρ-cymene (Rf of 0.34) for AE of lippia oreganoides and Trans-β-caryophyllene (Rf 0.64) for AE of *Morella pubescens* are the active components with 100% inhibition capacity, concluding that this type of AE has potential for the development of a biorational product.

Key words: essential oil, bioinsumo, *Lippia origanoides* H.B.K, *Morella pubescens*, *Phytophthora palmivora*.

Bioatividade dos Óleos Essenciais de *Lippia origanoides* e *Morella pubescens* sobre *Phytophthora palmivora* em cacau

Resumo

A *Oomycete Phytophthora palmivora* afeta a cultivo do cacau, causando perda parcial ou total da produção, forçando a aplicação indiscriminada de produtos químicos. Portanto, são avaliados novos produtos que interagem amigavelmente com o meio ambiente e permitem estabelecer uma produção sustentável, onde os óleos essenciais (AE) possuem um grande potencial. Assim, foi avaliado o efeito de EA de *Lippia origanoides* e *Morella pubescens*, que foram extraídos por arraste a vapor; a presença de metabólitos e compostos voláteis foi caracterizada com GC-MS e HS-SPME-GC-MS; a atividade biocida do EA sozinho e em combinação usando técnicas de cultivo modificadas e bioautografia também foi avaliada. A inibição do crescimento de P. palmivora foi observada em 100% na concentração de 225 ppm para EA de *Lippia origanoides* e 900 ppm para EA de *Morella pubescens*. A partir disso, obteve-se um bioinsumo em relação a 4: 1, respectivamente, que inibiu o crescimento de Oomycete na concentração de 1.100 ppm, sendo seus principais componentes ativos: acetato de nitrila (34,94%), limoneno (10,37%), γ-terpineno (6,04%); e os principais compostos voláteis: timol, trans beta, cariofileno, β-mirceno. Finalmente, observou-se que o timol (RF: 0,62), ρ-cimeno (Rf de 0,34) para AE de oréganoides lippia e Trans-β-cariofileno (Rf 0,64) para AE de *Morella pubescens* são os componentes ativos com capacidade de inibição de 100, concluindo que este tipo de AE tem potencial para o desenvolvimento de um produto bioracional.

Palavras-chave: óleo essencial, bioinsumo, *Lippia origanoides* H.B.K, *Morella pubescens*, *Phytophthora palmivora*.

Introducción

En el departamento de Nariño, el cultivo del cacao ha tomado gran importancia, puesto que en la actualidad este se posiciona entre los cuatro primeros departamentos en la producción de este fruto en Colombia, con 3.337 toneladas de grano seco al año (Navia 2010), además, es una alternativa en cuanto a actividades ocupacionales y económicas más importantes para los agricultores, ya que este fruto ha permitido que habitantes de las poblaciones más violentas se dediquen a sembrar, cultivar y secar el cacao, dejando así otras actividades delictivas, de esta manera, se genera " empleo tanto directo como indirecto, pues se calcula que en la fase de desarrollo y sostenimiento por cada tres hectáreas se genera un empleo rural permanente" (Ministerio de Agricultura y Federación Nacional de Cafeteres [FEDECACAO], 2013, p. 12). Nariño cuenta con beneficios en factores, como las propiedades de los suelos, lo cual tiene impacto positivo en las producciones de la calidad de los cultivos. Sin embargo, los productores tienen grandes pérdidas económicas, causadas por enfermedades que atacan continuamente los cultivos de cacao, entre las de mayor severidad se encuentra la denominada: ''mazorca negra'' la cual es originada por el Oomycete *Phytophthora palmivora*, en la actualidad dicha enfermedad es controlada con tratamientos químicos, tales como el Metalaxil (Anasac, 2017), no obstante, estos químicos dañan a los suelos y los ríos, y pueden ser de gran afectación para la salud de los cultivadores.

Con base en lo anterior, se han buscado soluciones para combatir las enfermedades presentes en estos cultivos, siendo una alternativa efectiva

el uso de aceites esenciales extraídos de material vegetal por sus propiedades antifúngicas, antibacterianas y antioxidantes (Baydar, Sagdic, Ozkan &Karadogan, 2004). Por otro lado, se busca el aprovechamiento de plantas promisorias del departamento de Nariño, como el orégano de monte (*Lippia origanoides* H.B.K) y el laurel de cera (*Morella pubescens*). Finalmente, el principal objetivo de la presente investigación es evaluar un bioinsumo para el control de *Phytophthora palmivora* a nivel de laboratorio, elaborado a partir de la extracción de aceites esenciales por arrastre con vapor de AE *Morella pubescens* y Lippia Origanoides, utilizando métodos como arrastre con vapor, cultivos enmendados y bioautografia, además de analizar los principales componentes de inhibición por cromatografía de gases acoplada a masas GC- MS y volátiles HS-SPME-GC-MS.

Métodos

Área de estudio

La investigación se realizó en los laboratorios de operaciones unitarias y microbiología de la Universidad Mariana, en el Laboratorio especializado GRISAV (Grupo de Investigación Sanidad Vegetal) y en laboratorio de ingeniería en producción acuícola de la Universidad de Nariño, ubicados en el municipio de San Juan de Pasto. La recolección del material vegetal como *Morella pubescens* se realizó en la vereda El Palmar del municipio de Buesaco-Nariño, con coordenadas geográficas 1°17'40.1"N 77°14'07.5"W, y para *Lippia origanoides* H.B.K en el corregimiento el Remolino Panamericano, con coordenadas geográficas 1°40'26.9"N 77°19'50.6"W. Finalmente, la recolección de muestras de mazorcas de cacao infectadas con el patógeno *Phytophthora palmivora* se llevó a cabo en la vereda de Guambanga del municipio del Peñol-Nariño.

Recolección de plantas *Morella pubescens* y *Lippia origanoides* H.B.K

Para la recolección de hojas de las plantas se tuvo en cuenta que las hojas estén frescas y en buen estado, es decir, sin alteración en su color y sin materia extraña (Arango, Hurtado, Castillo y Santacruz, 2009). Una vez recolectado el material vegetal, se sometió a un proceso de secado natural a sombra, en un lugar aireado sobre una superficie de 2 m por 1.8 m, por un tiempo de 8 días, a una temperatura ambiente de 18 °C y una humedad relativa del 71 % Vargas (2008). Finalmente, se empacó en bolsas plásticas negras para su transporte.

Extracción de aceites esenciales

La obtención de los de AE del material vegetal *Morella pubescens* y *Lippia origanoides* H.B.K, se realizó por extracción con arrastre de vapor, se empleó un extractor multipropósito marca FIQ. Para AE de *Morella pubescens* se utilizó 1.894 gramos de material seco, (Granados, 2013), y para la extracción de AE de *Lippia origanoides* H.B.K se utilizó 5.000 gramos, obteniendo una densidad de lecho de 0.031 g/ml y 0.083 g/ml respectivamente.

Para la extracción de AE de *Lippia origanoides* H.B.K, se tuvo en cuenta variables un tiempo de 2 horas y una presión de 2 psi, las consideraciones ambientales fueron 19.7 °C y 62 % de humedad relativa, teniendo una temperatura promedio en el extractor de 95°C. Para AE de *Morella pubescens* se consideró un tamaño de partícula 0.446 mm y un tiempo de 180 minutos (Arango et al., 2009). El rendimiento de la extracción se determinó mediante la ecuación 1:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{g material en la salida x100}}{\text{g material en la entrada}}$$

Los AE extraídos de cada muestra vegetal se almacenaron en envases ámbar y se refrigeraron a una temperatura de 4 °C

Análisis de los componentes de los AE y del bioinsumo desarrollado por GC- MS

El análisis cromatográfico y la identificación de los componentes presentes en los AE fueron realizados con un cromatógrafo de gases acoplado con espectrómetro de masas (GC/MS) SHIMADZU GC17A (Zaruma et al., 2014). La identificación se realizó por comparación de los tiempos de retención de muestra estándares.

Aislamiento de *Phytophthora palmivora* a nivel de laboratorio

La selección de mazorcas infectada se realizó por identificación de características macroscoscopicas de la enfermedad mazorca negra, teniendo en cuenta síntomas presentados en el fruto, tales como las manchas color café oscuro que comienza por los extremos de la mazorca, desde adentro hasta afuera del fruto (Pérez, Peñaranda y Herazo, 2010). Se purificó la muestra por inmersión en etanol e hipoclorito de sodio, finalmente se realizó la siembra teniendo en cuenta la evaluación de tres medios de cultivo, agar zanahoria, agar PDA, y agar avena más cacao, considerando para la selección del medio el mejor crecimiento para *Phytophthora palmivora* al octavo día, bajo una temperatura de 25 °C (Oluyemi, Olubisi, Bunmi & Francis, 2014).

Evaluación del efecto inhibitorio de los AE de *Morella pubescens*, *Lippia origanoides* H.B.K y del bioinsumo por método de cultivos enmendados

Se evaluó la capacidad de inhibir el crecimiento de *Phytophthora palmivora* por medio del crecimiento radial con discos, 1.1 cm de diámetro de micelio (Álvarez, Salazar, Hurtado, Delgado y Arango, 2011), obtenido de sacabocado de placas con agar avena cacao que contengan un cultivo del patógeno (Elsherbiny, Saad, Gouda & El-Sheshtawi, 2015), los cuales fueron organizados en cajas Petri con agar avena cacao reformado, con concentraciones de 10, 100, 1.000,10.000 ppm de cada aceite esencial y tween 20, en una relación 1:1. La unidad experimental consistió en una caja Petri con 4 repeticiones y por triplicado, teniendo en cuenta la comparación con un tratamiento absoluto y un tratamiento químico (Metalaxil). Cada unidad experimental fue evaluada mediante el programa Imagej®, después de un periodo de incubación de 8 días, para su posterior análisis en el programa estadístico Infostat versión estudiantil 2012. Se evaluó las concentraciones mínimas de inhibición CMI de cada tratamiento.

Desarrollo de un bioinsumo a partir de aceites esenciales extraídos

Se evaluó la concentración mínima de inhibición del AE de *Morella pubescens* y *Lippia origanoides* H.B.K, determinando el porcentaje de cada uno en mezcla. (Mohammadi 2016).

$$Rf = \frac{\text{Distancia recorrida por el compuesto (X)}}{\text{Distancia recorrida por el eluyente (Y)}}$$

Finalmente, se cubrieron las cajas Petri con una fina capa de medio de cultivo agar avena cacao y se realizó el inoculo de p. palmivora, mediante una solución de hifas del patógeno obtenidas por raspado superficial en mezcla con agua estéril, que se aplicó por aspersión mediante un pulverizador de reactivos de vidrio de capacidad de 250 cm3 (Peneda et al., 2005), se realizó con anterioridad un conteo de esporas mediante la cámara de Nuebauer. Las cajas Petri se incubaron a una a una temperatura de 20 °C durante 8 días.

Evaluación de los volátiles del bioinsumo desarrollado a través de HS-SPME-GC-MS

Se empleó un Holder marca Supelco® y se llenó 5 ml del bioinsumo a evaluar en un vidrio vial de capacidad de 20 cm3, el cual fue sellado (You, Zhang, Feng, Wang & Kong, 2015). Para SPME se insertó la fibra PDMS (red) marca Supelco® en el espacio de cabeza del vial, durante un tiempo apropiado de 25 min (Dawidowicz, Szewczyk & Dybowski, 2015). Finalmente, se insertó el Holder con la fibra en el puerto de un cromatógrafo de gases acoplado a masas GCMS (Gonzáles-Zuñiga, Gonzáles, H., Gonzáles-Palomares, Rosales-Reyes y Andrade-Gonzáles, 2011).

Para la fase estacionaria de 1 mm, se adaptó el tamaño de las placas de TLC (4) a las dimensiones de 60 mm con 20 mm y se las dispuso en cajas petri (Sridhar, 2003), las cuales se introdujeron por 20 minutos en un beaker de 100 ml, el cual se llenó por la mezcla de disolventes de acetato de etilo con tolueno en una relación 9:1 v/v (Sridhar, 2003) para AE *Lippia origanoides* H.B.K, y para AE de *Morella pubescens* se utilizó como fase móvil diclorometano: hexano, en una relación 9:1 v/v (Medina y López, 2003).

Evaluación del efecto inhibitorio del bioinsumo por el Método de Bioautografia

Se realizó cromatografía de capa fina (CCD) para cada AE, haciendo uso de placas TLC Merk® Silica gel 60 F254. Se revelaron las placas mediante una lámpara de luz UV marca Merck® con longitud de onda de 254 nm, teniendo en cuenta señalar con un portaminas 0.5, las líneas de contorno que aparezcan en ellas. Se realizó la identificación de los componentes mediante la comparación de la relación entre las distancias recorridas por el soluto y por el eluyente desde el origen de la placa. Para los valores Rf de cada componente se hizo uso de la ecuación 2.

Resultados

Aislamiento de las características microscópicas de *P. palmivora*

El patógeno aislado se caracterizó por presentar micelio cenocítico algodonoso de color blanco, este micelio se mostró delgado, y tuvo un crecimiento óptimo al extenderse por toda la caja petri alrededor de siete días, donde se evaluó tres medios de cultivo: agar PDA, agar avena cacao y agar zanahoria, evidenciando que, el crecimiento óptimo de las cepas de P. palmivora se da en medio de cultivo de agar avena más cacao, el cual proporciona nutrientes similares al cultivo en campo. Por otro lado, en el reconocimiento microscópico del Oomycete se logró distinguir la formación de la estructura somática o micelio, el cual está formado por hifas que tuvieron un reconocieron para P. palmivora de manera alargada, delgada y ramificada, como se observa en la Figura 1 apartado A y B. Las esporas asexuales o esporangios son de forma esférica y elipsoide, como se observa en la Figura 1 apartado C, dentro de estos se encuentran las zoosporas.

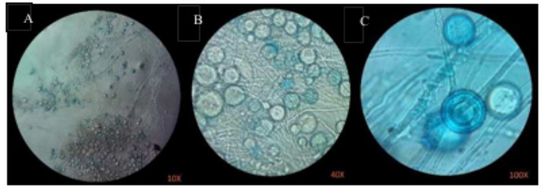


Figura 1. Reconocimiento Microscópico. A) Fotografía microscópica en 10X, Reconocimiento de hifas; B) Fotografía microscópica en 40X, Reconocimiento de hifas con esporangios; C) fotografía microscópica en 100X, reconocimiento de esporangios.

En todos los medios de cultivo y aislamientos de Phytophthora, el micelio fue delicado con consistencia acuosa, situación que hizo más difícil su aislamiento y recuperación, pero permitió diferenciarlo de otros microorganismos. Finalmente, el reconocimiento se realizó microscópicamente, encontrando que las esporas asexuales o esporangios son de forma esférica y elipsoide, como se observa en la Figura 1 apartado C, dentro de estos se encuentran los zoosporas; según Jamarillo (2003) “un esporangio para esta especie pueden liberar hasta 36 zoosporas” (p. 11). Los esporangios obtenidos según la investigación realizada por Martínez, Sarria, Torres y Varón (2010), presentan valores “entre 25 - 50 µm de ancho X 37,5 - 62,5 µm de largo, con promedios de 37,12 X 52,8 µm y una relación largo ancho de 1:4 para *Phytophthora palmivora*” (p. 339).

Extracción y análisis cromatografico de AE de *Morella pubescens*, AE de *Lippia origanoides* H.B.K

De la extracción del aceite esencial de Laurel de cera resulto 2,6 ml aproximadamente, teniendo en cuenta una densidad de 0,927 g/ml, obteniendo un rendimiento de 0,068 %, resultado que se considera bajo, ya que es un factor que altera la alta densidad y la composición del aceite extraído, dado que se comporta como cera y dificulta su recuperación. Otros factores de influencia, según Arango et al. (2009), son el tamaño de partícula del material vegetal, la densidad de lecho, y el tiempo de extracción. Con base en lo anterior, se determinó que la variable de mayor influencia fue la baja densidad de lecho, la cual para la investigación desarrollada fue de 0,058 g/ml, mientras que en el estudio de Arango et al. (2009) fue de 0,167 g/ml, obteniendo mayor rendimiento en la extracción, estudio que determinó que los principales factores que inciden para esta variable de respuesta es el tiempo de interacción y el tamaño de partícula (Arango, et al., 2009).

Se concluye que el tiempo de extracciónfue es de 180 minutos y el tamaño de partícula es aproximadamente de 0,446 mm, aplicando principio de la trasferencia de masa, es decir, entre más pequeña sea la partícula mayor incremento de la superficie del material y, por tanto, mayor contacto con la fase de vapor y el material vegetal, logrando un aumento significativo sobre el área del perfil cromatografico (Castillo y Santacruz, 2010). Los

componentes presentes en el AE de de Laurel de cera se consideraron por el % de área representativa y el tiempo de retención de la muestra, como se indica en la Tabla 1. Lo cual se contrasta con la investigación realizada por Castillo y Santacruz (2010), en donde el estudio comparativo de metabolitos secundarios volátiles fueron "Trans-cariofileno (20,62 %), α- Selineno (12,10 %) y β- Selineno (11,99 %)".

Tabla 1. *Datos de análisis cromatográfico de Morella pubencens*

No. Pico	Tiempo de retención	Cantidad Relativa %	Compuesto
23	30,768	8,91	Trans- cariofileno
19	30,273	8,15	α- Selineno
24	30,881	7,80	α- bergamoteno
13	28,901	7,66	α- muuroleno
12	28,596	5,88	α- humuleno
21	30,536	5,18	Sesquifelandreno
5	25,263	5,26	Geranil acetato

En la extracción de AE de orégano de monte se obtuvo 85 ml, con un rendimiento de la extracción calculado de 1,45 %, lo cual se contrasta con el estudio de Pérez (2010) en sus rangos establecidos, los cuales son: 0,5- 2 %, y con el estudo realizado por Daza et al. (2011), en donde obtuvieron un rendimiento de 3,27 % p/p al realizar la extracción de aceite esencial, bajo las siguientes condiciones de operación: tiempo de 2 horas, densidad de lecho de 80 g/l y presión de vapor de 0,32 psi, de lo cual se dedujo que el factor que influyó en el rendimiento de la extracción es la presión de vapor, puesto que hay una diferencia de 1,68 psi.

La obtención de este aceite esencial tuvo color amarillo y una densidad de 0,86 g/ml y el análisis cromatografíco arrojo la composición orgánica (ver Tabla 2). Los resultados del análisis de los compuestos activos presentes en el extracto se pueden aproximar con los resultados encontrados por Stashenko et al. (2010), en su investigación comparativa de metabolitos secundarios volátiles fueron timol (56 %), ρ-cimeno (13 %) y 1,8 cineol (9 %), de igual manera, en el estudio realizado por Figueroa y Ruano (2013), encontramos que de la extracción realizada de arrastre por vapor el compuesto mayoritario presente del aceite de orégano de monte es el timol (83 %), seguido de ρ-cimeno (5,5 %), β- mirceno (3 %), γ-terpineno (2,5 %).

Tabla 2. *Datos de análisis Cromatográfíco de orégano de monte*

No. Pico	Tiempo de retención	Cantidad relativa	Compuesto
3	10,665	5,21	B-mirceno
4	11,255	1,60	α-terpineno
5	11,460	12,88	β-cimeno
6	11,510	1,35	l-limoneno
7	11,580	2,89	1,8-cineol
8	12,155	3,61	γ- terpineno
9	13,030	0,92	Linalool
11	15,370	1,08	Timol metil éter
12	16,620	57,91	Timol
13	16,700	0,59	Carvacrol

Evaluación del efecto inhibitorio de los aceites esenciales de *Lippia origanoides* H.B.K y *Morella pubescens* frente a *Phytophthora palmivora*

Para AE de *Morella pubescens* se obtuvieron diferencias estadísticas entre los tratamientos de 10, 100 y testigo absoluto, con los tratamientos de 1.000, 10.000 y testigo químico, comprobando mediante test Tukey, con un R2 de 0,99; además, se puede observar que el Tween-20 no presentó efecto como inhibidor del crecimiento del patógeno, por el contrario, el testigo químico metalaxil inhibió completamente el crecimiento del patógeno a partir de la mínima concentración. Obteniendo como resultado que la concentración mínima de inhibición (inhibición del 100 %) para este tratamiento es de 900 ppm, según análisis Tukey y de varianzas con un R2 de 0,93, encontrando similitud en los datos estadísticos para los tratamientos de 200, 400, 600 ppm y el testigo absoluto, mientras que entre 800 y 900 ppm hay diferencias estadísticas (ver Figura 2). Lo anterior se atribuye a los compuestos activos presentes en el mismo extracto, donde entre los principales compuestos están: Trans- cariofileno (8,91 %) y α- Selineno (8,15 %), los cuales por sus propiedades tienen alta actividad antibacteriana y antimicótica (Figueroa y Ruano, 2013).

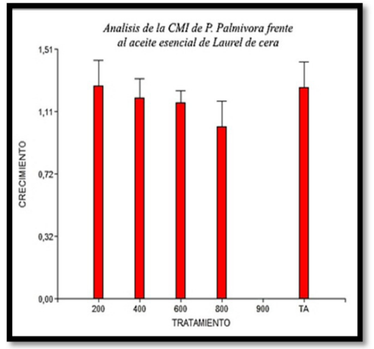


Figura 2. Diagrama de barras de CMI de AE de Laurel de cera.

Con el AE de orégano, la acción inhibidora fue evidente ya que se redujeron los porcentajes de crecimiento micelial de *Phytophthora palmivora* con el aumento de las concentraciones evaluadas, donde a 100 ppm tuvo un comportamiento en el crecimiento similar al testigo absoluto y desde 1.000 a 10.000 ppm, el crecimiento se comportó como el testigo químico. Se determinó la mínima concentración de inhibición a través de un test Tukey y un análisis de varianza, teniendo en cuenta un R2 de 0.97 (ver Tabla 3), observando que no existen diferencias estadísticas para los tratamientos 225, 250, 275, 300 y 500 ppm, estableciendo CMI de 225 ppm. Lo cual se evidencia en el estudio de Arango et al. (2009), en el cual, la evaluación del aceite de orégano de monte frente a *Phytophthora Infestans* tuvo un crecimiento promedio de 35,95 % respecto al crecimiento del testigo absoluto; en las cajas con Ridomil el crecimiento medio fue de 14,28 % y en las cajas con Tween-20 fue 87,37 %, lo que indica que este último no presentó inhibición sobre la *P. infestans* y que la inhibición observada en los ensayos con aceite esencial de orégano se debe únicamente a la acción de sus componentes. Se encontró la CMI a 225 ppm, que equivale, en el caso de esta investigación, a 4,5 µL/ml. Esto se puede contrastar con lo propuesto por Arango et al. (2009), quienes en su estuido establecieron que para inhibir el patógeno *P. infestans* en un 100 % es necesario agregar de 150 a 250 µg/ml.

Tabla 3. *Análisis de la varianza CMI aceite esencial de orégano*

Tratamiento	Medias	Clasificación
250	0,0041	A
300	0,01	A
500	0,02	A
275	0,02	A
225	0,02	A
200	0,41	B
150	0,99	C
175	1,05	C
Tratamiento Absoluto	1,35	D
125	1,38	D

Desarrollo, análisis cromatografíco y evaluación de inhibición de un bioinsumo a partir de AE *Lippia origanoides* H.B.K y *Morella pubescens*

Para el desarrollo del bioinsumo a partir de los aceites esenciales se tuvo en cuenta la CMI de cada AE (*Lippia oreganoides* 225 ppm, *Morella pubescens* 900 ppm), que en mezcla suma una concentración de 1125 ppm, obteniendo así una relación 4:1/ Laurel de cera: Orégano de monte, con-

siderando que tenga una inhibición del 100 % de *P. palmivora*, y que los componentes sean completamente miscibles.

Dentro de la identificación de los componentes activos presentes en el bioinsumo, los compuestos mayoritarios encontrados son: Acetato de nerilo (34,94 %), Limoneno (10,37 %), γ- terpineno (6,04%), felaldreno (5,49%), β- ionona (5,10%), Trans cariofileno (2,66%). Entre los principales compuestos activos se encuentra el acetato de nerilo, un éster terpénico que caracteriza su quimiotipo y que es poco usual en el resto de aceites esenciales responsables de la actividad inhibitoria más potente conocida en un aceite esencial, a día de hoy (aromatraining, 2016). Otro compuesto que presenta el producto desarrollado es el Lemoneno (10,37 %), compuesto presente en el AE de orégano de monte con 1,35 %, pronunciándose la concentración en el producto final en un 8,99 %. Cabe resaltar que, entre la composición del bioinsumo desarrollado se encuentran compuestos aromáticos con propiedades de inhibición y alta concentración en los aceites que lo conforman, tales como: Trans Cariofileno, Linanool, y Timol.

En la evaluación de inhibición del bioinsumo desarrollado frente al fitopatogeno se obtuvieron diferencias estadísticas entre los tratamientos de 1.000, 2.000 ppm, testigo químico con los tratamientos de 500 ppm y testigo absoluto, al igual que con los tratamientos de 100 ppm y testigo absoluto, comprobado mediante test Tukey, con un R2 de 0,99, donde el bioinsumo presenta acción inhibitoria en un rango de 1.000 a 2.000 ppm, reduciendo los porcentajes de crecimiento micelial de fitopatógeno y encontrando una CMI de 1.100 ppm, según análisis tukey y de varianzas con un R2 de 0,95 (ver Tabla 4).

Tabla 4. *Análisis de la varianza CMI bioinsumo desarrollado*

Tratamiento	Medias	Clasificación
1100	0,01	A
1150	0,02	A
1200	0,02	A
1500	0,02	A
Tratamiento Absoluto	1,10	B

Se concluyó que los componentes mayoritarios encontrados en el aceite esencial de orégano de monte son timol, ρ-cimeno, β-mirceno, γ-terpineno y trans-cariofileno, se obtuvo una CMI de 225 ppm. Los componentes mayoritarios para el aceite de Morella pubescens son: Trans- cariofileno, α- Selineno, α- bergamoteno, α- muuroleno, α- humuleno y Geranil acetato; teniendo una CMI de 900 ppm. Se buscó que la mezcla conserve estos compuestos activos, que en su mayoría son compuestos aromáticos, sin embargo, el rango de inhibición del patógeno en un 100 % aumento hasta las 20.00 ppm para el bioinsumo desarrollado, esto puede ser por alguna interferencia entre las interrelaciones de los compuestos en mezcla.

Fraccionamiento de los aceites esenciales de *Lippia origanoides* H.B.K y *Morella pubescens* mediante bioautografia

Para la separación de los componentes en AE de orégano de monte, se obtuvo dos componentes: el componente A y componente B, los cuales se contrastaron según el estudio realizado por Figueroa y Ruano (2013), quienes verificaron los resultados mediante la comparación con un estándar comercial de Timol T0501 SIGMA, encontrando similitudes en los factores de retención (Rf) de 0,62 en la fracción número 3 frente al Rf del estándar comercial de timol 0,61. Con base en los factores de retención mencionados se realizó la identificación de los componentes en el aceite de orégano de monte, obteniendo un Rf de 0,61 para el timol, siendo este el componente mayoritario, seguido por el componente B con un Rf de 0,34, identificado como ρ-cimeno. Estos se evaluaron transcurrido los 8 días, en donde se pudo evidenciar que el crecimiento en las cajas no fue uniforme en varios lugares cerca de la placa, logrando una inhibición en los puntos donde se encontraban los componentes identificados en el aceite esencial de *Lippia Oreganoides.* El crecimiento del micelio del fitopatogeno se detiene por completo, según Álvarez et al. (2011), esto se debe a que los metabolitos compuestos se formaron en las rutas de obtención de metabolitos primarios y procesos bioquímicos, ayudados por cadenas provenientes de oxidación que han demostrado tener una fuerte actividad antibacteriana y antifúngica.

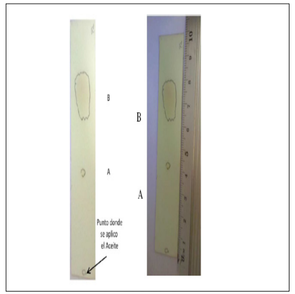


Figura 3. Cromatografía en capa fina para aceite de *Lippia Origanoides*

Para la identificación de las fracciones encontradas para el AE de *Morella pubescens* se encontró el coeficiente de partición (Rf) de 0,64, siendo identificado como β- cariofileno o Trans cariofileno según investigaciones similares. (Elsherbiny et al., 2015). Se logró concluir que el AE de Laurel de Cera detiene completamente el crecimiento del micelio de *P. Palmivora* en el componente Trans carifileno (8,91 %), identificado por el análisis de cromatografía en capa fina al transcurso de 8 días, a una temperatura de 20 °C y sin exposición a la luz. En comparación con las fracciones encontradas en el estudio Elsherbiny et al. (2015) se evidencia que estas se controlaron por TLC, hasta obtener una sola mancha, indicando que las fracciones C3B2 y C3B4 mostraron una banda única con valores de Rf de 0,36 y 0,64, respectivamente, teniendo una identificación de C3B2 ácido miristico y C3B4 β- cariofileno o Trans cariofileno.

Análisis cromatografíco y HS-SPME-GC-MS del bioinsumo desarrollado

La identificación de los componentes volátiles presentes en el bioinsumo arrojó los siguientes compuestos, en su mayoría aromáticos y fenoles, que en orden son: Timol, Trans Beta Cariofileno, β- myrcene, α-selinene, Humulen, α- Terpinene, β- myrcene, 1-(1,5 – Dimethyl-4-hexeny-4- methyl, los cuales por sus propiedades antioxidantes y por atrapar fenoles tienen alta capacidad de inhibir al fitopatogeno *P. Palmivora* (Celis, 2017). La inhibición de *P. palmivora* por este compuesto se debe al atrapamiento radicalario, debido a su composición fenólica, teniendo una citotoxicidad nula (Celis, 2007); el autor en su investigación contrasta la información y concluye que compuestos como el Trans Carifileno tiene un amplio espectro de actividad biológica y alto poder antioxidante al igual el timol.

Conclusión

Se observó Inhibición del crecimiento de *P. palmivora* en un 100 % a una concentración de 225 ppm para AE de *Lippia origanoides* y 900 ppm para AE de *Morella pubescens*, obteniendo un bioinsumo en mezcla de estos en relación 4:1 respectivamente, que Inhibió el crecimiento del Oomycete a una concentración de 1.100 ppm, siendo sus principales componentes activos: Acetato de nerilo (34,94 %), Limoneno (10,37 %), γ- terpineno (6,04 %); y sus principales compuestos volátiles, Timol, Trans Beta Cariofileno, β- myrcene. Se observó que el timol (RF: 0,62), p-cimeno (Rf de 0,34) para AE de lippia oreganoides y Trans- β- cariofileno (Rf de 0,64) para AE de *Morella pubescens* son los componentes activos con capacidad de inhibición del 100 %. Estos AE poseen potencial para el desarrollo de un producto biorracional, evaluados solo o en mezcla.

Referencias

Álvarez, D., Salazar, C., Hurtado, A., Delgado, D. y Arango, O. (2011). Sensibilidad in vitro de Phytophthora infestans al extracto de fique (furcraea gigantea vent.) y fungicidas sistémicos. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial, 9*(2), 96-104.

Arango, O., Hurtado, A., Castillo, P. y Santacruz, M. (2009). Estudio de las condiciones de extracción por arrastre con vapor del aceite esencial de laurel de Cera (Morella pubescens). *Biotecnología en el sector agropecuerio y agroindustrial, 7*(2), 40-48.

Baydar, H., Sagdic, O., Ozkan, G. & Karadogan, T. (2004). Antibacterial activity and composition of essential oils from *Origanum, Thymbra* and *Satureja* species with commercial importance in Turkey. *Food control, 15*(3), 169-172. doi: 10.1016/S0956-7135(03)00028-8

Castillo, P. y Santacruz, M. (2010). Extracción, caracterización y purificación de aceites esenciales de las hojas de Laurel de cera (Morella Pubencens) y Romero (Rosmarinus Officinalis) como alternativa de desarrollo agroindustrial para el departamento de Nariño. Universidad de Nariño. Recuperado de http://pifil.udenar.edu.co/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/82_T49.PDF

Cerpa, M. (2007). *Hidrodestilacion de aceites esenciales: Modelado y caracterización* (tesis doctroral). Universidad de Valladolid. España.

Dawindowicz, A., Szewczyk, J. & Dybowski, M. (2015). Modified application of HS- SPME for quality evaluation of essential oil plant materials. *Talanta, 146,* 195-202. doi:10.1016/j.talanta.2015.08.043

Dostert, N., Roque, J., Cano, A., La Torre, M. y Weignd, M. (2011). *Hoja botánica: Cacao, Theobroma cacao L.* (Trad. F. Luebert). Lima, Perú.

Elsherbiny, A., Saad, A., Gouda, M. & El-Sheshtawi, M. (2015). Efficiency assessment of the antifungal metabolites from Sclerotium cepivorum against onion white rot disease. *European journal of plant pathology, 142*, 843-854. doi: 10.1007/s10658-015-0656-1

Figueroa, L. y Ruano, O. (2013). *Evaluación de la sensibilidad del patógeno Rhizoctonia solani Aislado de papa (Solanum tuberosum L.) Frente al aceite esencial de Orégano silvestre Lippia origanoides H.B.K, y Determinación de la fracción más activa a nivel in vitro* (tesis de pregrado). Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia. Recuperado de http://biblioteca.udenar.edu.co:8085/atenea/biblioteca/89673.pdf

Gonzáles-Zuñiga, J., Gonzáles-Sánchez, H., Gonzáles-Palomares, S., Rosales-Reyes, T. y Andrade-Gonzáles, I. (2011). Microextracción en fase sólida de compuestos volátiles en albahaca (*Ocimum basilicum L.*). *Acta universitaria, 21*(1), 17-22.

Jaramillo, S. (2003). *Monografia sobre Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Martínes, G., Sarria, G., Torres, G. y Varón, F. (2010). Phytophthora palmivora es el agente causal de la pudrición del cogollo de la palma de aceite. Palmas, 31, 334-344.

Medina, A. y López, D. (2003). Caracterización química de los principales componenetes de la Cera de Laurel (Myrica pubescens H.B.K) que se cultiva en el departamento de Nariño, 2003. Universidad de Nariño. Recuperado de http://pifil.udenar.edu.co/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/52_QUIMICA2003-1.PDF

Ministerio de Agricultura y Federación Nacional de Cacaoteros. (2013). Guía ambiental para el cultivo del cacao (2. a ed.). Recuperdo de https://www.fedecacao.com.co/site/images/recourses/pub_doctecnicos/fedecacao-pub-doc_05B.pdf

Mohammadi, M. & Rohloff, J. (2016). Antibiofilm activity of essential oils and plant extracts against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* biofilms. *Food Control, 61,* 156-164. doi: 10.1016/j.foodcont.2015.09.036

Navia, F. (2010). Mejoramiento de la productividad y calidad sensorial (aroma y sabor) del cacao regional del departamento de Nariño (proyecto de investigación). Universidad de Nariño. Recuperado de https://docplayer.es/36636192-Mejoramiento-de-la-productividad-y-calidad-sensorial-aroma-y-sabor-del-cacao-regional-del-departamento-de-narino.html

Oluyemi, B., Olubisi, A., Bunmi, A. & Francis, O. (2014). Identification of *Phytophthora* species on cocoa Pods and pod Husks using three culture media. *Pakistan journal of scientific and industrial research, 57*(2), 81-85.

Pérez, M., Peñaranda, L., Herazo, M. (2010). *Impacto, manejo y control de enfermedades causadas por Phytophthora palmivora en diferentes cultivos*. Universidad de Pamplona. Recuperado de https://iserupa.files.wordpress.com/2010/12/phytophthora_palmivora_docx.pdf

Stashenko, E., Martínez, J., Ruíz, C., Arias, G., Durán, D.C., Salgar, W. & Cala, M. (2010). Lippia origanoides chemo type differentiation based on essential oil GC-MS and principal component analysis. 33: 93-103. *Journal of separation science, 33*(1). doi: 10.1002/jssc.200900452

Valgas, C., Machado, S., Smania, E. y Smania, A. (2007). Screening methods to determine antibacterial activity of natural products. *Revista brasileña de microbiología, 38*(2), 369-380.

You, C., Zhang, C., Feng, C., Wang, J., Kong, F. (2015). Myroides odoratimimus, a biocontrol agent from the rhizosphere of tobacco with potential to control Alternaria alternate. *BioControl, 60*(4), 555-564. doi: 10.1007 / s10526-015-9654-7

Degradación de Metano en Biofiltros Percoladores: Materiales Reciclables como Medio de Soporte

Alexandra Córdoba Diaz[45]
Santiago Gómez Herrera[46]
Diana Morales Pabón[47]
Hugo Ferney Leonel[48]

Resumen

La contaminación atmosférica se ha posicionado como una problemática de preocupación mundial. Actualmente, se ha probado tratamientos biológicos de filtración, como la biopercolación, que ha resultado ser eficiente en el control de emisiones de GEI como el metano. En este contexto, esta propuesta de investigación evaluó la eliminación de metano al 4 % de una corriente gaseosa en dos biofiltros percoladores operados paralelamente durante 24 h/día, con flujo contracorriente y escala laboratorio; cada uno con un medio de soporte diferente a base de material reciclable (tereftalato de polietileno y poliestireno expandido) inoculado con un consorcio microbiano metanotrófico, operados bajo 25 °C, 10 psi, pH neutro, TRLV de 31 min y caudal constante de 6 L/h con concentración de ~2000 ppmv. Los resultados de eficiencias de remoción indican que el biofiltro 1 alcanzó una eficiencia máxima del 75 %, en comparación con un 60 % de remoción máxima logrado por el biofiltro 2. A través de un análisis de varianza por medio de la prueba de Kruskal-Wallis, se determinó que existe diferencia significativa entre los medios de soporte. Se puede concluir que el uso de materiales reciclables puede ser una alternativa viable para disminuir costos de operación y obtener adecuados niveles de remoción.

Palabras clave: biofiltro percolador, eficiencia de remoción, material reciclable, metano.

Degradation of Methane in Biotrickling Filters: Recyclable Materials as a Support Medium

Abstract

Air pollution is nowadays a problem of global concern, so currently, biological filtration treatments such as biopercolation have been proven showing efficiently in the control of greenhouse gases emissions like methane. With this research proposal we assessed the removal of 4% methane from a gaseous stream in two biotrickling filters; they were operated in parallel for 24 h/day, with countercurrent flow and laboratory scale; each biofilter, with a different source of support based on recyclable material (polyethylene terephthalate and expanded polystyrene) inoculated with a microbial methanotrophic consortium, operated at 25 °C, 10 psi, neutral pH, EBRT of 31 min and constant flow rate of 6 L/h with concentration of ~ 2000 ppmv. The results of removal efficiencies indicate that biofilter 1 reached an efficiency of 75%, compared to a 60% maximum removal achieved by biofilter 2. Through a variance analysis by Kruskal-Wallis test, it was determined that there is a significant difference between the support mediums. It can conclude that the use of recyclable materials can be a viable alternative to reduce operating costs and obtain adequate levels of removal.

Key words: Biotrickling filter, Removal efficiency, Recycable material, Methane.

Degradação de Metano em Biofiltros Percoladores: Materiais Recicláveis como meio de Suporte

Resumo

A poluição do ar se posicionou como um problema de preocupação global. Atualmente, os tratamentos biológicos de filtração, como a biopercolação, provaram ser eficientes no controle das emissões de GEE, como o metano. Neste contexto, a presente proposta de pesquisa avaliou a eliminação de metano ao 4% de uma corrente de gás em dois biofiltros percoladores operados em paralelo durante 24 horas/dia, com fluxo em contracorrente e escala de laboratório; cada um com um diferente meio de suporte com base em material reciclável (tereftalato de polietileno e poliestireno expandido) inoculados com consórcio microbiano metanotrófico, operados baixo 25 °C, 10 psi, pH neutro, TRLV de 31 min e vazão de 6 L/h com concentração de ~2000 ppmv. Os resultados indicam que a eficiência da remoção do biofiltro 1 atingiu uma eficiência máxima de 75%, em comparação com 60% de remoção máxima alcançada pelo biofiltro 2. Através de uma análise de variância pelo teste de Kruskal-Wallis, foi determinado que existe uma diferença significativa entre os meios de suporte. Pode-se concluir que o uso de materiais recicláveis pode ser uma alternativa viável para reduzir custos operacionais e obter níveis adequados de remoção.

Palavras chave: Biofiltro percolador, Eficiência de remoção, Material reciclável, Metano.

Introducción

El metano (CH_4) se encuentra entre los hidrocarburos más abundantes en la naturaleza y principal componente del gas natural, actualmente reconocido como el segundo Gas de Efecto Invernadero (GEI) antropogénico más importante presente en la atmósfera (Cáceres, Dorado, Gentina & Aroca 2017; Gómez-Cuervo et al., 2017). Su potencial de calentamiento global es 28 veces superior al CO_2, con una vida media en la atmósfera de 12 años y representando alrededor del 20 % de las emisiones globales (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC], 2014).

En Colombia, la ganadería (56 %), el tratamiento de aguas residuales (13 %), la explotación de carbón mineral, gas natural y petróleo (12 %), así como la disposición de residuos sólidos en tierra (10 %), son las principales fuentes de emisión de CH_4 (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2017). En este contexto, el aumento de la conciencia pública sobre los problemas ambientales y la urgente necesidad de reducir las emisiones antropogénicas de GEI en todo el mundo, se está promoviendo una investigación intensiva sobre el desarrollo de tecnologías de reducción de metano rentables y respetuosas con el medio ambiente (Estrada et al., 2014).

Diferentes tipos de alternativas se han explorado para controlar este gas, dentro de los cuales, la incineración con o sin recuperación de calor, y los procesos de valorización a través de reacciones químicas han sido los procesos más utilizados para altas concentraciones (>30 %) (Menard, Avalos, Nikiema & Heitz, 2012; Gómez-Borraz, Gonzáles-Sánchez, Bonilla-Blancas, Revah & Noyola, 2017). Sin embargo, a pesar de la rentabilidad de dichas tecnologías de oxidación, más del 50 % del CH_4 antropogénico se emite a concentraciones inferiores, como lo determinó Avalos, Jones & Heitz (2012): Ventilación de las minas de carbón (0,1-1 %), tanques de almacenamiento de estiércol (0-3 %), efluentes anaerobios (2,7-30 %), emisiones pasivas en rellenos sanitarios (0,2-2,5 %) y emisiones fugitivas en sistemas viejos de recuperación de gas (0-20 %).

Por el contrario, los tratamientos biológicos logran la disminución de emisiones difusas a través de la acción de microorganismos (Le Cloirec, Humeau, Ramirez-Lopez, 2001), que generalmente conducen a impactos ambientales reducidos en comparación con las alternativas físico-químicas (Alfonsín et al., 2013). En este sentido, la biopercolación se presenta como

[45] Programa de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: alexandra1995cordoba@gmail.com

[46] Programa de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia.

[47] Programa de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia.

[48] Programa de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia.

una prometedora alternativa por ser una de las configuraciones más rentables, debido a su robustez y bajos costos de operación (Estrada, Kraakman, Lebrero & Muñoz, 2012). Con esta biotecnología, los microorganismos, en particular los metanótrofos, oxidan el CH_4 para generar productos menos nocivos, como agua, dióxido de carbono (CO_2), biomasa y sales (Nikiema y Heitz, 2010).

Para una operación exitosa de un biofiltro, es necesario controlar, por una parte, los parámetros operativos que incluyen la temperatura, la humedad, la concentración de contaminantes, el caudal de la mezcla y el tiempo de residencia (Nikiema, Girad, Brzezinski & Heitz, 2009). Así mismo, es fundamental el tipo de medio o lecho de soporte y sus características fisicoquímicas (pH, disponibilidad y tipo de nutrientes, etc.), pues de este dependerá el desarrollo óptimo del "biofilm" de microorganismos, donde se desatarán de forma simultánea los procesos de absorción, adsorción, degradación, difusión, desadsorción y desabsorción de los contaminantes (Gómez-Cuervo, Hernández & Omil, 2016). La selección no optimizada del material de empaque generalmente produce un proceso biológico ineficiente, mientras que su optimización da como resultado una disminución en el consumo de insumos (Nikiema et al., 2010).

Los materiales de soporte que pueden ser usados durante la biofiltración de metano son agrupados en 2 categorías principales: materiales orgánicos e inorgánicos. Los biofiltros percoladores (BTF) tradicionales generalmente utilizan materiales orgánicos, como suelo o compost, para que las comunidades microbianas establezcan las biopelículas sobre las superficies de las partículas que, al mismo tiempo, podrían ser fuentes de nutrientes para los microorganismos (Girard, Avalos, Buelna y Heitz, 2011). En la biooxidación de CH_4, estos materiales orgánicos han demostrado tener una vida útil corta (<6 meses) y problemas asociados con la canalización, la obstrucción y la caída de presión en las operaciones a largo plazo (Veillete, Girard, Viens, Brzezinski & Heitz, 2012; Cáceres et al., 2017).

Por otro lado, los lechos compuestos por materiales inorgánicos ofrecen muchas ventajas, porque sus propiedades físicas (porosidad, área superficial, etc.) pueden ser ajustadas fácilmente, poseen un comportamiento más estable en una operación a largo plazo, y ofrecen buenas propiedades mecánicas que reducen el riesgo de compactación (Nikiema et al., 2009; Cáceres et al., 2017). Sin embargo, requieren de la adición de nutrientes y, en algunos casos particulares, tener bajas densidades (Van Groenestijn & Kraakman, 2005). Este grupo incluye materiales naturales y manufacturados, como rocas, cerámicas, vidrio, espuma de poliuretano, anillos raschig, entre otros.

En los últimos años, las investigaciones han registrado que, uno de los principales problemas derivados de la implementación de BTF está asociado a las características de los lechos de soporte. En especial, cuando se trata de materiales inorgánicos, sus costos tienden a ser más caros que los empaques orgánicos y su superficie inadecuada para la formación de biomasa, los cuales se han presentado como las mayores limitaciones para su implementación (Detchanamurthy y Gostomski, 2012; Gómez-Cuervo et al., 2017).

En el marco de la tendencia actual, de favorecer la Gestión Integral de los Residuos Sólidos a través del aprovechamiento de los residuos, que permita reducir así su impacto ambiental y entendiendo que no se tiene reportes de la utilización de materiales reciclables como medio de soporte en biofiltración, la presente investigación pretendió evaluar la eliminación de metano de una corriente gaseosa por medio de dos biofiltros percoladores (BTF) operados de forma paralela, con flujo a contracorriente y a una escala laboratorio. Cada uno compuesto con un lecho de soporte diferente con base en material reciclable inoculado, como poliestireno expandido de embalaje y botellas de tereftalato de polietileno (PET).

Materiales y Métodos

Diseño y operación del biofiltro

Fueron instalados dos biofiltros percoladores (BTF) idénticos, utilizando tubos transparentes de acrílico con un volumen total de 6,2 L, altura total de 0,6 m y un diámetro interno de 0,115 m, con un punto de muestreo localizado a 0,3 m de altura. Cada BTF fue empacado alrededor de 30 cm de altura (3,1 L) de los materiales reciclados seleccionados. Para el caso del denominado BTF 1 de botellas de tereftalato de polietileno (PET), su recolección se realizó en los puntos de separación de residuos sólidos dentro del campus Torobajo de la Universidad de Nariño, que se adecuaron en tiras de 2 cm de grosor, para posteriormente unir dos de estas en forma de roseta, con un largo de 10 cm cada una. Para el caso del poliestireno expandido (BTF 2), se recolectaron cubos de embalaje para envíos de mercancía frágil de 3 cm de arista. Propiedades adicionales de estos dos materiales, como sus densidades, área superficial (As), calculadas a partir de un método basado en Jorio (2000), y la porosidad, a partir del método propuesto por Agudelo (2015), están disponibles en la Tabla 2. Como pretratamiento, todos los materiales se lavaron con agua destilada para eliminar las posibles impurezas presentes en sus superficies.

Tabla 1. *Características de los materiales de soporte probados*

Material	Porosidad	Área específica externa	Densidad
Tereftalato de polietileno	70,6 %	11,76 m^2/m^3	1,38 kg/l
Poliestireno expandido	94 %	8 m^2/m^3	0,02 kg/l

La corriente gaseosa sintética a tratar estaba compuesta por una mezcla de aire proveniente de un compresor y metano puro (Cryogas-Air products, Colombia), que se controló mediante reguladores de caudal tipo rotámetro (Cole Palmer Instruments, Estados Unidos). La dirección de flujo de la fase gaseosa fue de abajo-arriba, mientras la del líquido percolador en sentido contrario, a través de la utilización de un plato distribuidor que permitió humedecer de forma uniforme el material de soporte. El flujo de entrada aplicado corresponde a un tiempo de retención de lecho vacío (TRLV) de 31 min y caudal de 6 L/h. La concentración de entrada varió aproximadamente entre 4 % vv^{-1} y 4,5 % vv^{-1} de CH_4, que corresponde a cargas contaminantes (CC) de 1,72 a 2,15 $gCH_4\ m^{-3}\ h^{-1}$.

El sistema estuvo localizado en el Laboratorio de Calidad del Aire de la Universidad de Nariño, donde se construyó un compartimiento cerrado tipo invernadero para aislar el montaje (ver Figura 1) y poder ajustar su temperatura a 25 **°C a través de un controlador automático, una termocupla tipo K y un calefactor. Además, el sistema contó** con reguladores de presión tipo manómetros, para asegurar una presión de entrada de los gases de 10 psi, que aseguren el flujo óptimo de la corriente. Como parámetros de seguimiento, se midió la temperatura por medio de una termocupla tipo K (Peakmeter, China), la humedad relativa (High Tech Instruments, China) y el pH del lixiviado de cada BTF (Pinpoint, Estados Unidos). Diariamente se determinó la concentración de metano en muestreadores instalados a la entrada y salida del sistema, utilizando un instrumento de medición portátil tipo semiconductor (Vetus, Holanda).

El funcionamiento de cada BTF se caracterizó midiendo la eficiencia de eliminación (ER) en porcentaje (%) y la capacidad de eliminación (CE) en $gCH_4\ m^{-3}\ h^{-1}$ a cargas contaminantes (CC) alrededor del 4 % de concentración de CH_4, cada 12 h, para un total de 56 muestreos después de alcanzar el estado estable. Se consideró que se alcanzó un estado estable cuando ER tuvo una variación inferior al 5 % en días consecutivos (Cáceres et al., 2017). Estos parámetros se determinaron de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$CC = \frac{[CCH_4]_{Entrada} \times Q}{V}$$

$$ER = \frac{([CCH_4]_{Entrada} - [CCH_4]_{salida}) \times 100}{[CCH_4]_{Entrada}}$$

$$CE = \frac{([CCH_4]_{Entrada} - [CCH_4]_{salida})\ Q}{V}$$

Donde:

CCH_4 es la concentración de metano en $g\ m^{-3}$

Q es el caudal volumétrico de la corriente gaseosa $m^3\ h^{-1}$

V es el volumen ocupado por el medio filtrante en m^3

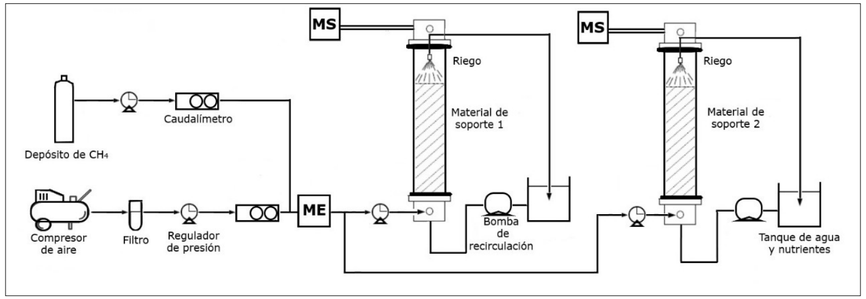


Figura 1. Sistema de biofiltración a escala de laboratorio.

Microorganismos y condiciones de cultivo

Ambos materiales de soporte se inocularon con 240 g de Evogen P.C.H (Genesis Biosciences, Estados Unidos), una mezcla de diferentes cepas de bacterias degradadoras de hidrocarburos aromáticos y alifáticos. Con este fin, se procedió a recircular los microorganismos en medio mineral con un caudal de 140 ml/min de manera constante por dos semanas, junto con la adición de metanol en el medio de cultivo como única fuente de carbono y flujo de aire de 0,006 $m^3 h^{-1}$ para favorecer su desarrollo (Sánchez, 2015; Gómez-Borraz et al., 2017). Posteriormente, se alimentó el sistema con una corriente de metano al 2 % y se excluyó el metanol del medio mineral, proceso que duró dos semanas igualmente y donde se presentó el crecimiento de la biopelícula en los empaques. Después de cada semana, durante este periodo de arranque, se procedió a recuperar la biomasa del medio mineral por medio de centrifugación (4.000 rpm por 10 min), para resuspenderla en medio fresco y reintroducirla al sistema.

Se suministró una solución de nutrientes sintéticos dos veces al día por 20 minutos con un caudal de 8,5 L h^{-1}, por medio de una bomba de agua sumergible para asegurar la humedad adecuada del lecho filtrante y proporcionar los elementos necesarios para el crecimiento microbiano. La solución (ver Tabla 2) fue preparada en agua destilada similar a la presentada por Rocha, Bordel, Hernández & Revah (2009) con un pH final de 7 y renovada semanalmente.

Tabla 2. *Composición del medio de nutrientes*

Reactivo	Concentración (g/L)
$NaNO_3$	2
$MgSO_4.7H_2O$	0,2
$FeSO_4.7H_2O$	1x10-3
Na_2HPO_4	0,2
$NaH_2PO_4.H_2O$	0,09
$CoSO_4.5H_20$	$5x10^{-6}$
H_3BO_3	$1x10^{-5}$
$MnSO_4.5H_2O$	$1x10^{-5}$
$ZnSO_4.7H_20$	$7x10^{-5}$
MoO_3	$1x10^{-5}$
KCl	0,04
$CaCl_2$	$1,5x10^{-3}$

Análisis Estadístico

Para comparar el desempeño de los biofiltros durante el tiempo de estudio, se llevó a cabo un análisis estadístico en el programa Statgraphics Centurion (vXVII), en el cual se sometieron los datos a un análisis de varianza simple (ANOVA) y las diferencias de medianas de cada BTF se compararon por medio de la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis a $p \leq 0,05$. Puede tener cuantos subtítulos se desee (presentación de metodología, problema, resultados y análisis y discusión).

Resultados

Capacidad de Eliminación

La Figura 2 muestra la capacidad de eliminación de CH_4 (CE) de los BTF operados en paralelo a las mismas cargas de entrada de CH_4. Las concentraciones de entrada variaron entre 1,65 y 2,20 $gCH_4\ m^{-3}\ h^{-1}$ con un promedio de 1,88 $gCH_4\ m^{-3}\ h^{-1}$. En el biofiltro empacado con rosetas de plástico reciclado se alcanzó una CE máxima de 1,51 $gCH_4\ m^{-3}\ h^{-1}$, con un promedio de 1,10 $gCH_4\ m^{-3}\ h^{-1}$ durante el desarrollo de la investigación; valores superiores a los registrados para el biofiltro empacado con cubos de poliestireno expandido, donde se alcanzó una CE máxima de 1,23 $gCH_4\ m^{-3}\ h^{-1}$ y un promedio de 0,85 $gCH_4\ m^{-3}\ h^{-1}$. En este sentido, se evidenció que desde el primer día siempre estuvieron por debajo de las concentraciones de entrada, indicando que hubo eliminación constante del contaminante y que las CE más altas determinaron que la biomasa desarrollada en el BFT_1 presentó una mayor capacidad para hacer frente a mayores cargas de metano.

Para el inicio del experimento se presenta una menor biooxidación, que puede indicar el uso de una mayor cantidad de fuente de carbono para el crecimiento de biomasa, en lugar de oxidar CH_4 a CO_2, como lo demostró Gómez-Cuervo et al. (2016) para un BTF empacado con espuma de poliuretano, que presento la misma tendencia. Probablemente, el cambio de las condiciones de la fase de aclimatación a la fase de operación fueron favorables para el desarrollo de metanótrofos que requerían una mayor concentración de metano para promover el incremento de la biomasa y a partir de ahí alcanzar un comportamiento más estable con concentraciones de efluentes más bajas (Agudelo, 2015).

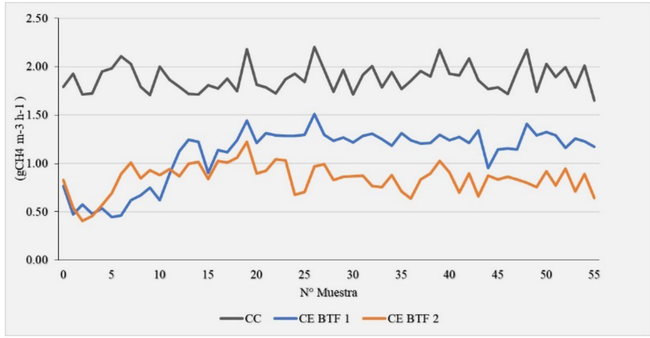


Figura 2. Carga contaminante de entrada vs Capacidades de eliminación BTFs, en función de los muestreos realizados.

Es importante mencionar que, en los primeros 20 muestreos la CE de eliminación de ambos BTF se mantenía similar, incluso se presentó un desarrollo de la biopelícula, primero en el BTF_2 debido a su rugosidad. Las superficies rugosas proporcionan un área de superficie aumentada para el acoplamiento y adhesión de la biopelícula, donde es probable que disminuya el desprendimiento (Pasmore et al., 2002; Tang et al., 2011). Sin embargo, los procesos de compactación del material influenciaron la reducción en el tamaño de los cubos de poliestireno expandido y por lo tanto una disminución en la cantidad de microorganismos presentes, ya que se ha demostrado que es más fácil eliminar las bacterias de los biofilms jóvenes cultivados (Pasmore, Todd, Pfiefer, Rhodes & Bowman, 2002).

Al contrario, las rosetas de plástico presentaron un arranque más lento, debido a que su superficie lisa no permitía la completa fijación de los microorganismos (Tang et al., 2011). Al final, su mayor área superficial y sus espacios interiores, como factor determinante, permitieron albergar la biomasa suficiente como para alcanzar niveles de eliminación considerables. Los resultados concuerdan con lo encontrado por Nikierma & Heitz (2010), en donde de tres tipos de empaques rocosos de diferentes tamaños, las mayores CE fueron registradas para la partícula con mayor área superficial específica.

Eficiencia de remoción

Con respecto a la eficiencia de remoción (ER), el BTF_1 logró en promedio una ER de 58,9 % con una remoción máxima de 74,9 %. En contraste, el BTF_2 alcanzó una ER promedio de 44,9 % y una remoción máxima de 60,6 %. Por medio de la prueba estadística de Kruskal Wallis, se pudo comprobar que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las ER de los BTF evaluados (p valor <0,05). Como se mencionó anteriormente, el mejor desempeño del biofiltro empacado con rosetas de plástico reciclado permitió una mejor estabilidad para el flujo de gas y su superficie con biopelícula fue mayor, lo que provoca un aumento de la cantidad total de contaminante que se transfiere de la fase gaseosa hacía esta, lo cual se traduce en mejores ER.

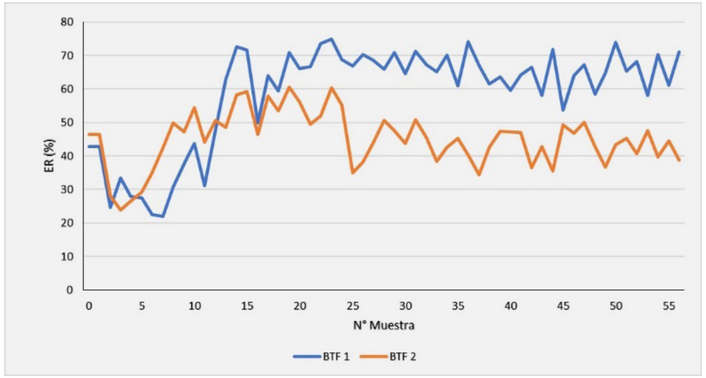


Figura 3. Eficiencias de remoción BTFs en función de los muestreos realizados.

En comparación con otros estudios que utilizaron materiales de soporte similares, las ER máximas fueron altas, lo cual puede estar asociado al alto valor del TRLV de este estudio, que implica una transferencia de masa gaseosa mejorada, facilita la solubilización de CH_4 en la fase acuosa y su disponibilidad para los metanótrofos (Gómez-Cuervo et al., 2017). En concordancia, Nikiema & Heitz (2010) encontró que existe una clara tendencia a obtener mejores ER a bajos flujos de entrada, pues la inhibición se produce más fácilmente a altas concentraciones de CH_4 que a concentraciones más bajas de CH_4, o que es lo mismo, altas tasas de flujo limitan el tiempo de contacto entre el contaminante y la población microbiana, y aceleran el alcance de la carga crítica del sistema (Jorio, 2000; Nikiema et al., 2009).

Temperatura

Se realizaron mediciones de la temperatura promedio cada 12 horas, que para el BTF_1 fue de 28 °C, mientras que para el BTF_2 de 26.5 °C con temperaturas mínimas de 26 °C y máximas de 31°C en los dos biofiltros. El aumento de temperatura en los biofiltros en comparación con el invernadero se debe a la actividad microbiana, a causa de que todas las reacciones de biooxidación son exotérmicas y la energía liberada por éstas provoca un gradiente de temperatura positivo en el lecho empacado. (Delhoménie, Bibeau & Heitz, 2002). Por lo tanto, la intensidad microbiana en el medio de soporte depende fuertemente de la temperatura del BTF (Jorio, 2000).

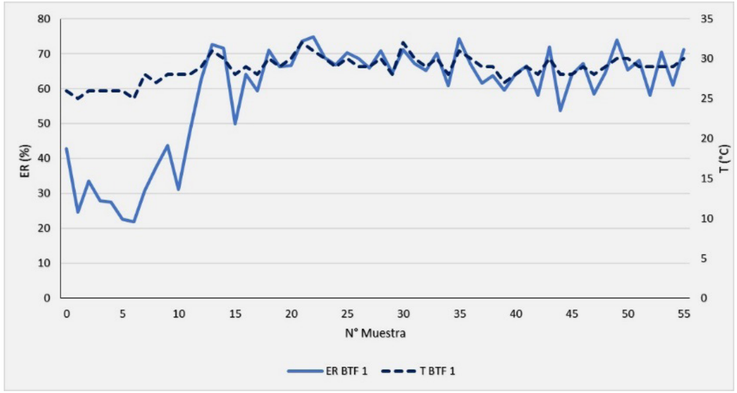


Figura 4. Temperatura vs Eficiencia de remoción BTF_1, en función de los muestreos realizados.

Con relación a la ER, los resultados corroboran que las mayores eficiencias se presentan en temperaturas más altas. En el BTF_1, la temperatura más alta se evidencia en el muestreo 50 con temperatura de 30 °C y una eficiencia de remoción del 73,91 %; en el muestreo 36 con temperatura de 31 °C y una eficiencia de remoción 74,19 %, por último, en el muestreo 23 con temperatura 31 °C y eficiencia de remoción 74,88 %. En el BTF_2 en el muestreo 23 a una temperatura de 31°C se alcanzó una eficiencia de remoción de 60,44 % y en el muestreo #9 a una temperatura de 29 °C, eficiencia de remoción 60,63 %.

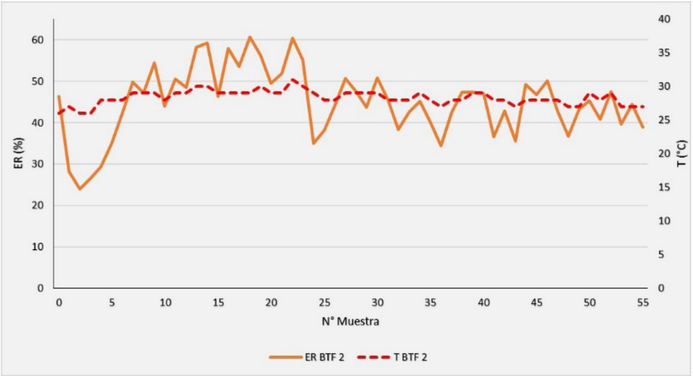


Figura 5. Temperatura vs Eficiencia de remoción BTF_2, en función de los muestreos realizados.

Como se mencionó, la temperatura es importante para degradar metano, puesto que es un indicativo de que los microorganismos están en actividad, tal como lo se informa en algunos experimentos, el aumento de la temperatura del lecho filtrante es consecuencia de la reacción de biodegradación (Gómez-Cuervo et al., 2017). En general, los sistemas tanto el BTF_1 y BTF_2 trabajaron en condiciones adecuadas de temperatura, que permitió un alto desarrollo de microrganismos y eficiencia, lo cual está en concordancia con experiencias donde se evidencia que las temperaturas óptimas para eficiencias de remoción altas están entre los 25 y 31 °C. (Jugnia et al., 2012).

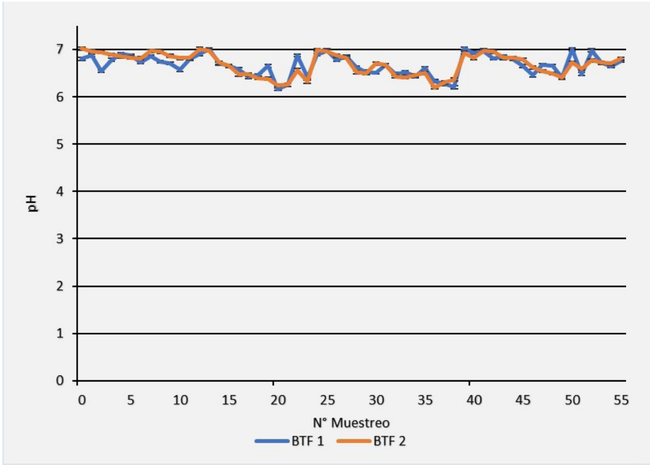


Figura 6. pH BTF en función de los muestreos realizados.

El pH que se tomó cada 12 horas en el agua de recirculación de la solución nutritiva de cada biofiltro tuvo poca variación entre 6.2 y 7.02. Se considera que este es el pH óptimo para el crecimiento de microorganismos, el cual debe estar muy cercano a la neutralidad (Qiang, H., Qiang, Z., Nazim & Danny, 2011). Estos valores de pH, según Sánchez (2015), se explican porque el medio mineral nutritivo sirvió de amortiguador y, además, favoreció a que la solución fuera renovada semanalmente, lo que permitió que el pH no disminuyera de manera acelerada.

Humedad

La humedad relativa en el BTF_1 mínima fue de 68,5 % y la máxima 76,5 %, con un promedio de 73,6 %. Mientras que, en el BTF_2, la humedad relativa mínima fue de 74,8 % y la máxima de 97,1 %, con un promedio de 84,79 %. Según Brandt (2016), estos rangos no se consideran recomendables para el trabajo óptimo de los biofiltros inorgánicos, los cuales debe estar entre 40-70 %, pues la humedad como se ha reportado ocasiona estancamientos de agua, representando menores ER, con la tendencia a que mayores acumulaciones de agua afectan negativamente la transferencia de masa de CH_4, como lo evidenció Gómez-Cuervo et al. (2016) para un biofiltro empacado con espuma de poliuretano.

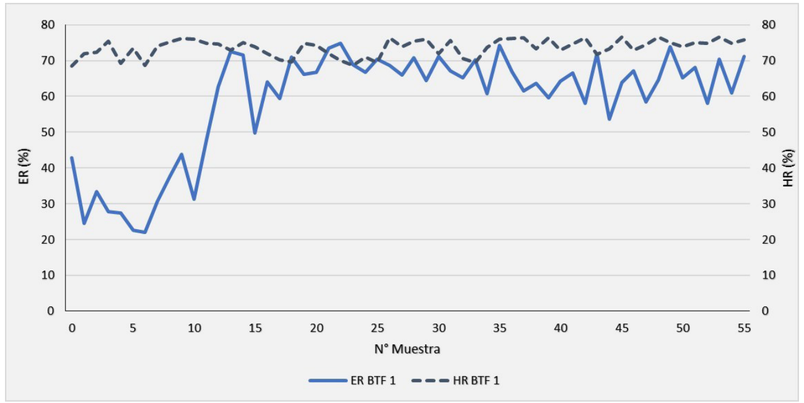


Figura 7. Humedad Relativa vs Eficiencia de remoción BTF_1, en función de los muestreos realizados.

Como se evidenció en el BTF_2, el goteo del sistema de riego ocasionó una colmatación constante del lecho, dada la compactación del material de empaque, que ocasionó acanalamientos y redujo el área de contacto, por lo cual la eficiencia tendió a disminuir hasta en un 26 % desde el muestreo 25. Un contenido de humedad relativa inadecuado favorece que se produzcan situaciones de estrés para la biomasa y sus funciones se vean alteradas. (Devinny et al., 1999). En el BTF_1 esta situación no se presentó por tratarse de un lecho compuesto por plástico resistente y difícil de compactar.

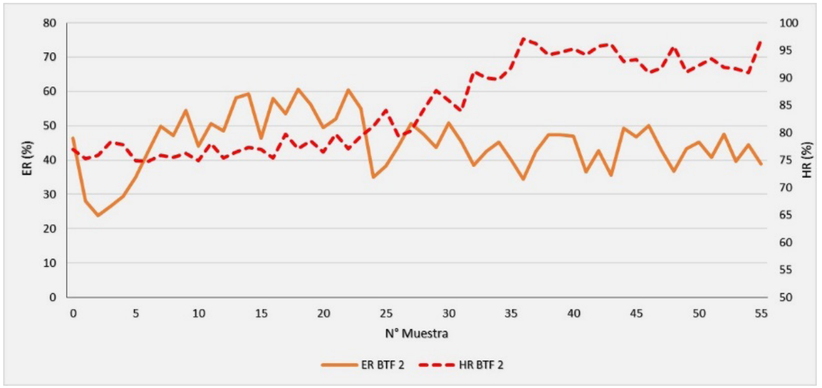


Figura 8. Humedad Relativa vs Eficiencia de remoción BTF_2, en función de los muestreos realizados.

Conclusiones

El objetivo principal de este estudio fue comparar 2 materiales de empaque inorgánicos reciclables, para identificar los más eficientes para la biofiltración de CH_4. De estos materiales, las rosetas de plástico PET, que tienen un diámetro de 10 cm, parecen ser más eficientes, en comparación con los cubos de poliestireno expandido. Las razones de su superioridad están relacionadas con el hecho de que tiene un área superficial específica, más alta y buenas «propiedades de superficie». Todo indica que los materiales reciclables pueden ser una opción viable para mejorar la eficiencia de estos sistemas y sus costos de operación.

La humedad es un parámetro importante en el funcionamiento de biofiltros, ya que puede afectar tanto el crecimiento bacteriano como la estabilidad del lecho. Por ello, la humedad debe ser debidamente controlada, para que esta manera se evite compactaciones y disminución de la eficiencia de remoción. Igualmente, la temperatura es un indicativo de que los microorganismos están realizando actividad de degradación, por lo cual se debe controlar y tomar mediciones continuas, con el fin de mantener temperaturas óptimas y en caso contrario corregirlas de manera oportuna.

Referencias

Agudelo, U. (2015). *Eliminación de vapores de xileno presentes en una corriente de gas en un biofiltro percolador* (tesis de maestría). Universidad del Valle, Cali, Colombia. Recuperado de http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/xmlui/bitstream/handle/10893/9338/7720-0505532.pdf?sequence=1

Alfonsín, C., Hernández, J., Omil, F., Prado, O., Gabriel, D., Feijoo, G. & Moreira, M. (2013). Environmental assessment of different biofilters for the

treatment of gaseous streams. *Journal of Environmental Management, 129*, 463-470. doi: 10.1016/j.jenvman.2013.08.009

Avalos, A., Jones, J. & Heitz, M. (2012). Methane treatment in biotrickling filters packed with inert materials in presence of a non-ionic surfactant. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, *87*(6), 848–853. doi: 10.1002/jctb.3811

Cáceres, M., Dorado, A., Gentina, J & Aroca, G. (2017). Oxidation of methane in biotrickling filters inoculated with methanotrophic bacteria. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(33), 25.702-25.712. doi: 10.1007/s11356-016-7133-z

Delhoménie, M., Bibeau, L. & Heitz, M. (2002). A study of particle size and adsorption phenomena in a compost-based biological filter. *Chemical Engineering Science*, *57*(24), 4.999-5.010. doi: 10.1016/S0009-2509(02)00397-4

Detchanamurthy, S. & Gostomski, P. (2012). Biofiltration for treating VOCs: an overview. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 11*(3), 231–241.

Estrada, J., Kraakman, N., Lebrero, R. & Muñoz, R. (2012). A sensitivity analysis of process design parameters, commodity prices and robustness on the economics of odour abatement technologies. *Biotechnology Advances, 30*(6), 1.354-1.363. doi: 10.1016/j.biotechadv.2012.02.010

Estrada, J., Lebrero, R., Quijano, G., Pérez, R., Figueroa-González, I., García-Encina, P. & Muñoz, R. (2014). Methane abatement in a gas-recycling biotrickling filter: evaluating innovative operational strategies to overcome mass transfer limitations. *Chemical Engineering Journal*, 253, 385-393. doi: 10.1016/j.cej.2014.05.053

Girard, M., Avalos, A., Buelna, G. & Heitz, M. (2011). Biofiltration of methane at low concentrations representative of the piggery industry—influence of the methane and nitrogen concentrations. *Chemical Engineering Journal*, *168*(1), 151-158. doi: 10.1016/j.cej.2010.12.054

Gómez, S. (2013). Tratamiento biológico de emisiones difusas de metano (tesis de maestría). Universidad de Santiago de Compostela. Recuperado de https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/12998/TFM%20Santiago%20G%c3%b3mez%20Cuervo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gómez-Borraz, T. (2017). *Biofiltración de metano para el control de las emisiones generadas en reactores anaerobios municipales* (tesis doctoral). Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/13388/1/Tesis.pdf

Gómez-Borraz, T., González-Sánchez, A., Bonilla-Blancas, W., Revah, S. & Noyola, A. (2017). Characterization of the biofiltration of methane emissions from municipal anaerobic effluents. *Process Biochemistry*, 63, 204-213. doi: 10.1016/j.procbio.2017.08.011

Gomez-Cuervo, S., Alfonsin, C., Hernandez, J., Feijoo, G., Moreira, M. & Omil, F. (2017). Diffuse methane emissions abatement by organic and inorganic packed biofilters: assessment of operational and environmental indicators. *Journal of cleaner production*, *143*, 1.191-1.202. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.11.185

Gómez-Cuervo, S., Hernández, J. & Omil, F. (2016). Identifying the limitations of conventional biofiltration of diffuse methane emissions at long-term operation. *Environmental technology*, *37*(15), 1.947-1.958. doi: 10.1080/09593330.2015.1135996

Grupo Intergubernamental de Experto sobre el Cambio Climático. (IPCC). (2014). Cambio Climático 2014 Informe de síntesis. Recuperado de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (IDEAM). (2017). Tercera Comunicación Nacional de Colombia a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. Bogotá. Recuperado de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023732/RESUMEN_EJECUTIVO_TCNCC_COLOMBIA.pdf

Jorio, H. (2000). *Biofiltration de l'air contamin´e par des compos´es organiques volatils* (tesis doctoral). Universit´e de Sherbrooke, Sherbrooke, Canada. Recuperado de https://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/1818/NR42624.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Jorio, H., Bibeau, L., Viell, G. & Michèle, H. (2000). Effects of gas flow rate and inlet concentration on xylene vapors biofiltration performance. *Chemical Engineering Journal. 76*(3), 209-221.

Jugnia, L., Mottiar, Y., Djuikom, E., Cabral, A. & Greer, C. (2012). Effect of compost, nitrogen salts, and NPK fertilizers on methane oxidation potential at different temperaturas. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 93(6), 2.633-2.643. doi: 10.1007/s00253-011-3560-4

Le Cloirec, P., Humeau, P. & Ramirez-Lopez, E. (2001). Biotreatments of Odours Control and performances of a biofilter and a bioscrubber. *Water Sci. Technol*, *44*(9), 219-226. doi: 10.2166/wst.2001.0544

Ménard, C., Ramirez, A., Nikiema, J. & Heitz, M. (2012). Biofiltration of methane and trace gases from landfills: A review. *Environmental reviews, 20*(1), 40-53. doi: 10.1139/a11-022

Nikiema, J. & Heitz, M. (2010). The use of inorganic packing materials during methane biofiltration. *International Journal of Chemical Engineering*, *2010*(3-4). doi: 10.1155/2010/573149

Nikiema, J., Girard, M., Brzezinski, R. & Heitz, M. (2009). Biofiltration of methane using an inorganic filter bed: Influence of inlet load and nitrogen concentration. *Canadian Journal of Civil Engineering*, *36*(12), 1.903-1.910. doi: 10.1139/L09-144

Pasmore, M., Todd, P., Pfiefer, B., Rhodes, M. & Bowman, C. N. (2002). Effect of polymer surface properties on the reversibility of attachment of Pseudomonas aeruginosa in the early stages of biofilm development. *Biofouling*, *18*(1), 65-71. doi: 10.1080/08927010290017743

Qiang, H., Qiang, Z., Nazim, C. & Danny, M. (2011). Biofilter: a promising tool for mitigating methane emission from manure storage. *Journal of Arid Land*, *3*(1),61-70. doi: 10.3724/SP.J.1227.2011.00061

Rocha, J., Bordel, S., Hernández, S. & Revah, S. (2009). Methane degradation in two-phase partition bioreactors. *Chemical Engineering Journal*, *152*(1), 289-292. doi: 10.1016/j.cej.2009.04.028

Sánchez, A. (2015). *Biofiltración de metano y sulfuro de hidrógeno de biogás diluido* (tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/8811/Tesis.pdf?sequence=1

Tang, L., Pillai, S., Revsbech, N., Schramm, A., Bischoff, C. & Meyer, R. L. (2011). Biofilm retention on surfaces with variable roughness and hydrophobicity. *Biofouling, 27*(1), 111-121. doi: 10.1080/08927014.2010.544848

Van Groenestijn, J. & Kraakman, N. (2005). Recent developments in biological waste gas purification in Europe. *Chemical Engineering Journal*, *113*(2-3), 85-91. doi: 10.1016/j.cej.2005.03.007

Veillette, M., Girard, M., Viens, P., Brzezinski, R. & Heitz, M. (2012). Function and limits of biofilters for the removal of methane in exhaust gases from the pig industry. *Appl Microbiol Biotechnol*, *94*(3), 601–611. doi: 10.1007/s00253-012-3998-z

Evaluación de los Sistemas de Manejo Ganadero en los Procesos Erosivos y el Cambio de algunas propiedades en suelos ubicados en tres tipos de pendientes

Adriana del Socorro Guerra Acosta[49]
Keyling Lisbany Córdoba Román[50]
Milady Patricia Josa Solarte[51]
Natalia Caterin Morales Jamioy[52]
David Gustavo Villota Yamá[53]

Resumen

En esta investigación se evaluó la influencia de los sistemas de manejo ganadero (sistema convencional y franjas con cerca eléctrica) en comparación al tratamiento testigo (bosques secundarios), sobre el cambio de algunas propiedades físicas como conductividad hidráulica, densidad aparente, densidad real, porosidad total, estabilidad estructural en seco, textura al tacto, humedad gravimétrica y volumétrica, y químicas, como pH, capacidad de intercambio catiónico, nitrógeno, fósforo, potasio, materia orgánica, bases intercambiables Ca, Mg y K, y elementos menores. Se realizó en tres pendientes: plana de 0 y 8 %, media de 8 % a 45 % y alta mayor de 45 %; y tres sistemas de manejo: bosques secundarios, sistema de ganadería convencional y sistema en franjas con cerca eléctrica. En cada subtratatamiento se hizo tres repeticiones por cada pendiente, para un total de 27 unidades experimentales (lotes). Los resultados fueron evaluados con un análisis multivariado y correlaciones. A nivel de propiedades físicas, se determinó que los suelos no presentan alteraciones, y en las propiedades químicas, estos suelos evidencian problemas por deficiencia de bases intercambiables, como Ca, Mg y K y elementos menores S y Mn, además de una alta toxicidad de Fe, asociada a los bajos niveles de pH registrados y muchos problemas de erosión por terracetas.

Palabras clave: actividad ganadera, erosión, pendiente, propiedades físicas, propiedades químicas, sistema de manejo.

[49] Instituto Tecnológico del Putumayo. Ingeniería Ambiental. Sibundoy Putumayo – Colombia. Correo electrónico: aguerra@itp.edu.co

[50] Ingeniería Ambiental, Instituto Tecnológico del Putumayo, Sibundoy, Putumayo, Colombia. Correo electrónico: ssebass_15@hotmail.com

[51] Ingeniería Ambiental, Instituto Tecnológico del Putumayo, Sibundoy, Putumayo, Colombia. Correo electrónico: miladyjo25@gmail.com

[52] Ingeniería Ambiental, Instituto Tecnológico del Putumayo, Sibundoy, Putumayo, Colombia. Correo electrónico: naty-mora@hotmail.es

[53] Ingeniería Ambiental, Instituto Tecnológico del Putumayo, Sibundoy, Putumayo, Colombia. Correo electrónico: davidgusta19@hotmail.com

Livestock Management Systems Appraisal in Erosive Proccesses and some of their properties' changes in different kinds of soil located in three different types of slopes

Abstract

The influence of livestock management systems (conventional system and stripes with electric fence) was measured, comparing control treatment (secondary forests), about some alterations in physical properties as hydraulic conductivity, apparent density, real density, total porosity, dry structural stability, touch texture, gravimetric and volumetric moisture. Besides, some chemical properties as well: pH, cation exchange capacity, nitrogen, phosphorous, potassium, organic matter, interchangeable bases Ca, Mg and K and some other minor elements.

This was made in three different slopes: flat between 0 to 8%, medium height from 8% to 45% and high slope with 45%; and three sub-treatments, secondary forests: conventional cattle rising with electrical fence, three times for each sub-treatment to get 27 experimental units (lots). Results were appraised under a multivariate analysis and some correlations. Talking about physical properties it was found that soils did not show any alterations. What concerns to chemical properties some issues were found because of deficiency of interchageable bases like Ca, Mg and K and some other minor elements S and Mn, besides a high toxicity from Fe, due to the low levels of Ph, and some other erosive causes from terracettes.

Key words: livestock activities, erosion, slope, Physical properties, chemical properties, management system.

Avaliação de Sistemas de Manejo de Pecuários em Processos de Erosão e algumas alterações de suas propriedades em diferentes tipos de solos localizados em três diferentes tipos de inclinação

Resumo

A influência dos sistemas de manejo pecuário (sistema convencional e bandas com cerca elétrica) foi mensurada, comparando tratamento controle (florestas secundárias), algumas alterações nas propriedades físicas como condutividade hidráulica, densidade aparente, densidade real, porosidade total, estabilidade estrutural seca, textura de toque umidade gravimétrica e volumétrica. Além de algumas propriedades químicas também: pH, capacidade de troca catiônica, nitrogênio, fósforo, potássio, matéria orgânica, bases intercambiáveis Ca, Mg e K e alguns outros elementos secundários. Isto foi feito em três inclinações diferentes: plano entre 0 a 8%, altura média de 8% a 45% e declive alto com 45%; e três subtratamentos: florestas secundárias, gado convencional subindo com cerca elétrica, três vezes para cada subtratamento para obter 27 unidades experimentais (lotes). Os resultados foram avaliados sob uma análise multivariada e algumas correlações. Por falar em propriedades físicas, verificou-se que os solos não apresentavam alterações. Quanto às propriedades químicas, algumas questões foram encontradas devido à deficiência de bases intercambiáveis como Ca, Mg e K e alguns outros elementos menores S e Mn, além de uma alta toxicidade do Fe, devido aos baixos níveis de pH, e algumas outras causas erosivas de terracettes.

Palavras-chave: Actividade Ganadera, Erosión, Pendiente, Propiedades físicas, Propiedades Químicas, Sistema de Manejo.

Introducción

El panorama de la actividad ganadera, a través de los tiempos, ha generado una serie de efectos ambientales nocivos para el conjunto de los seres de la naturaleza, y por consiguiente ha degradado el suelo, es así que según estudios de (Gerber *et al*, 2013) manifiestan que esta situación, se plantea como uno de los dos o tres sectores con repercusiones más graves en los principales problemas medio ambientales a todos los niveles, desde el ámbito local hasta el mundial. (Mora, Ríos-Pescador, Ríos-Ramos y Almario, 2017, p. 2).

La ganadería causa el deterioro del suelo, principalmente por el efecto del sobrepastoreo, el cual provoca la pérdida o degradación de la cubierta vegetal y con ello la posibilidad de retener la materia orgánica y las partículas del suelo. Los sitios sobrepastoreados están más expuestos a la erosión hídrica y eólica. En la época de lluvias, puede presentarse la compactación acelerada de la superficie por el pisoteo continuo del ganado, lo que crea una estructura impermeable que favorece la formación de láminas de agua y la creación de encostramientos superficiales que impiden la infiltración y con ello el desarrollo vegetal. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], s.f.).

Un estudio realizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2002) sobre el manejo del suelo en Colombia muestra que el uso poten-

cial para agricultura es algo mayor a 18 millones de hectáreas, mientras que actualmente se dedican tan sólo cuatro millones. Por el contrario, la ganadería utiliza actualmente 38 millones de hectáreas, cuando solo son aptas para 15 millones. (Gómez, Barreto y Olarte, s.f., p. 5).

El establecimiento de la ganadería en el territorio colombiano tiene un alto costo ambiental. Pérdida de hábitats naturales, fragmentación de ecosistemas y disminución en la productividad de los suelos se cuentan dentro de las consecuencias del modelo ganadero que actualmente prospera en el país. (Rico, 2017, párr. 2).

En el municipio de San Francisco, departamento del Putumayo-Colombia, predomina la actividad ganadera, caracterizada por la utilización de grandes extensiones de tierra con baja capacidad de carga animal, donde la base de la alimentación del ganado son las pasturas naturales con tendencia a la ampliación de la frontera agrícola, lo cual implica una continua presión del recurso bosque para la adecuación de potreros, particularmente en la parte media y alta del municipio, siendo ésta "una amenaza para la conservación y protección de los recursos naturales, donde por efecto de la deforestación y el pisoteo del ganado, se están presentando fenómenos de deslizamientos, erosión, y remoción en masa" (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Corporación para el Desarrollo Sostenible sur de la Amazonia [CORPOAMAZONIA], 2009, pp. 49- 50).

El objetivo de la investigación fue evaluar los sistemas de manejo ganadero en los procesos erosivos y el cambio de algunas propiedades físicas y químicas en suelos ubicados en tres tipos de pendientes, permitiendo llevar a cabo una comparación entre ellas, a partir de un análisis estadístico multivariado y, finalmente, considerar posibles estrategias de manejo a nivel local.

Metodología

Localización

La investigación se realizó en el municipio de San Francisco-Putumayo, el cual tiene coordenadas geográficas N 1° 00' 21", 1° 22' 42" – W 76° 43' 46" 76° 59' 18", temperatura promedio multianual de 15.9 ºC, precipitación anual 1.578 mm, humedad relativa superior al 83 %, cuenta con un área de 432 km^2 que corresponde al 0,57 % del área total que tiene el departamento del Putumayo (Esquema de Ordenamiento Territorial, s.f.).

Diseño experimental

Se evaluaron tres tratamientos (pendientes), tres subtratamientos (sistemas de manejo) con tres repeticiones, para un total de 27 unidades experimentales (lotes), de un tamaño representativo que correspondió a 1 hectárea cada uno.

Los tratamientos evaluados fueron: **T1.** Zona alta, con pendientes mayores de 45 %; **T2.** Zona media, con pendientes mayores de 8 % a 45 %; **T3.** Zona plana, con pendientes entre 0 % a 8 %

Los subtratamientos fueron: **S1.** Bosque secundario (testigo); **S2.** Sistema convencional; **S3.** Sistema ganadero en franjas con cerca eléctrica.

Cada uno de los subtratamientos se evaluó con tres repeticiones en cada pendiente 3 tratamientos (pendientes) x 3 subtratamientos (manejos) x 3 repeticiones = 27 Unidades experimentales.

Muestreo

En cada una de las unidades experimentales para el análisis de las propiedades físicas del suelo se realizaron tres cajuelas en forma aleatoria, con el método de anillo biselado se tomaron muestras sin disturbar la profundidad de 0-15 cm, además de muestras disturbadas (ver Figuras 1 a, b, c).



Figura 1. Muestreo en campo. a. Tamaño de cajuela b. Profundidad de muestreo c. Toma de mustras disturbadas

Para evaluar las propiedades químicas se tomó diez submuestras disturbadas en cada unidad experimental, realizando un recorrido en zig-zag para obtener una muestra homogénea de 1.000 g a una profundidad de 30 cm. Las metodologías de las variables físicas y químicas evaluadas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. *Metodologías utilizadas en la evaluación de algunas propiedades físicas y químicas*

Propiedades Físicas		**Propiedades Químicas**	
Propiedad	**Método De Caracterización**	**Propiedad**	**Método De Caracterización**
Densidad real (g/cm^3)	Picnómetro	pH	Potenciómetro
Densidad aparente (g/cm3)	Anillo de volumen conocido	Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Acetato de amonio 1N pH 7
Porosidad (%)	1 – (Densidad aparente/Densidad real) x 100	Materia orgánica	Walkley y Black colorimétrico
Resistencia a la penetración (Mpa)	Penetrografo	Acidez intercambiable	Cloruro de potasio 1 M
Estabilidad de agregados en seco (Shaker)	Distribución de agrados en seco.	Nitrógeno – total	Con base a la materia orgánica
Conductibilidad hidráulica (cm/hora)	Permeámetro de carga constante	Fósforo – disponible	Bray II y Kurtz
Textura	Tacto	Aluminio de cambio	Cloruro de potasio 1 M
Humedad gravimétrica (%)	Diferencia de peso	Bases intercambiables (Ca, Mg y K)	Acetato de amonio 1N pH 7
Humedad volumétrica (%)	Diferencia en volumen		

Análisis de la información

Se realizó mediante un análisis de multivariado *Système Portable pour l'Analyse de Données* (SPAD V5.6)

Resultados y Discusión

Diagnóstico de los procesos erosivos de los suelos manejados por producción ganadera en pendiente plana, media y alta

Los suelos de producción ganadera evaluados en los tres tipos de pendientes y sistemas de manejo presentan procesos erosivos tipo terracetas o patas de vaca, siendo el de mayor severidad el del sistema intensivo, donde el ganado recorre libremente presionando las primeras capas del suelo (ver Figura 2. a, b, c).



Figura 2. Proceso erosivo con terracetas. a. Terraceta pendiente plana; b. Terracetas pendiente media; c. Terracetas pendiente alta.

Este fenómeno se ve acentuado por las altas precipitaciones en la zona de estudio, por lo cual se determinó en los recorridos de campo que, los suelos presentan elevados niveles de saturación debido a niveles freáticos altos, además, se evidencio que, en los sitios como los bebederos, la presencia de este tipo de erosión se incrementaba, ya que existía una presión frecuente sobre estas zonas.

Además, en gran parte de las fincas, el ganado tiene acceso directo a fuentes hídricas, donde no se respeta las rondas, lo cual causa la contaminación de este importante recurso y la afectación de la vida acuática; también, se encuentra la contaminación fecal.

Propiedades físicas evaluadas a una profundidad de 0-15 cm

Analisis multivariado

Tabla 2. *Matriz de correlaciones múltiples entre las propiedades físicas*

N	Variable	Total Unidades experimentales	Valor prom.	Desviación estándar	Valor mín.	Valor máx.
1	Densidad Aparente (g/cm³)	27	0,47	0,15	0,25	0,87
2	Densidad Real (g/cm³)		2,08	0,28	1,77	2,65
3	Porosidad Total (%)		76,45	8,79	55,60	87,97
4	Humedad Gravimétrica (%)		213,71	81,24	96,18	380,85
5	Humedad Volumétrica (%)		85,72	16,00	61,48	111,80
6	Estabilidad Estructural (%)		5,84	0,65	4,07	7,06
7	Conductividad hidráulica (cm/h)		1,60	1,81	0,07	5,94

Según la Tabla 2, se muestra las siete (7) variables más significativas arrojadas por el análisis estadístico, las cuales fueron evaluadas en cada una de las veintísiete (27) unidades experimentales (fincas) en las tres pendientes y los tres sistemas de manejo.

Correlaciones multiples entre variables evaluadas

La Tabla 3 reune las correlaciones multiples de las siete variables físicas evaluadas.

Tabla 3. *Correlaciones múltiples de profundidad de 0 a 15 cm*

Matriz de Correlación	Densidad Aparente (g/cm³)	Densidad Real (g/cm³)	Porosidad Total (%)	Humedad Gravimétrica (%)	Humedad Volumétrica (%)	Estabilidad Estructural (%)	Conductividad hidráulica (cm/h)
Densidad Aparente (g/cm³)	1						
Densidad Real (g/cm³)	-0,25	1					
Porosidad Total (%)	**-0,95****	0,52	1				
Humedad Gravimétrica (%)	**-0,84****	-0,11	**0,71****	1			
Humedad Volumétrica (%)	-0,30	-0,51	0,12	0,67	1		
Estabilidad Estructural (%)	0,00	-0,15	-0,05	0,33	0,50	1	
Conductividad hidráulica (cm/h)	-0,41	0,30	0,48	0,24	-0,28	-0,42	1

De acuerdo a la Tabla 3, se establece una alta correlación de la variable densidad aparente (g/cm³) con respecto a la de porosidad y humedad gravimétrica (%) con un valor de -0,95 y -0,84 respectivamente, y la variable porosidad (%) con respecto a humedad gravimétrica (%), con un valor de 0,71, mientras que la correlación de las variables restantes no fue significativa; por lo tanto, el análisis de correlación permite deducir que la densidad aparente (g/cm³) es inversamente proporcional con la porosidad (%) y humedad gravimétrica.

La densidad aparente del suelo es un buen indicador de importantes características tales como: porosidad, grado de aireación, capacidad de drenaje, En un tipo de suelo, los valores bajos de densidad aparente implican suelos porosos, bien aireados y con buen drenaje como el caso de este estudio. Por otro lado, si los valores son altos, quiere decir que el suelo esta compactado y tiene poca porosidad en su composición, pues la infiltración del agua es lenta, lo cual puede provocar inundaciones (Gutierrez, 2018).

La correlación negativa y altamente significativa de densidad aparente (g/cm³) con respecto a humedad gravimétrica (%) de -0,84 indica, según Sadeghian, Rivera y Gómez (s.f.), que los suelos con menor densidad aparente y real (g/cm³) son los que poseen mayor volumen de poros y por consiguiente pueden retener más humedad. Por su parte, Salamanca y Sadeghian, 2005) manifiestan que “cuando la densidad aparente del suelo aumenta, se incrementa la compactación y se afectan las condiciones de retención de humedad, limitando a su vez el crecimiento de las raíces” (p. 382).

En cuanto a la correlación que existe entre las variables % de porosidad con % de humedad gravimétrica con un valor de 0,71, indica que estas variables son directamente proporcionales, es decir, a medida que aumenta el porcentaje de porosidad también aumenta el porcentaje de humedad gravimétrica que se puede almacenar en el suelo. Botta et al., (2007) establecen que los aumentos en la porosidad generan mayor aireación y humedad del suelo.

Componentes principales

El análisis de componentes principales se trabajó con los promedios resultantes de las repeticiones en cada tratamiento, de donde se obtuvo 7 variables físicas (ver Tabla 4).

Tabla 4. *Matriz de componentes de 0 a 15 cm*

N	Valor propio	% F1	Porcentaje acumulado % F2
1	3,0822	**44,03**	**44,03**
2	2,3066	**32,95**	**76,98**
3	0,9230	13,19	90,17
4	0,4508	6,44	96,61
5	0,1964	2,81	99,41
6	0,390	0,56	99,97
7	0,0021	0,03	100,00

En la Tabla 4, el primer componente (F1) representa el 44,03 % y el segundo componente (F2) 32,95 %, con un porcentaje acumulado del 76,98 %, lo cual explica la variabilidad total de los datos.

Análisis de variables activas

El análisis de componentes principales permitió conocer el aporte de cada una de las variables más significantes con base en el análisis estadístico, seleccionando un total de dos factores o componentes.

Tabla 5. *Variables activas*

Variables	Componente	
	F1	F2
Densidad Aparente (g/cm³)	0,97	-0,04
Densidad Real (g/cm³)	-0,28	0,69
Porosidad Total (%)	-0,94	0,25
Humedad Gravimétrica (%)	-0,89	-0,41
Humedad Volumétrica (%)	-0,37	-0,85
Estabilidad Estructural (%)	-0,09	-0,71
Conductividad hidráulica (cm/h)	-0,48	0,60

En la Tabla 5, se muestra una regresión múltiple que tienen los componentes F1 y F2 en el aporte de cada una de las variables. También se muestra la composición de cada componente, donde el componente F1 se conforma por las variables densidad aparente (g/cm3), Porosidad (%) y humedad gravimétrica (%) con valores de 0, 97, -0,94 y -0,89, respectivamente; y F2 por densidad real (g/cc), humedad volumétrica (%), estabilidad estructural (%), conductividad hidráulica (cm/h) con valores de 0,69, -0,85, -0,71 y 0,60, respectivamente (ver Figura 3).

Cabe resaltar las relaciones de la densidad real y densidad aparente (g/cm3) con la porosidad (%), destacando que los poros juegan un papel muy importante, ya que se miden los espacios que no son ocupados por materia sólida; además, esto determina la capacidad del suelo para almacenar agua o aire, siendo un parámetro relevante para el desarrollo y supervivencia de las plantas y para la actividad biológica del suelo, lo anterior puede calcularse a partir de los valores de densidad aparente (Da) y densidad real (Dr) (Jaramillo, Parra y González, 1994).

> La porosidad del suelo en los primeros centímetros de profundidad determina en gran medida la infiltración y el escurrimiento del agua que condiciona su transporte hacia niveles superficiales o profundos (Bruckler, 1998). El flujo de agua y aire en el suelo se realiza a través del espacio poroso condicionado por el tamaño, abundancia y distribución de poros (Bonneau y Levy, 1979). La porosidad debe ser considerada un indicador de la calidad del suelo por su capacidad para almacenar agua y permitir el intercambio fisicoquímico y biológico entre las diferentes fases presentes en el suelo. (González-Barrios, González-Cervantes, Sánchez, López y Valenzuela, 2011, p. 369).

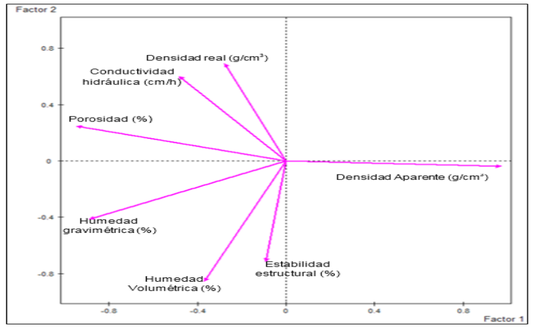


Figura 3. Variables activas primer biplot a profundidad de 0 a 15 cm.

En el biplot (Figura 3), se puede observar una asociación lineal directa en las variables referidas a densidad real (g/cm³), porosidad (%), donde la densidad real (g/cm³), conductividad hidráulica (cm/h) y porosidad (%) están altamente relacionadas (ángulo pequeño/misma dirección), pues la conductividad hidráulica es tal vez la más importante, debido a que determina la facilidad con que el agua se mueve en el suelo, fundamental para el crecimiento y desarrollo de las plantas. En el cuadrante 2 se encuentra la conductividad hidráulica (%); la humedad gravimétrica (%), la humedad volumétrica (%) y la estabilidad estructural (%) se encuentran en el cuadrante número 3; mientras que la variable densidad aparente (g/cm³) se encuentra solamente en el cuadrante número 4,

Una vez analizada la tabla de variables activas, se puede deducir a partir de la Figura 3, que al existir mayor densidad aparente (g/cm³), la porosidad (%) disminuye y, por lo tanto, se originará un problema de encharcamiento en el suelo, en donde el espacio del aire se desplaza por el agua, afectando también su estructura,

Según Rubio (2010):

La determinación de la densidad aparente es uno de los métodos más prácticos para evaluar la efectividad de las labores culturales y su impacto en la porosidad y en el mejoramiento o deterioro de la estructura, a la vez que puede ser importante para evaluar el grado de compactación de los suelos. (p. 23).

Análisis de conglomerados

Tabla 6. *Identificación de los suelos que conforman cada uno de los tres grupos que constituyen el análisis de clasificación*

Grupo	Nº de Fincas	Fincas	Porcentaje (%)
I	7	1 2 8 12 9 3 4	25,92
II	9	27 25 26 23 21 19 20 22 24	33,33
III	11	14 15 17 5 10 13 7 11 6 18 16	40,74

De acuerdo a la Tabla 6, en el grupo I se encuentran 7 fincas (1, 2, 8, 12, 9, 3 y 4); en el grupo II se encuentran 9 fincas (27, 25, 26, 23, 21, 19, 20, 22 y 24); en el grupo III se encuentran 11 fincas (14, 15, 17, 5, 10, 13, 7, 11, 6, 18, y 16), que representan 25,92 %, 33,33 % y 40,77 % de la totalidad de unidades experimentales evaluadas respectivamente,

Análisis de clúster (grupo) jerárquico de propiedades físicas

Clúster (Grupo) I/III

Tabla 7. *Caracterización de variables continúas grupo I*

Grupo	Nº de Fincas	Variable	Valor Promedio	Valor General
I	7	Densidad aparente (g/cm^3)	0,68	0,47
		Humedad gravimétrica (%)	129,84	213,71
		Porosidad (%)	63,81	76,45

El grupo (I) se encuentra formado por las fincas 1, 2, 8, 12, 9, 3 y 4, Las fincas 1, 2 y 3, corresponden a bosques secundarios (testigo), las fincas 8 y 9 a sistema de ganadería en franjas con cerca eléctrica, la finca 4 fue evaluada bajo el sistema de ganadería convencional y la finca 12 fue evaluada con el sistema de bosque secundario (testigo), el cual hace parte de la zona media, dando así un total de 7 unidades experimentales, lo cual representa el 25,92 % del total de fincas evaluadas. Cabe resaltar que la mayoría de fincas de este grupo están ubicadas en la zona alta (Vereda San Miguel) del área de estudio, y la que menos presencia tuvo en este grupo fue la zona media (Vereda San Miguel), representada por una unidad experimental. De igual manera, el sistema más representativo en este grupo fue el bosque secundario y el menos representativo el sistema de ganadería convencional,

Dentro de estas, la densidad aparente (g/cm^3) a nivel grupal tiene un promedio de 0,68, indicando que las 7 unidades experimentales superan el promedio general cuyo valor es de 0,47 g/cm^3, que a su vez represeta un adecuado valor por estar por debajo de 1 g/cm^3 (ver Tabla 7), al respecto, García (2011) afirma que, "la densidad aparente baja es un signo de buen funcionamiento del suelo y que permite mejores condiciones para el crecimiento y desarrollo de raíces y por ende una mayor producción de los ecosistemas" (p. 14), por ello, la importancia de la evaluación de esta propiedad para este estudio. Es conveniente resaltar que esta variable física predomina en el tratamiento testigo (bosque secundario), ubicado en la pendiente alta, debido a que son áreas sin manejo ganadero.

En este mismo grupo, otra de las variables a destacar es el porcentaje de porosidad, donde los suelos del total de las unidades experimentales presentan un valor general de 76,45 %, y siete de ellas que conforman a este grupo tienen un valor de 63,81 %, siendo inferior al promedio antes mencionado. Teniendo calificación de la porosidad total del suelo, el promedio general es mayor al 70 %, es decir, los suelos del total de las fincas estudiadas presentan un porcentaje de porosidad excesiva y los suelos de las fincas que integran el grupo tienen una porosidad excelente, ya que su valor se encuentra entre los rangos de 55-70 %, siendo estos suelos, según Jaramillo (2002), normales con buenas condiciones porque presentan una porosidad cercana al 50 %.

Clúster (Grupo) II/III

Tabla 8. *Caracterización de variables continúas grupo II*

Grupo	Nº de Fincas	Variable	Valor Promedio	Valor General
II	9	Densidad real (g/cm^3)	2,38	2,08
		Conductividad hidráulica (%)	2,99	1,60
		Porosidad (%)	82,54	76,45
		Humedad volumétrica (%)	67,88	85,72

El grupo (II) se encuentra formado por las fincas 19, 20, 21, 22, 23,24, 25,26 y 27. Las unidades experimentales 19, 20 y 21 son bosque secundario, las fincas 22, 23 y 24 con el sistema de ganadería convencional y las fincas 25, 26 y 27 con el sistema de ganadería en franjas con cerca eléctrica, para un total de 9 unidades experimentales (fincas). Cabe aclarar que todas las fincas de este grupo pertenecen a la zona plana del área de estudio (Inspección de San Antonio).

En el grupo (II) (ver Tabla 8), se resaltan las siguientes propiedades físicas: densidad real (g/cm^3) con valores de 2,08–2,38 g/cm^3; conductividad hidráulica (cm/h) con 1,60 – 2,99 cm/h y con un % de porosidad de 76,45–82,54 %, en las cuales el primer valor mencionado corresponde al valor general y el segundo al promedio del grupo en el que se encuentran, de lo cual se puede deducir que, el promedio de grupo en las propiedades físicas anteriormente mencionadas de estas fincas es superior al promedio general,

Jaramillo (2002) y Burbano y Cadena (2009) coinciden que la densidad real varía entre 2,6 a 2,75 g/cm^3 en todos los suelos agrícolas y cuando existen valores por debajo de los mencionados, se debe a la presencia de altos contenidos de materia orgánica en el suelo. Cabe resaltar que esta propiedad solo se encuentra en este grupo, el cual está conformado en mayor proporción por el sistema en franjas con cerca eléctrica.

Según el estimativo de conductividad hidráulica (cm/h) mencionado por Jaramillo (2002), se deduce que los suelos pertenecientes al grupo (II), además de presentar un alto valor de densidad real en relación al promedio general, muestran un valor alto en la conductividad hidráulica: 2,99 cm/h, de lo cual se deduce que este valor fluctúa entre 1,6 y 5,0, que se interpreta como moderada. De esta manera, se puede inferir que estos suelos no presentan mayores problemas por encharcamiento y tienen una buena infiltración, lo anterior está estrechamente relacionado con la buena porosidad de los suelos evaluados en esta investigación,

Legarda, García y Ruiz (2002) afirman que los valores de conductividad hidráulica del suelo permiten el paso del agua al evaluarse en las capas superiores del suelo, siendo el parámetro más importante en los problemas de drenaje, está influenciada por el tamaño y forma de espacios porosos a través de los cuales el agua se mueve. La necesidad del drenaje es función del volumen de aire disponible en el suelo, pues esta propiedad afecta la conductividad hidráulica. "Los aspectos funcionales del sistema poroso están estrechamente relacionados con las propiedades hidráulicas del suelo que tienen que ver con la transmisión de fluidos, estas propiedades están ligadas a la estructura del suelo" (Dorner y Dec, 2007, p. 2).

Teniendo en cuenta los valores correspondientes al porcentaje de porosidad en el grupo (II), esta variable presenta un valor de 82,54 %, superior al promedio general, similar en los dos grupos a diferencia del grupo (I) con un valor de 63,8 %. Este porcentaje es un indicativo de que estos suelos tienen un excesiva porosidad, siendo así la porosidad más alta en los diferentes sistemas de manejo que se encuentran en la pendiente plana, en comparación a la pendiente alta y media que predominan en el grupo (I).

Clúster (Grupo) III/III

Tabla 9. *Caracterización de variables continúas grupo III*

Grupo	Nº de Fincas	Variable	Valor Promedio	Valor General
III	11	Humedad volumétrica (%)	102,56	85,72
		Humedad gravimétrica (%)	282,89	213,71

El grupo III se encuentra formado por las fincas 5, 6, 7, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17 y 18. Las fincas 5 y 6 son sistemas de ganadería convencional que pertenecen a la zona alta; las fincas 16, 17 y 18 son sistemas de ganadería

en franjas con cerca eléctrica, las cuales pertenecen a la zona media; la finca 7 es el mismo sistema y pertenece a la zona alta; las fincas 10 y 11 son bosques secundarios de la zona media; y las fincas 13, 14 y 15 son sistemas de ganadería convencional, pertenecientes a la zona media, para un total de 11 unidades experimentales (fincas).

En el grupo (III) se resalta las siguientes propiedades físicas (ver Tabla 9), humedad volumétrica con valores de 85,72–102,56 % y humedad gravimétrica con 213,71–282,89 %, En las cuales, el primer valor corresponde al valor general, y el segundo al promedio del grupo en el que se encuentran, de lo cual se puede deducir que el promedio de grupo en las propiedades físicas de estas fincas es superior al promedio general.

Estos tres grupos se encuentran ilustrados en la Figura 4, donde se puede observar la distribución de las 27 unidades experimentales (fincas) con cada uno de sus sistemas de manejo y su respectiva ubicación referente a la pendiente. Se puede determinar la relación que existe entre algunas fincas en cuanto a las variables que predominan en cada una de ellas, siendo éstas las que se encuentran más cercanas y se aproximan al origen. A partir de este criterio se puede deducir que, el grupo (I) se encuentra más asociado a un bosque secundario ubicado a un alta pendiente, en el grupo (II), el sistema que más predomina es el sistema en franjas con cerca elétrica, ubicado en la pendiente plana, y en el grupo (III) predomina el sistema convencional ubicado en una pendiente media.

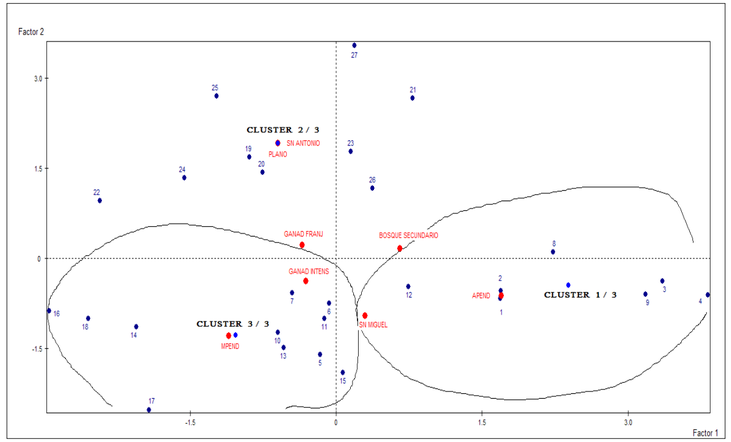


Figura 4. Distribucion de grupos.

Análisis multivariado propiedades químicas

Tabla 10. *Matriz de correlaciones múltiples entre las propiedades químicas*

N	Variable	Total Und. Expe.	Valor Promedio	Desviación estándar	Valor Mín.	Valor máx.
1	pH, Potenciómetro	**27**	4,96	0,30	4,36	5,49
2	Materia Orgánica (%)		19,63	6,66	6,76	32,20
3	Fósforo disponible (mg/kg)		16,49	13,00	3,37	54,20
4	Capacidad Intercambio Catiónico (CIC) (cmol/kg^{-1})		41,76	15,36	20,10	65,60
5	Calcio de Cambio (cmol /kg^{-1})		2,59	2,16	0,45	7,24
6	Magnesio de Cambio (cmol /kg^{-1})		0,63	0,49	0,20	1,97
7	Potasio de Cambio (cmol /kg^{-1})		0,33	0,17	0,07	0,76
8	Aluminio de Cambio (cmol /kg^{-1})		4,10	11,41	0,53	61,90
9	Hierro Disponible (mg/kg)		250,33	77,71	120,00	376,00
10	Manganeso Disponible (mg/kg)		19,49	29,84	0,47	123,00
11	Cobre Disponible (mg/kg)		0,61	0,72	0,06	3,62
12	Zinc Disponible (mg/kg)		0,45	0,43	0,00	1,66
13	Boro Disponible (mg/kg)		0,22	0,22	0,01	1,21
14	Nitrógeno Total (%)		0,60	0,14	0,26	0,78
15	Carbono Orgánico (%)		11,39	3,86	3,92	18,70
16	Azufre Disponible (mg/kg)		10,86	5,92	2,69	28,20
17	Ca:Mg		4,06	1,87	1,33	8,00
18	Mg:K		1,93	1,01	0,73	5,00
19	K:Mg		0,64	0,28	0,20	1,37
20	Ca:K		7,82	5,58	2,06	27,00
21	(Ca+Mg)/K		9,75	6,26	3,25	31,32

En la Tabla 10 se muestran las veintún (21) variables más significativas arrojadas por el sistema estadístico utilizado, las cuales fueron evaluadas en cada una de las veintísiete (27) unidades experimentales, en las tres pendientes, y los tres sistemas de manejo.**Correlaciones multiples entre variables químicas evaluadas**

Tabla 11. *Correlaciones multiples de las variables quimicas evaluadas*

Matriz de Correlación	pH	M,O (%)	P disp mg/kg	CIC (cmol /kg^{-1})	Ca Cam (cmol /kg^{-1})	Mg de Cam (cmol /kg^{-1})	K de Cam, (cmol /kg^{-1})	Al de Cam, (cmol /kg^{-1})	Fe disp, mg/ kg	Mn Disp, mg/kg	Cu Disp, mg/kg	Zn disp, mg/kg	B disp, mg/kg	N,T (%)	CO (%)	S Disp, Mg/kg	Ca:Mg	Mg: K	K:Mg	Ca:K	(Ca+Mg)/K
Ph	1																				
M,O (%)	-0,04	1																			
P disp, (mg/kg)	-0,32	-0,44	1																		
CIC (cmol /kg^{-1})	0,31	0,82	-0,55	1																	
Ca Cambio (cmol /kg^{-1})	-0,09	-0,59	0,64	0,58	1																
Mg de Cambio (cmol /kg^{-1})	-0,16	0,65	0,62	-0,65	**0,78****	1															
K de Cambio (cmol /kg^{-1})	-0,27	-0,54	**0,78****	-0,54	0,58	0,65	1														
Al de Cambio (cmol /kg^{-1})	0,11	0,33	-0,14	0,30	-0,22	-0,21	-0,20	1													
Fe Disponible (mg/kg)	-0,65	-0,33	0,64	**-0,73****	0,42	0,47	0,54	-0,18	1												
Mn Disponible (mg/kg)	-0,13	-0,64	0,40	-0,59	0,69	**0,82****	0,38	-0,16	0,33	1											
Cu Disponible (mg/kg)	0,33	-0,50	0,46	-0,29	0,58	0,68	0,45	-0,09	-0,03	0,51	1										
Zn Disponible (mg/kg)	0,36	-0,22	0,39	0,05	0,48	0,39	0,40	-0,02	-0,23	0,13	**0,74****	1									
B Disponible (mg/kg)	-0,50	0,33	0,34	0,07	-0,06	-0,10	0,22	-0,01	0,26	-0,10	-0,30	-0,16	1								
N Total (%)	0,02	**0,98****	-0,44	**0,81****	-0,59	**-0,70****	-0,55	0,28	-0,34	**-0,72****	-0,56	-0,21	0,32	1							
C, O (%)	-0,04	**1,00****	-0,44	**0,82****	-0,59	-0,65	-0,54	0,33	-0,33	-0,65	-0,50	-0,22	0,33	**0,98****	1						
S Disponible (mg/kg)	-0,67	0,15	0,41	-0,43	0,20	0,10	0,44	-0,06	0,62	0,12	-0,19	-0,20	0,53	-0,16	-0,15	1					
Ca:Mg	-0,07	-0,11	0,13	-0,19	0,53	0,03	0,09	-0,09	0,14	0,08	0,00	0,14	0,07	-0,06	-0,11	0,30	1				
Mg:K	-0,02	-0,49	0,12	-0,45	0,51	0,69	-0,01	-0,18	0,19	**0,77****	0,34	0,06	-0,27	-0,53	-0,49	-0,16	-0,01	1			
K:Mg	0,08	0,33	-0,19	0,41	-0,51	-0,56	0,10	016	-0,21	-0,56	-0,36	-0,14	0,17	0,36	0,34	0,11	-0,07	**-0,85****	1		
Ca:K	-0,03	-0,42	0,16	-0,39	**0,77****	0,43	0,04	-0,17	0,18	0,62	0,23	0,12	-0,14	-0,42	-0,42	0,09	0,69	0,63	-0,62	1	
(Ca+Mg)/K	-0,03	-0,45	0,16	-0,42	**0,77****	0,50	0,03	-0,18	0,19	0,68	0,26	0,12	-0,17	-0,46	-0,45	0,06	0,61	0,72	-0,68	**0,99****	1

De acuerdo a la Tabla 11, de las correlaciones que representan las variables químicas tomadas en las muestras en campo a una profundidad de 30 cm, se pudo determinar una alta correlación directamente proporcional de la variable materia orgánica con respecto a nitrógeno total y carbono orgánico, con valores de 0,98 y 1,00 respectivamente. Sobre esto el Instituto Colombiano Agropecuario ICA (1981) afirma que, la materia orgánica es fuente principalmente de nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S) y algunos elementos menores, además, mejora las propiedades físicas del suelo, aumenta la capacidad amortiguadora, y tiene gran influencia sobre la capacidad de intercambio catiónico (CIC).

> De igual manera mejora las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos, los suaviza; permite una aireación adecuada; aumenta la porosidad, la infiltración de agua, y eleva la capacidad de amortiguación o poder buffer, entre otros; se considera una importante fuente de nutrientes, a través de los procesos de descomposición con la participación de bacterias y hongos, especialmente. Jimenez (como se citó en Betancour, Burgos y Solarte, 2016, p. 62).

Del mismo modo, se establece una correlación directamente proporcional entre la materia orgánica con el carbono orgánico, con un valor de 1,00. “Se conoce como materia orgánica del suelo (MOS) a un conjunto de residuos orgánicos de origen animal y/o vegetal, que están en diferentes etapas de descomposición, que se acumulan tanto en la superficie como dentro del perfil del suelo” Rosell (comos se citó en Martínez, Fuentes y Acevedo, 2008, p. 71), donde el carbono orgánico del suelo (COS) es el principal elemento que forma parte de la MOS.

> La materia orgánica del suelo (MOS) es un elemento clave de la salud del suelo porque regula muchas de las funciones del suelo, incluyendo el almacenamiento de carbono como carbono orgánico del suelo (COS); el almacenamiento, disponibilidad y ciclo de los nutrientes de las plantas; la biodiversidad del suelo; la porosidad, aireación, capacidad de retención de agua y conductividad hídrica del suelo; las propiedades térmicas y resistencia mecánica. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2017, p. 1).

> El carbono orgánico del suelo es la cantidad de carbono que contienen los compuestos orgánicos, El COS es uno de los principales indicadores para determinar la calidad del suelo, y su efecto positivo sobre la sustentabilidad de los sistemas productivos. El COS afecta la mayoría de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo vinculadas con su calidad, sustentabilidad y capacidad productiva (…).
>
> Favorece la agregación del suelo y consecuentemente interviene en la distribución del espacio poroso, afectando diversas propiedades físicas, como humedad aprovechable, capacidad de aire y movimiento de agua y gases en el suelo. (…) interviene en las propiedades químicas del suelo, aumenta la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la capacidad de buffer sobre la reacción del suelo. (Martínez et al., 2008, pp. 69-88).

Al igual, el fósforo disponible (P) presenta una relación positiva frente al potasio de cambio (K) con un valor de 0,78, donde el fósforo y el potasio son dos de los tres macronutrientes (el otro es nitrógeno) requeridos por las plantas para un crecimiento óptimo.

> La disponibilidad de fósforo en los suelos está regulada por procesos químicos y biológicos, En la mayoría de los ecosistemas naturales, los procesos químicos determinan su distribución en el largo plazo, pero, en el corto tiempo, influyen preferentemente los procesos biológicos, ya que el fosforo asimilable por la planta deriva de la materia orgánica. (Vazquez, Morales y Dalurzo, 2004, s.p.).

Con respecto a la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), esta variable presenta correlación inversamente proporcional con el hierro (Fe^{+3}) disponible, con un valor de -0,73 y una correlación altamente significativa de forma directa con el Nitrógeno total (N_2) y el Carbono orgánico (CO) con valores de 0,81 y 0,82 respectivamente; cabe resaltar que la CIC es considerada como una de las más importantes propiedades químicas de los suelos, ya que al estar estrechamente relacionada con la fertilidad del mismo permite la absorción de cationes fácilmente intercambiables por la acción de grandes cantidades de arcillas (coloides inorgánicos) y materia orgánica (coloides orgánicos). La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es un indicador indirecto de la capacidad amortiguadora de los suelos.

La materia orgánica es de gran importancia para el suelo, no solo como fuente de nutrientes, sino también porque aumenta la capacidad de intercambio catiónico. “La CIC, es una propiedad química del suelo estrechamente vinculada a su fertilidad, depende de los coloides inorgánicos (arcillas cristalinas, geles amorfos, óxidos y sesquióxidos de hierro y aluminio) y del contenido de MOS” (Martínez et al., 2008, p. 75). La materia orgánica tiene una CIC alta, razón por la cual los suelos con un alto contenido de materia orgánica presentan, por lo general, una CIC mayor que la de los suelos con un bajo contenido de materia orgánica.

“El hierro es un micronutriente esencial para las plantas, su dinámica está gobernada por la cantidad y tipo de arcilla y la materia orgánica” (Sierra, 2017, párr. 1). La carga de algunos de los componentes del suelo que contribuyen a la CIC se ve afectada por el pH del suelo, por esto es que “la MOS tiene grupos carboxílicos y fenólicos que se comportan como ácidos débiles y tienden a disminuir el pH del suelo” Carrasco (como se citó en Martínez et al., 2008, p. 73).

En cuanto a la variable calcio de cambio (Ca), presenta una correlación directamente proporcional con respecto a magnesio de cambio (Mg), relación Ca:K y la relación (Ca+Mg)/K con valores de 0,78, 0,77 y 0,77 respectivamente. De acuerdo a estas relaciones se establece que el calcio y magnesio tienen un comportamiento muy similar en el suelo y estos elementos son los que se encuentran generalmente en niveles más altos (Parra, 2003). La concentración y la disponibilidad de ambos elementos están controladas generalmente por la capacidad de intercambio catiónico de manera directa.

En lo referente al potasio asimilable, este representa la disponibilidad que existe en los suelos de este nutriente para las plantas. Los contenidos de potasio intercambiable al igual que las reservas de fósforo muestran valores adecuados para las plantas.

> El potasio es un macronutriente absorbido por las plantas en grandes cantidades, siendo superado sólo por el N y, a veces por el Ca. Es el nutriente que menores problemas de disponibilidad presenta, ya que, en general, la provisión de este elemento en los suelos es aceptable. A diferencia del fósforo (o del azufre y por extensión del nitrógeno), el potasio está presente en la solución del suelo solamente como un catión cargado positivamente, K+ (Delgado, Miranda, Cuevas y Vega-Carrillo, 2014, p. 1).
>
> En general se puede decir que los contenidos muy altos de Ca_2+ y Mg_2+ disminuyen la absorción del K+ y que los niveles elevados de K+ pueden llegar a agravar la deficiencia de Mg_2+. Pese a lo expuesto se debe resaltar que las plantas tienen una capacidad de adaptación bastante grande y solo en condiciones de relaciones extremas serían afectadas en su crecimiento. León (como se citó en Sadeghian, 2012, p. 24).
>
> El contenido de bases intercambiables (Ca, Mg y K) define en gran parte el grado de fertilidad del suelo, especialmente el de los dos primeros. Los suelos fértiles se distinguen porque tienen altos contenidos de Ca y Mg, mientras que los suelos muy ácidos generalmente presentan deficiencias de Ca y Mg. Entre más alto el contenido de Ca y Mg, mejor es la fertilidad del suelo. (Molina, s.f., p. 6).

La variable Mg tiene una correlación directamente proporcional con manganeso disponible (Mn) con un valor de 0,82, indirectamente proporcional con nitrógeno total (N_2) con un valor de -0,70; la variable manganeso disponible tiene una correlación inversamente proporcional con nitrógeno total con un valor de -0,72.

Según Loué (1998) y Fageria, Baligar y Clark (2002), las principales condiciones del medio que favorecen la deficiencia del Mn son: suelos orgánicos ricos en materia orgánica. “Las relaciones de equilibrio que deben guardar el Ca, Mg y K son esenciales para una buena asimilación de nutrientes en la planta” Turner & Bull (como se citó en Díaz, Cayón y Mira, 2007, p. 280). “El estado del magnesio (Mg) del suelo depende de su dinámica química controlada por varios factores, tales como el clima, el pH del suelo, la temperatura, la humedad y su interacción con otros cationes” (Bayon, 2012).

Por último, se presenta una correlación entre la variable cobre disponible (Cu) con zinc disponible (Zn) con un valor de 0,74 y la variable nitrógeno total con carbono orgánico con un valor positivo de 0,98.

> El cobre en el suelo no siempre se encuentra totalmente disponible para su absorción por las plantas, debido a que puede estar formando complejos insolubles con la materia orgánica, con arcillas o con aniones, como CO y S, dependiendo de las características del suelo tales como el pH, la capacidad de intercambio de cationes y la presencia de materia orgánica. Krauskopf (como se citó en León y Sepúlveda, 2012, p. 806).

El factor más importante en la acumulación del cobre en el suelo es la materia orgánica, ya que esta tiene la cualidad de formar y combinarse en formas estables con el cobre. Numerosos componentes orgánicos están involucrados en

el proceso, incluyendo los ácidos húmicos y fúlvicos, los últimos considerados como los más activos (Cheam, 1973). Las altas concentraciones de cobre, además de interferir en la absorción y utilización del hierro en la planta, también pueden afectar a otros elementos, como fosforo y zinc (Moore et al., 1957).

Componentes principales

El análisis de componentes principales se trabajó con los promedios resultantes de las repeticiones en cada tratamiento, de esta manera, se obtuvo 21 variables físicas y las dos profundidades evaluadas.

Tabla 12. *Matriz de componentes principales*

N	Valor propio	% F1	Porcentaje acumulado % F2
1	8,6765	**41,32**	**41,32**
2	3,4938	**16,64**	**57,95**

En la Tabla 12 se muestra los valores propios, donde el primer componente (F1) y el segundo componente (F2) representan el 41,32 % y el 16,64 % respectivamente, representando así el 57,95 % de la variabilidad total explicada.

Análisis de variables activas

Tabla 13. *Variables activas*

Variables	Componente	
	F1	F2
pH, Potenciómetro	-0,15	**-0,77**
Materia Orgánica (%)	**-0,85**	0,07
Fósforo disponible (mg/kg)	0,63	0,48
Capacidad Intercambio Catiónico (CIC) (cmol / kg^{-1})	**-0,82**	-0,30
Calcio de Cambio (cmol /kg^{-1})	**0,88**	-0,02
Magnesio de Cambio (cmol /kg^{-1})	**0,88**	-0,01
Potasio de Cambio (cmol /kg^{-1})	0,60	0,49
Aluminio de Cambio (cmol /kg^{-1})	-0,32	-0,08
Hierro Disponible (mg/kg)	0,52	0,70
Manganeso Disponible (mg/kg)	0,84	-0,11
Cobre Disponible (mg/kg)	0,61	-0,37
Zinc Disponible (mg/kg)	0,32	-0,33
Boro Disponible (mg/kg)	-0,15	0,70
Nitrógeno Total (%)	**-0,86**	0,07
Carbono Orgánico (%)	**-0,85**	0,07
Azufre Disponible (mg/kg)	0,24	**0,82**
Ca:Mg	0,29	0,07
Mg:K	0,69	-0,38
K:Mg	-0,60	0,33
Ca:K	0,67	-0,25
(Ca+Mg)/K	0,71	-0,29

Según la Tabla 13 de variables activas, se evidencia una regresión múltiple en los componentes F1 y F2, en el aporte de cada una de las variables. El componente F1 se conforma por las variables de materia orgánica (%), capacidad de intercambio catiónico (CIC) $cmol^{+}/Kg$, calcio de cambio (Ca) $cmol^{+}/Kg$, magnesio de cambio (Mg) $cmol^{+}/Kg$, nitrógeno total (N_2) % y % de carbono orgánico (CO) con valores de -0,85, -0,82, 0,88, 0,88, -0,86, -0,85 respectivamente, y el componente F2 se conforma por las variables pH (potencial de hidrógeno) y azufre disponible (S), con valores de -0,77 y 0,82 respectivamente.

Debido a la conformación mencionada para cada componente, es importante resaltar el papel que cumplen estas variables químicas en el suelo con respecto a la zona de estudio:

"La materia orgánica del suelo contiene cerca del 5 % de N_2 total, pero también contiene otros elementos esenciales para las plantas, tales como fósforo, magnesio, calcio, azufre y micronutrientes" Graetz (como se citó en Julca, 2001, p. 32).

Cuando se refiere al efecto sobre las propiedades químicas del suelo, los autores mencionan que aumenta la capacidad de cambio del suelo, la reserva de nutrientes para la vida vegetal y la capacidad tampón del suelo favorece la acción de los abonos minerales y facilita su absorción a través de la membrana celular de las raicillas. Y en cuanto a su efecto sobre las propiedades biológicas, favorece los procesos de mineralización, el desarrollo de la cubierta vegetal, sirve de alimento a una multitud de microorganismos y estimula el crecimiento de la planta en un sistema ecológico equilibrado, Estos efectos de la materia orgánica también han sido sugeridos por otros autores (Anónimo, 1988; Graetz, 1997). (Julca-Otiniano, Meneses-Florián, Blas-Sevillano y Bello-Amez, 2006, p. 50).

Dentro del componente (F2) se resalta la importancia de los variables pH (potenciales de hidrógeno) y azufre disponible (ppm), en donde "el azufre al ser aplicado al suelo está sujeto a oxidación microbiológica, a través de la cual se transforma a sulfato en condiciones aeróbicas, lo que conduce a una disminución del pH del suelo" (Sierra, Lancelloti y Vidal, 2007, p. 174).

La Figura 5 muestra los valores correspondientes a las variables que integran a cada uno de los componentes.

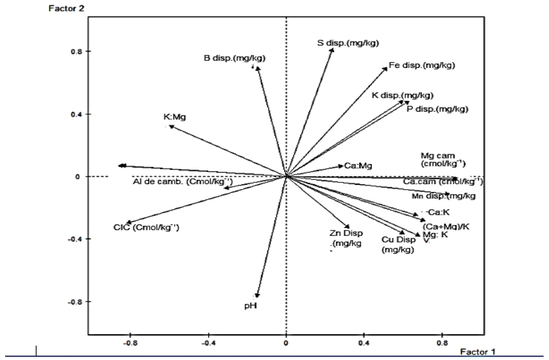


Figura 5. Variables activas segundo biplot a profundidad de 30 cm.

En el biplot (Figura 5) se encuentran representados los dos componentes principales Factor 1 (F1) y Factor 2 (F2) con las variables que los conforman, se puede observar una asociación lineal directa en las variables referidas a la relación Ca:Mg, fósforo disponible (mg/Kg), potasio de cambio (cmol+/Kg), hierro disponible (mg/Kg), azufre disponible (mg/Kg), ubicadas en el cuadrante uno (I), del mismo modo existe una asociación directa entre las variables magnesio de cambio (cmol+/Kg), calcio de cambio (cmol+/Kg), manganeso disponible (mg/Kg), relación Ca:K, relación (Ca+Mg)/K, relación Mg:K, cobre disponible (mg/Kg), zinc disponible (mg/Kg) ubicadas en el cuadrante cuatro (IV), que se encuentran altamente relacionadas (ángulo pequeño/misma dirección).

En el cuadrante (II), las variables boro disponible (mg/Kg) y relación K:Mg no presentan mucha relación entre ellas, mientras que, las variables nitrógeno total (%), carbono orgánico (%) y materia orgánica (%) están estrechamente relacionadas, formando un solo vector hacia una misma dirección, pues a medida que aumenta el contenido de materia orgánica en el suelo también aumentan los contenidos de las variables en mención.

Finalmente, en el cuadrante (III), las variables que presentan mayor relación entre ellas son el aluminio de cambio (cmol+/Kg) y capacidad de intercambio catiónico (cmol+/Kg), siendo estos directamente proporcionales; estas variables se relacionan de una manera no tan significativa pH, pero interfieren en su contenido en el suelo.

Anáilisis de conglomerados

Con el fin de agrupar los suelos con base en sus variables químicas, evaluadas en las unidades experimentales (27 fincas,) con diferentes sistemas de manejo y valorados en 3 pendientes, se realizó el análisis de conglomerados a partir de los componentes principales seleccionados (ver Tabla 14).

Tabla 14. *Identificación de los suelos que conforman cada uno de los tres grupos que constituyen el análisis de clasificación*

Grupo	Nº de Fincas	Fincas	Porcentaje (%)
I	13	1 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 20	48,14
II	8	2 14 15 16 17 18 19 22	29,62
III	6	21 23 24 25 26 27	22,22

De acuerdo a la Tabla 14, en el grupo I se encuentran 13 fincas, las cuales son 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 20; en el grupo II se encuentran 8 fincas, a saber 2, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 22; en el grupo III se encuentran 6 fincas, entre ellas 21, 23, 24, 25, 26, 27, que representan 48,14 %, 29,62 % y 22,22 % de la totalidad de unidades experimentales respectivamente,

Análisis de clúster (grupo) jerárquico de propiedades químicas a profundidad de 30 cm

El primer (I) grupo está integrado por las fincas 1, 3, 10, 8, 6, 5, 4, 7, 20, 9, 12, 11 y 13, en las cuales se encontraron distribuidos los siguientes sistemas: dentro las fincas ubicadas en la pendiente alta están las fincas 1 y 3; el tratamiento bosque secundario en las fincas 8, 7; y el sistema en franjas con cerca elétrica en la finca 9. En las fincas 6, 5 y 4 el sistema convencional, en las fincas 12 y 11 el tratamiento testigo bosque secundario, en la finca 13 el sistema convencional. Todas estas ubicadas en la pendiente media y en la finca 20 se encuentra un tratamiento testigo bosque secundario ubicado en la pendiente plana.

En el grupo (II) se encentran las fincas 14, 2, 19, 22, 17, 16, 15 y 18, en las cuales se encontraron distribuidos los siguientes sistemas: dentro de las fincas 14 y 15 el sistema convencional, en las fincas 16, 17 y 18 el sistemas en franjas con cerca elétrica, las cuales estan ubicadas en la pendiente media; la finca 19 con tratamieto testigo bosque secundario y la finca 22 con sistema convencional, ubicadas en la pendiente plana; y la finca 2 con tratamiento testigo bosque secundario ubicada en la pendiente plana.

En el grupo (III) están localizadas las fincas 24, 23, 26, 21, 25 y 27, en las cuales están distribuidos los siguientes sistemas: en la finca 2 y 24 el sistema convencional, en las fincas 25, 26 y 27 el sistema en franjas con cerca eléctrica y en la finca 21 el tratamiento testigo bosque secundario, ubicados en la pendiente plana, para un total de 27 unidades experimentales (fincas).

Clúster (Grupo) I/III

Tabla 15. *Caracterización de variables continúas grupo I*

Grupo	Nº de Fincas	Variable	Valor Promedio	Valor General
I	13	Capacidad de intercambio catiónico CIC (meq/100g)	55,95	41,76
		Carbono orgánico (%)	13,87	11,39
		Materia orgánica (%)	23,92	19,63
		Nitrógeno total (%)	0,69	0,60
		Azufre disponible (ppm)	7,44	10,86
		Manganeso disponible (ppm)	2,19	19,49
		Calcio de cambio (meq/100g)	1,,20	2,59
		Magnesio de cambio (meq/100g)	0,30	0,63
		Potasio de cambio (meq/100g)	0,21	0,33
		Fosforo disponible (ppm)	7,04	16,49
		Hierro disponible (ppm)	180,92	250,33

El grupo (I) se encuentra conformado por las fincas 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13. La 1 y 3 bosques secundarios (Testigo); las 7, 8 y 9 sistema de ganadería en franjas con cerca eléctrica; las fincas 4, 5 y 6 sistemas de ganadería convencional, las fincas mencionadas hacen parte de la zona alta del área de estudio. Este grupo también lo conforman las fincas 10, 11 y 12, evaluadas bajo el sistema bosque secundario (Testigo), la finca 13 sistema de ganadería convencional, que igualmente hace parte de la zona media, y finalmente, la finca 20 sistema de bosque secundario (Testigo) de la zona plana, dando así un total de 13 unidades experimentales, representando el 48,14 % del total de fincas evaluadas. Cabe resaltar que la mayoría de fincas de este grupo están ubicadas en la zona alta del área de estudio y la que tuvo menos presencia fue la zona plana, representada por una unidad experimental. De igual manera, el sistema más representativo fue el de bosque secundario y el menos representativo fue el sistema de ganadería en franjas con cerca eléctrica.

En este grupo se resalta las siguientes propiedades químicas (ver Tabla 15): capacidad de intercambio catiónico CIC (cmol/kg^{-1}) con valores de 41,76–55,95 cmol/kg^{-1}, carbono orgánico (%) con valores de 11,39–13,87 %, materia orgánica (%) con valores de 19,63–23,92 %, nitrógeno total (%) con valores de 0,60–0,69 %, azufre disponible (mg/Kg) con valores de 10,86–17,44 mg/Kg, manganeso disponible (mg/Kg) con valores de 19,49–2,19 mg/Kg, calcio de cambio (cmol/kg^{-1}) con valores de 2,59–1,20 cmol/kg^{-1}, magnesio de cambio (cmol/kg^{-1}), con valores de 0,63–0,30 cmol/kg^{-1}, potasio de cambio (cmol/kg^{-1}) con valores de 0,33–0,21 cmol/kg^{-1}, fosforo disponible (mg/Kg) con valores de 16,49-7,04 mg/Kg, y hierro disponible (mg/Kg) con valores de 250,33–180,92 mg/Kg, en las cuales el primer valor mencionado corresponde al valor general y el segundo al promedio del grupo en el que se encuentran,

Clúster (Grupo) II/III

Tabla 16. *Caracterización de variables continúas grupo II*

Grupo	Nº de Fincas	Variable	Valor Promedio	Valor General
II	8	Capacidad de intercambio catiónico CIC (cmol/kg^{-1})	29,84	41,76
		pH (potencial de hidrogeno)	4,71	4,96
		Azufre disponible (mg/Kg)	16,91	10,86
		Hierro disponible (mg/Kg)	325,75	250,33
		Boro disponible (mg/Kg)	0,37	0,22

El grupo (II) se encuentra conformado por las fincas 2, 14, 15, 16, 17, 18, 19 y 22, que corresponden a los sistemas de manejo evaluados; las fincas 16, 17 y 18 fueron evaluadas mediante el sistema de ganadería en franjas con cerca eléctrica(zona media); las fincas 14 y 15 (zona media) fueron evaluadas mediante el sistema de ganadería convencional; las fincas 19 y 22 (zona plana) valoradas con los sistemas de bosque secundario (testigo) y sistema de ganadería convencional; finalmente, la finca 2 (zona alta) fue evaluada con el sistema de bosque secundario, dando así un total de 8 unidades experimentales, representando el 29,62 % del total de fincas evaluadas. Cabe resaltar que la mayoría de fincas de este grupo están ubicadas en la zona media del área de estudio, la que menos presencia tuvo en este grupo fue la zona alta representada por una unidad experimental. De igual manera, los sistemas más representativos fueron el sistema de ganadería en franjas con cerca eléctrica y el sistema de ganadería convencional, el menos representativo fue el bosque secundario (testigo).

En este grupo (ver Tabla15), se distinge las siguientes propiedades químicas: azufre disponible mg/Kg con valores de 10,86–16,91 mg/Kg, hierro disponible (mg/Kg) con valores de 250,33–325,75 mg/Kg, boro disponible (mg/Kg) con valores de 0,22-0,37 mg/Kg, capacidad de intercambio catiónico CIC (mg/Kg), con valores de 41,76–29,84, mg/Kg, pH con valores de 4,96-4,71 mg/Kg, en las cuales el primer valor mencionado corresponde al valor general y el segundo al promedio del grupo en el que se encuentran.

Clúster (Grupo) III/III

Tabla 16. *Caracterización de variables continuas grupo III*

Grupo	Nº de Fincas	Variable	Valor Promedio	Valor General
III	6	Capacidad de intercambio catiónico CIC (cmol/kg^{-1})	26,92	41,76
		Carbono orgánico (%)	7,25	11,39
		Materia orgánica (%)	12,50	19,63
		Nitrógeno total (%)	0,44	0,60
		Manganeso disponible (mg/kg)	64,25	19,41
		Calcio de cambio (cmol/kg^{-1})	6,07	2,59
		Magnesio de cambio (cmol/kg^{-1})	1,45	0,63
		Potasio de cambio (cmol/kg^{-1})	0,47	0,33
		Fosforo disponible (mg/kg)	28,52	16,49
		Cobre disponible (mg/kg)	1,45	0,61
		Mg :K	3,30	1,93
		Ca : K	14,33	7,82
		K : Mg	0,34	0,64
		(Ca+Mg) / K	17,63	9,75

El grupo (III) se encuentra conformado por las fincas 21, 23, 24, 25, 26, y 27. La finca 21 sistema de bosque secundario (testigo); las fincas 23 y 24 sistema de ganadería convencional, las fincas 25, 26 y 27 sistema de ganadería en franjas con cerca eléctrica, las fincas mencionadas hacen parte de la zona plana del área de estudio, representando el 22,22 % del total de fincas evaluadas. Cabe resaltar que el sistema más representativo fue el sistema de ganadería en franjas con cerca eléctrica y el menos representativo fue el de bosque secundario (testigo).

En el grupo (III) (ver Tabla 16), la relación Mg:K presenta un valor de 3,30, siendo este superior al promedio general de 1,93 del total de las fincas pertenecientes a este grupo, teniendo en cuenta el estimativo, esta variable se encuentra de forma deficiente en gran medida con respecto al contenido del magnesio (Mg); además, en estas fincas la variable magnesio (Mg) de cambio tiene un valor de 1,47cmol/kg-1, superando el promedio general del total de las unidades experimentales, cuyo valor es de 0,63cmol/kg-1. Estos valores son un indicativo de que estos suelos tienen bajos contenidos de Mg, puesto que son menores a 0,5 cmol/kg-1, así mismo, la relación K: Mg tiene un valor de 0,34cmol/kg-1 siendo este menor al promedio general de 0,64cmol/kg-1, y que al ser estos dos valores superiores a 3,0 cmol/kg-1 indican una deficiencia de Mg en estas fincas. Teniendo en cuenta lo anterior, se puede afirmar que "las deficiencias de Mg2+ tienden a ocurrir cuando los suelos son ácidos, arenosos, altamente lavados y con baja Capacidad de Intercambio Catiónico CIC; en suelos calcáreos el nivel de Mg2+ es inherentemente bajo" Havlin (comos se citó en Sadeghian, 2012, p. 8), Cabe resaltar que según el análisis indicado, esta variable se encuentra presente solo en este grupo, en donde predomina el sistema convencional ubicado en la pendiente plana y que a nivel de esta pendiente el elemento Mg es deficiente.

Conclusiones

• Las formas de degradación más frecuentes en el área de estudio fue la erosión del suelo, generado por caminos del ganado, presencia de terracetas o pata de vaca, acentuándose en mayor porcentaje en las áreas próximas a bebederos.

• Con respecto al resto de propiedades físicas, se puede determinar que estos suelos presentan valores ideales de densidad aparente de 0,58g/cm3 con textura arenosa, lo cual facilita la infiltración del agua, la porosidad y conductividad hidráulica, y una óptima densidad real con un valor de 1,37g/cm3.

• En cuanto a las propiedades químicas, los suelos evaluados presentan un alto contenido de materia orgánica con un porcentaje de 19,63 % en relación al nitrógeno total con 0,60 %, carbono orgánico con 11,39 % y capacidad de intercambio catiónico con 41,76 %, lo cual representa que las variables están en buenas condiciones dentro del suelo; no obstante, estos suelos tienen una deficiencia con bases intercambiables (Ca, Mg y K), con valores de 2,56 cmol/g-1, 0,63 cmol/g-1 y 0,33 cmol/g-1 respectivamente, siendo estos valores inferiores a los estimativos presentes. Además, presentan una alta toxicidad de Fe con valor promedio de 250,33mg/kg, asociado a un bajo nivel pH presente en los suelos con un valor de 4,96, correspondiente a suelos muy fuertemente ácidos.

• Desde el enfoque ambiental, el suelo debe ser visto como un sistema, teniendo en cuenta sus funciones y servicios ecosistemicos, considerando el componente social, económico, ambiental y cultural, resaltando la importancia de encontrar un equilibrio entre la producción ganadera y el desarrollo sostenible, con el fin de contribuir a la restauración, recuperación y conservación de los suelos.

Referencias

Bayon, C. (15 de febrero de 2012). El magnesio, un macroelemento a redescubrir para su aplicación en cereales. *Vida Rural.* Recuperado https://www.kali-gmbh.com/es/pdf-articles/article-20120323-vida-rural-magnesio-macroelemento-aplicacion-cereales.pdf

Betancour, A., Burgos, N. y Solarte, L. (2016). *Evaluación de la suceptibilidad a la erosión hídrica en el sistema de producción de maíz* (Zea mayz) *utilizando parcelas de escorrentia en el municipio de Sibundoy Putumayo* (tesis de pregrado). Instituto Tecnológico del Putumayo, Sibundoy, Putumayo. Recuperado de http://www.itp.edu.co/web2016/phocadownload/Investigacion/Semilleros/Conservemos_nuestros_suelos/ERSOSION%20PARCELAS%20DE%20ESCORRENTIA%20ING%20AMB%20(2016).pdf

Botta, G., Pozzolo, O., Bomben, M., Tourn, M., Soza, E., Rosatto, H., …Stadler, S. (2007). Aplicacion del tràfico controlado en la cosecha de maìz (Zea mays L,), Efecto sobre rendimientos del cultivo y las propiedades fisicas del suelo. *Revista Agro-Ciencia*, *23*(1), 1-13.

Burbano, F. y Cadena, W. (2009). *Determinacion de las caracteristicas edafoclimaticas que garantizan la producciòn y calidad nutritiva del pasto brasilero (Phalaris sp), en condiciones de no intervenciòn, en un rango de altitud comprendida entre 3050-3300 m s. n. m. en el municipio de Guachucal, departamento de Nariño* (tesis de pregrado). Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia.

Cheam, (1973). *Estudio de quelatación del sistema de ácido fúlvico de cobre.* Canadá: Asociacion canadiense de la ciencia del suelo

Delgado, C., Miranda, L., Cuevas, A. y Vega-Carrillo, H. (31 de agosto de 2014). Determinación del ^{40}K en muestras de agua. En *XXV Congreso Anual de la Sociedad Nuclear Mexica; XIII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Seguridad Radiológica,* Congreso llevado a cabo en Boca del Río, Veracruz, México.

Díaz, A., Cayón, G. y Mira, J. (2007). Metabolismo del calcio y su relación con la "mancha de madurez" del fruto de banano. Una revisión. *Agronomía Colombiana, 25*(2), 280-287.

Dorner, J. y Dec. D. (2007). La permeabilidad del aire y conductividad hidráulica saturada como herramienta para la caracterización funcional de los poros del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutricón vegetal, 7*(2), 1-13.

Esquema de Ordenamiento Territorial. (s.f.). Diagnostico General Municipio de San Francisco. Recuperado de http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/diagnostico%20-%20san%20francisco%20(43%20pag%20-%201271%20kb).pdf

Fageria, N., Baligar, V. y Clark, R. (2002). Los micronutrientes en la producción de cultivos. *Elseiver Sciencie.*

Garcia, E. (2011). *Evaluación del impacto del uso ganadero sobre suelo y vegetación en el sistema agroforestal Quesungual (SAQ) en el sur de Lempira, Honduras* (tesis de maestría). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. Recuperado de http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8013/199.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Gómez, F., Barreto, L. y Olarte, O. (s.f.). Vantajas de la implementación del modelo de confinamiento bovino en el departamento del Meta, Colombia. Recuperado de https://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/3665/2/9695407%20Articulo.pdf

González-Barrios, J., González-Cervantes, G., Sánchez, I., López, A. y Valenzuela, L. (2011). Caracterización de la porosidad edáfica como indicador de la calidad física del suelo. *Terra Latinoamerciana, 29*(4), 369-377.

Gutierrez, K, (25 de mayo de 2018). Densidad aparente y densidad real del suelo – edafologia [en línea]. Recuperado de https://es.scribd.com/document/333992351/Densidad-aparente-y-densidad-real-del-suelo-edafologia#

Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (1981), Fertilización en diversos cultivos cuarta aproximación (Manual de asistencia técnica No. 25). Bogotá: Centro experimental Tibaitatá.

Jaramillo, D. (2000). *Manejo del medio fisico del suelo.* Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Jaramillo, D. (2002). *Introduccion a la ciencia del suelo.* Medellín: Universidad Nacional de Colombia

Jaramillo, D., Parra, L. y González, L. (1994). *El recurso suelo en Colombia: Distribución y evaluación.* Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia

Julca, A. (2001). *Efecto de un producto Bio-orgánico (Biomo®) en el cultivo de tomate (Lycopersicum esculentum) bajo plástico en la provincia de Almería (S.E. de España).* España: Universidad de Almería

Julca-Otiniano, A., Meneses-Florián, L., Blas-Sevillano, R. y Bello-Amez, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *Idesia, 24*(1), 49-61. doi: 10.4067/S0718-34292006000100009

Legarda, L., García, R. y Ruiz, H. (2002), *Técnicas y aplicacion del riego agricola.* Pasto: Universidad de Nariño,

León, J. y sepúlveda G. (2012). El daño por oxidación causado por cobre y la respuesta antioxidante de las plantas. *Interciencia, 37*(11), 805-811.

Louè. (1998). *Microelements in the agriculture.* Madrid: Ediciones Mundiprensa

Martínez, E., Fuentes, J. y Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal, 8*(1), 68-96.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Corporación para el Desarrollo Sostenible sur de la Amazonia (CORPOAMAZONIA). (2009). Ordenamiento Territorial Equipo TCAZ expediente municipal. Documento de seguimiento y evaluación del esquema de Ordenamiento Territorial del Municipio de San Francisco, departamento del Putumayo. Recuperado de http://www.corpoamazonia.gov.co/files/Ordenamiento/POT/Exp_Municipal_San%20Francisco.pdf

Molina, E. (s.f.). Análisis de suelos y su interpretación. Recuperado de http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/Suelos/SUELOS-AMINOGROWanalisiseinterpretacion.pdf

Moore et al. (1957). Investigaciòn sobre algulas relaciones entre el cobre, hierro y molibdeno en el crecimiento y nutriciòn de las plantas. Ohio: Sociedad Americana de las ciencias del suelo.

Mora, M., Ríos-Pescador, L., Ríos-Ramos, L. y Almario, J. (2017). Impacto de la actividad ganadera sobre el suelo en Colombia. *Ingeniería y Región, 17,* 1-12. doi: 10.25054/22161325.1212

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2017). Liberación del Potencial del Carbono Orgánico del suelo. Recuperado de http://www.fao.org/3/b-i7268s.pdf

Parra, J. (2003). *Guía de muestreo* (2.ª ed.). Maracaibo: Universidad de Zulia.

Rico, G. (17 de enero de 2017). Colombia: la ganadería extensiva está acabando con los bosques. *Mongabay Latam.* Recuperado de https://es.mongabay.com/2017/01/colombia-ganaderia-deforestacion/

Rubio, A, (2010), *La densidad aparente en los suelos forestales del parque natural los Alcornocales* (tesis de pregrado). Universidad de Sevilla, Sevilla, España. Recuperado de http://digital.csic.es/bitstream/10261/57951/1/La%20densidad%20aparente%20en%20suelos%20forestales%20.pdf

Sadeghian, S. (2012). *Efecto de los cambios en las relaciones de calcio, magnesio y potasio intercambiables en suelos de la zona cafetera colombiana sobre la nutrición de café (Coffea arabica L.) en la etapa de almácigo* (tesis doctoral). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. Recuperado de http://www.bdigital.unal.edu.co/5723/1/16077856.2012.pdf

Sadeghian, S., Rivera, J. y Gómez, M. (s.f.). Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia. En *Conferencia electrónica de la FAO sobre Agroforestería para la producción animal en Latinamérica.* Recuperado de http://www.fao.org/ag/aga/agap/frg/agrofor1/Siavosh6.htm

Salamanca, A. y Sadeghian, S. (2005). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé, 56*(4), 381-397.

Salamanca, R. (1984). *Suelos y fertilizantes.* Bogotá: Universidad Santo Tomás.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (s.f.). Indicadores básicos del desempeño am,biental de México. Recuperado de https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores14/conjuntob/03_suelos/03_suelos_presion.html

Sierra, C., Lancelloti, A. y Vidal, I. (2007). Azufre elemental como corrector del pH y la fertilidad de algunos suelos de la III y IV región de Chile. *Agricultura técnica, 67*(2), 173-181. doi: 10.4067/S0365-28072007000200007

Vazquez, S., Morales, L. y Dalurzo, H. (2004). Disponibilidad del fosforo en suelos ácidos de misiones, Argentina. *Agricultura técnica, 64*(1). doi: 10.4067/S0365-28072004000100006

Totora (*Schoenoplectus Californicus*), Achira (*Canna Indica*) y Cartucho (*Zantedeschia Aethiopica*) en humedales artificiales tipo HAFSSh

Andrés Pantoja E.[54]
Ginna Tarapues P.[55]
James Rosero C.[56]

Resumen

Las aguas residuales provenientes de origen pecuario poseen altas cargas contaminantes. Los sistemas no convencionales, como los humedales artificiales, intentan dar solución a esta problemática, en escenarios donde las alternativas convencionales no son factibles. En esta investigación se buscó determinar la remoción de carga contaminante brindada por humedales artificiales de tipo subsuperficial horizontal (HAFSSh), en aguas pretratadas de origen pecuario de la Granja Experimental Botana de la Universidad de Nariño. Para ello se diseñó e implemento un sistema compuesto por cuatro HAFSSh, con variación de especies vegetales, entre ellas: *Schoenoplectus californicus, Canna indica, y Zantedeschia aethiopica, L.* Para su dimensionamiento se consideró las fórmulas y criterios de diseño de Kadlec, RAS y Reed; se realizó el seguimiento semanal a las estaciones durante los dos meses posteriores al arranque, encontrando que la Totora muestra hasta 12 % más de remoción en SST y DBO5, y un 22 % más de remoción en DQO respecto a la estación sin plantar.

[54] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: andespa001@gmail.com

[55] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: ginnat0208@gmail.com

[56] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: jamesro0@hotmail.com

Palabras clave: humedal artificial, plantas acuáticas, tratamiento de aguas residuales.

Totora (*Schoenoplectus Californicus*), Achira (*Canna Indica*) and Cartucho (*Zantedeschia Aethiopica*) in constructed wetlands type HSFWs

Abstract

The wastewater livestock origin has high pollutant loads. Unconventional systems such as artificial wetlands try to solve this problem in scenarios where conventional alternatives are not feasible; this research sought to determine the removal of contaminant load provided by artificial sub-superficial horizontal wetlands (HSFCWs), in pre-treated waters of livestock origin from the Botana Experimental Farm, of the University of Nariño. A system composed of four HSFCWs with variation of plant species was designed and implemented: *Schoenoplectus californicus, Canna indica, y Zantedeschia aethiopica L.* For its sizing the formulas and design criteria of Kadlec, RAS and Reed were considered, the weekly monitoring of the stations was carried out during the two months after the start, finding that the Totora shows up to 12% more removal in SST and BOD5, and a 22% more removal in COD compared to the unplanted season.

Key words: constructed wetland, aquatic plants, waste treatment.

Totora (*Schoenoplectus Californicus*), Achira (*Canna Indica*) e Cartucho (*Zantedeschia Aethiopica*) em zonas húmidas artificiais do tipo ZHAFHSs

Resumo

Águas residuais de origem pecuária têm altas cargas poluidoras; sistemas não convencionais, como zonas úmidas artificiais, tentam resolver esse problema em cenários em que alternativas convencionais não são viáveis; esta pesquisa procurou determinar a remoção da carga contaminante fornecida por terras húmidas sub-superficiais artificiais (ZHAFHSs), em águas pré-tratadas de origem pecuária da Fazenda Experimental de Botana, da Universidade de Nariño; para isso, um sistema composto de quatro (HAFSSh) com variação de espécies vegetais foi desenhado e implementado: *Schoenoplectus californicus, Canna indica, y Zantedeschia aethiopica L.* Para o seu dimensionamento, foram consideradas as fórmulas e critérios de projeto de Kadlec, RAS e Reed. O monitoramento semanal das estações foi realizado durante os dois meses após o início, constatando que o Totora apresenta até 12% a mais de remoção em SST e DBO5, e uma remoção de 22% a mais em DQO, em comparação com a estação não plantada.

Palavras-chave: zonas húmidas artificiais, plantas aquáticas, tratamento de águas residuais.

Introducción

Según Secretaría de la Convención de Ramsar (2013), un humedal es una zona de la superficie terrestre con características climáticas y bióticas particulares, que está temporal o permanentemente inundada. Los humedales artificiales, básicamente son zonas construidas en las que se reproducen de manera controlada, los procesos físicos, químicos y biológicos de eliminación de contaminantes que ocurren normalmente en los humedales naturales (Soto, 2016).

Como describe Lara (1999), consisten en un área inundable, generalmente, una excavación impermeabilizada, con dimensiones controladas, la cual se llena con el agua a tratar o bien se deja que ésta circule a través del sistema; sobre dicha área se distribuye un medio de soporte o sustrato, que consiste en un material de porosidad conocida sobre el cual se siembran plantas.

Según Salas, Pidre y Fahd (s.f) se consideran sistemas de bioremediación no convencional para el tratamiento de aguas residuales (AR), ya que como señala Estrada (2010), el tratamiento se da en gran medida gracias a la remoción de carga contaminante realizada por microorganismos facultativos, aerobios y anaerobios, fijados al medio junto con el material vegetal; este último, según Lara (1999), además de brindar soporte físico al sistema, también actúa como asimilador de los contaminantes del agua; así mismo, han demostrado formar asociaciones dendríticas con los microorganismos acuáticos del medio de fijación. En conjunto, plantas y microorganismos al momento de alimentarse de la materia orgánica presente en el agua residual, la absorben y degradan, descontaminando así las aguas.

De ahí que, determinar la especie vegetal y el medio de soporte adecuado es importante, Scholz (2016) recomienda que las plantas se deben escoger de acuerdo a la disponibilidad regional y a la adaptabilidad a las condiciones climáticas y de saturación a las que se verán sometidas. Las variaciones de porosidad entre los diversos materiales que se pueden utilizar como medio (gravas, arenas, plásticos, maderas y otros) determinarán la facilidad con la cual los microrganismos serán adheridos al soporte físico y formarán colonias sobre dichos materiales (Lara, 1999); a estas formaciones se les denomina biopelícula o biofilm (Lozano, 2016).

Cardenas y Gonzáles (2015) encontraron que la remoción obtenida con *Canna Spp. y Zantedeschia aethiopica*, L. en aguas industriales era significativamente mayor en la DBO_5, siendo esta de 67,2 % en ambas especies; sin embargo, los humedales plantados con Z. *aethiopica* L. lograron un 43,35 % de remoción en DQO frente los plantados con *Canna Spp*, cuya remoción fue inferior al 10 %. Respecto a los SST, las estaciones con *Canna Spp* lograron un 30 % mientras aquellos con Z. *aethiopica* L. solo alcanzaron un 5 % de remoción, de acuerdo al estudio ambas especies lograron adaptarse a condiciones de saturación propias de los humedales.

Dichas conclusiones son corroboradas por Duchicela y Toledo (2014), quienes compararon estaciones con un montaje a nivel de laboratorio y en campo con Achira, mencionan que la planta Achira tiene una capacidad depuradora de 32,4 % para DBO_5, en comunidades rurales de Chulcunag con aguas mixtas residuales y provenientes de cría de animales, demostrando su efectividad en temperaturas ambientales inferiores a las 20 ºC. Por su parte la especie *Z. aethiopica* L., en la investigación de Figueroa (1999), logró comprobar que aquella incrementa la efectividad en la remoción respecto a una estación testigo sin especies vegetales, en 13 % para DQO, 13 % en DBO_5 y para SST en 9,62 %. En la investigación de Rojas, Vera y Vidal (2013), se encontró que la especie *Schoenoplectus californicus* en condiciones invernales puede alcanzar una eliminación de DQO superior al 80 %, en DBO_5 inferior al 50 % y de SST entre 65 % y 85 %.

Según Díaz (2014), las tecnologías no convencionales, como los HAFSSh, se usan como tratamientos complementarios en las aguas residuales. Wong (2004) menciona que estos poseen ventajas sobre sistemas convencionales, principalmente en casos donde resulta difícil construir, operar o mantener adecuadamente tratamientos tradicionales. Gonzáles y Deas (2011) afirman que estos últimos son costosos y requieren de altos consumos energéticos e infraestructurales, lo cual hace difícil su implementación a pequeña escala; Duque y Ardila, (2014) resaltan la importancia de llevar estos sistemas a los pequeños sectores productivos generadores de contaminación por vertimientos, ya que sus condiciones socioeconómicas imposibilitan la implementación de soluciones a gran escala.

Pérez (2006), en su investigación sobre la incidencia de las actividades de granjas porcinas en el medio ambiente, realiza una contextualización de la producción de porcinos en granjas de baja y media tecnificación en América, y afirma que uno de los principales problemas ambientales, derivados de esta actividad, es la incorporación de materia orgánica en el agua, debido al contenido húmedo de la orina y las heces del animal. En Colombia, la cría de porcinos es una de las 73 actividades productivas priorizadas para la reglamentación de los parámetros de sus vertimientos puntuales, esto según el Decreto 3930 (2010); para ello mediante la Resolución 631 (2015), se establecen los siguientes límites en los parámetros generales (ver Tabla 1).

Tabla 1. *Límites permisibles para vertimientos puntuales, sector cría de porcinos (Res. 631, 2015)*

Parámetro	pH	DQO mg/l	DBO_5 mg/l	SST mg/l	SSED mg/l	Grasas y aceites mg/l
Ganadería de porcinos – cría	6 a 9	900	450	400	5	20

Los diferentes tipos de humedales artificiales se agrupan, según Hoffman, Platzer, Winker & Von Muench (2011), de acuerdo a características hidráulicas y a consideraciones de diseño de los diferentes investigadores. Bajo este mismo precepto, Stefanakis (2015) señala que se puede encontrar dos tipos que se han denominado de acuerdo a la dirección del flujo de las aguas al pasar por ellos, en los subsuperficiales, el agua no entra en contacto directo con la atmósfera, ya que el medio de fijación actúa como cobertura y aislante; en los superficiales el agua está expuesta al aire y el medio está debajo de ella. Díaz (2014) cita que teniendo en cuenta las zonas de entrada y salida del agua para su clasificación, se diferencian entre verticales y horizontales.

La United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA) (2000) destaca algunas ventajas de los humedales de tipo subsuperficial frente a los de tipo superficial, como el aislamiento térmico y la protección frente a vectores que brinda el medio, ya que el agua circula por debajo, mayores eficiencias con tiempos de retención mayores. Según Eslamian (2015), los de flujo subsuperficial son los más usados a nivel mundial, situación que se comparte a nivel nacional, pues según Díaz (2014), han tenido amplia aplicación en Colombia; por ejemplo, se han realizado estudios acerca de eficiencia de sistemas a escala piloto para tratamiento de aguas residuales en una granja porcícola en la ciudad de Pereira, en este caso el tipo de humedales fue híbrido, los cuales han dado resultados importantes con respecto a DBO_5, DQO, SST y N., obteniendo remociones superiores al 60 % (Duque y Ardila, 2014).

Descripción del contexto de la investigación

En la granja Botana de la Universidad de Nariño, como parte de sus actividades en investigación, se produce un promedio anual de 176 cabezas de porcinos en dos periodos, asociado a ese proceso las descargas de aguas residuales se realizan en dos ciclos álgidos, entre los meses de febrero a junio y el segundo de agosto a noviembre (Villota, 2015). Dichas descargas llegan a un arroyo superficial, el cual es el primer aportante de la quebrada Miraflores, y de acuerdo a la reglamentación de vertimientos presente en el PORH de la quebrada Miraflores (Corponariño, 2012), la Granja Botana UDENAR como usuario debe alcanzar los 296 mg/l para la DBO_5 y 137 mg/l para SST entre 2016 y 2021.

Actualmente, el STAR de la granja cuenta con 2 biodigestores, retenedores laterales de sólidos, rejilla de gruesos, un sedimentador y un reactor de flujo ascendente, dichos sistemas de tratamiento permiten que las aguas residuales pasen de tener alrededor de 1.080 mg/l a 548 mg/l en DBO_5, y de 1.482 mg/l a un promedio de 108,58 mg/l en SST, con picos de hasta 300 mg/l, estos niveles de remoción no siempre están dentro de los límites permisibles, cuyo rango máximo son de 450 y 400 mg/l para DBO_5 y SST respectivamente. Según la Resolución 631 (2015), esta situación es común en criaderos porcícolas y ganaderos a nivel regional y nacional, como menciona el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo (2006), de ahí que la naturaleza de las aguas residuales requiera de un tratamiento complementario que favorezca la mitigación del impacto que genera dichos vertimientos.

Por lo anterior, el objeto de la presente investigación consistió en determinar la eficiencia de remoción de carga contaminante de aguas residuales provenientes de actividades de producción porcícola en la finca Botana de la Universidad de Nariño, con humedales artificiales piloto de tipo subsuperficial horizontal.

La presente investigación se desarrolló en la vereda Botana del corregimiento de Catambuco, ubicada a 9 km al sur de la ciudad de San Juan de Pasto; concretamente en la Granja Botana de la Universidad de Nariño, a los 1º09’29.77”N y 77º16’39.79” W. Con una temperatura promedio de 12 ºC (Pineda, 2013)

Metodología

El proyecto se ubicó contiguo a la planta de tratamiento de la granja, la cual consta de un pretratamiento por medio de dos biodigestores, un sistema de filtración de sólidos, una rejilla, sedimentadores y un reactor de flujo ascendente. Las aguas se recogieron de la última cajilla de recolección, ya que se quería evitar problemas de colmatación en el sistema porque los humedales se consideran un tratamiento complementario (Res 0330, 2017).

Fase 1: Aforo y caracterización del vertimiento

Se obtuvieron los datos de caudales de la salida de la PTAR, durante 4 meses. Se realizó un muestreo del agua residual que alimentó a las estaciones, se optó por un muestreo simple, ya que los caudales y las condiciones de entrega de muestras no permitieron realizar la composición de las mismas, en vez de ello se tuvo en cuenta las horas con picos de caudal identificados en la primera fase, para que las muestras fueran significativas, tal como lo señala la Ficha Técnica Código TI0187 (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2007).

Además, se determinó la biodegradabilidad del vertimiento, por medio de la relación DBO_5/DQO. Para Zamora, Freire y Jurado (2014), dicha relación indica que tan biodegradable es un flujo; cuando la relación es inferior a 0.2, el flujo es poco biodegradable; entre 0.2 y 0.4 es biodegradable y con valores superiores a 0.4, indica flujos altamente biodegradables.

Fase 2: Dimensionamiento

Para fines de diseño, fue necesario determinar la porosidad del medio filtrante, la cual se calculó por medio de la metodología descrita por Guzmán (2008), quien detalla el proceso para la estimación del porcentaje de huecos de gravas mediante la siguiente fórmula:

$$\%\ hueco = \frac{\text{Volumen de agua empleada (Vw)}}{\text{Volumen muestra (V)}} . 100$$

a. Área de humedales a escala piloto.

Se consideraron 4 estaciones de igual dimensión, como lo indica la Figura 2. Para el cálculo del área superficial necesaria por estación se consideró el

área disponible para la investigación y las fórmulas de diseño de la Tabla 2, partiendo de las concentraciones más altas registradas.

Tabla 2. *Fórmulas y convenciones para la estimación del Área superficial a partir de la DBO_5 de HAFSSh*

Autor	Ecuación
Kadlec	$As = \frac{Q}{K_A} ln\left(\frac{C_0 - C^*}{C_e - C^*}\right)$
Reed	$As = \frac{QLn\left(\frac{C_0}{C_e}\right)}{K_T * (h) * (n)}$
RAS 2000	$As = \frac{Qd\ (Ln\ Co - Ln\ Ce)}{K_T * (D) * (n)}$

Fuente: Espinoza, 2014.

b. **Corrección de la constante cinética.**

Debido al clima de la zona, se requirió hacer una corrección a las constantes K_t y K_A para cada autor (ver Tabla 3).

Tabla 3. *Corrección de K_t y K_A*

Constante cinética por autor	K_{20} asumido (d^{-1})	Corrección según T°
K_A (Kadlec)	0,32	$= K_{A,20}\ (\theta)^{(T-20)}$
Kt (Reed)	1,104	$= K_{20}\ (1,06)^{(T-20)}$
Kt (RAS 2000)	0,175	$=K_{20}\ (1,047^{(t-20)})$

Fuente: Espinoza, 2014.

c. **Otras dimensiones.**

Para determinar el ancho y el largo de la celda se utilizó las fórmulas propuestas por Yocum (2007):

$$W = \left[\frac{A_S}{R_A}\right]^{\frac{1}{2}} \qquad l = \frac{A_S}{w}$$

Donde:

W: Ancho de la celda de humedal, m

A_S: Área superficial del humedal, m^2

R_A: Relación largo/ancho 3/1 (Vinueza, 2014)

l: largo de la celda del humedal, m

La U.S. EPA (2000) recomienda que la pendiente sea del 1 % como factor de seguridad, lo que contribuiría a prevenir posibles atascamientos y zonas muertas en el momento del diseño.

Fase 3: Diseño de las estaciones

La unidad piloto fue conformada por 3 HAFSSh funcionando en paralelo, en las que varió el material vegetal, junto con un testigo como se muestra en la Figura 1 (Figueroa, 1999).

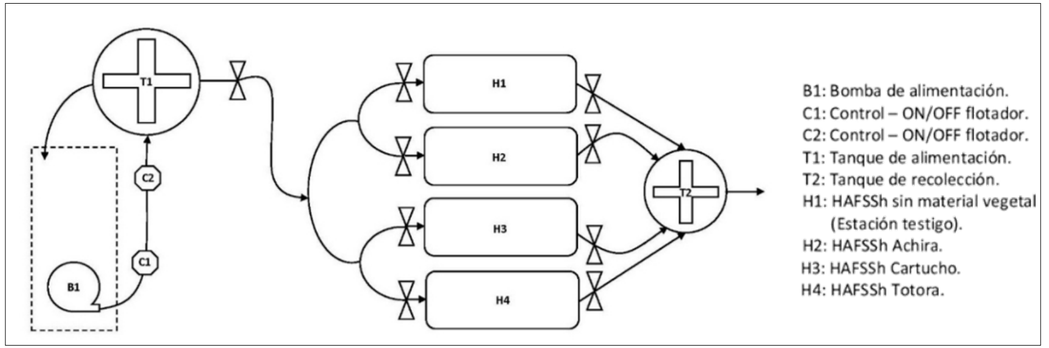


Figura 1. Distribución de los sistemas de tratamiento a escala piloto.

Material vegetal

Para esta investigación se escogió como material vegetal a las especies *Schoenoplectus californicus, Canna indica, y Zantedeschia aethiopica* L., comúnmente conocidas como Achira, Totora y Cartucho respectivamente; éstas fueron seleccionadas teniendo en cuenta su adaptabilidad, ya que son especies que se puede encontrar en la región, (Caicedo, Rozo y Bonilla, 2000; Parques Nacionales Naturales de Colombia, s.f.; Lazzereschi, Grassotti, Cacini y Nesi, 2011; Potosí y Yepez, 2015).

Para establecer la cantidad de plantas por estación se tomó la recomendación de Reyes y Rafael (2012), quienes mencionan que se debe sembrar por lo menos 5 plantas/m^2, a fin de que se garantice una buena cobertura.

Fase 4: Montaje de las estaciones

a. **Montaje hidráulico.**

La distribución del agua residual se realizó como se observa en la Figura 1, desde el último canal de recolección de la PTAR hacia un tanque elevado a 2,5 m, por medio de una bomba de 1 hp. La conducción se realizó por medio de manguera de 1" con válvulas a la entrada y salida de cada estación, garantizando que no hubiera aireación en las uniones de la tubería por presiones negativas.

La U.S. EPA (2000) recomienda que, las estructuras de entrada y descarga aseguren la distribución adecuada y la recolección uniforme del agua residual aplicada. La entrada consistió en una tubería o flauta perforada de 1" y el tubo de salida de 1", se localizó a la misma altura que la entrada, apenas debajo del nivel del agua (Yocum, 2007). El diseño hidráulico de un humedal es crítico para obtener buenos rendimientos en la eficiencia de depuración. En los modelos de diseño se asume un flujo en condiciones uniformes y de tipo pistón (Delgadillo, Camacho, Pérez y Andrade, 2010).

b. **Medio de soporte y material vegetal.**

Las 4 estaciones se llenaron con una mezcla de materiales en tres fases, como lo señala Yocum (2007). El tamaño de la grava en los primeros 50 cm de entrada y los últimos 50 cm fue de 2 pulgadas de diámetro para evitar colmataciones y facilitar el flujo (ver Figura 5), sin embargo, dicha variación en materiales no se tuvo en cuenta para el dimensionamiento, y se asumió como medio diseño al triturado, ya que el área efectiva no se vería afectada por la variación de diámetro.

Posterior al relleno con el material de soporte, se dejó que el agua residual corriera a través de las estaciones, a fin de realizar una prueba hidráulica de los sistemas y facilitar la proliferación de microorganismos en el medio, esto durante un periodo de 4 meses, siguiendo las recomendaciones de la U.S. EPA (2000), ya que así los procesos previos de estabilización del material vegetal y el medio de soporte permitirían obtener una remoción uniforme y constante.

c. **Estabilización y siembra del material vegetal.**

Se programaron 8 semanas durante las cuales las plantas fueron sometidas a diferentes porcentajes de dilución (entre agua limpia y agua residual), siguiendo el procedimiento descrito por Bohórquez (2009), partiendo de un 100 % de agua lluvia en la primera semana, hasta llegar a un 100 % de agua residual en la octava semana (ver Tabla 4).

Tabla 4. *Porcentajes de mezcla de AR y agua limpia para la estabilización del material vegetal*

Semana	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
%Agua Residual	0	15	30	45	60	75	90	100
%Agua lluvia	100	85	70	65	40	15	10	0

Al momento de trasladar las plántulas desde los contenedores donde se estabilizaron a las estaciones, se consideraron las recomendaciones de Delgadillo et al. (2010), sembrando las raíces por debajo de 5cm de la superficie y revisando que la porción radicular fuera mayor a 10 cm. Al momento del trasplante del material vegetal se optó por una distribución concentrada de las 5 plantas por cada m², esto según Fernández (2005), debido a que durante la etapa de estabilización las raíces de los grupos de plantas se entrelazaron, y separarlas conllevaría riesgos por el daño a las raíces.

Fase 5: Determinación eficiencia estaciones

a. **Caracterización (Efluente estaciones).**

Como recomiendan Britson & Wardrop (2016), se realizó seguimiento a la remoción de carga contaminante de manera semanal durante los 2 meses posteriores al montaje y estabilización del medio y el material vegetal. Las variables que se escogieron fueron la demanda bioquímica de oxigeno (DBO_5), la Demanda Química de oxigeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST), variables determinantes para el cobro por tasa retributiva por vertimiento puntuales (Decreto 1076 de 2015).

b. **Análisis estadístico.**

Se optó por aplicar una prueba de normalidad a los datos obtenidos, a fin de determinar si correspondian a una distribución factible, se escogió la prueba de Shapiro Wilk, debido a que trabaja mejor con muestras pequeñas (inferiores a 50); junto con análisis de correlación y varianza (Nornadiah y Yap, 2011).

Resultados

Fase 1: Aforo y caracterización del vertimiento

Las aguas de salida de la PTAR alcanzan concentraciones eventuales alejadas de la media (ver Tabla 5), sin embargo, dicha situación se explica por las temporadas altas de producción, lo cual incrementa la demanda de agua y, por ende, la carga vertida.

Tabla 5. *Histórico de concentraciones de salida PTAR granja Botana (2016-2017)*

Parámetro	**Fecha Muestreo**					
	19-09-17	**28-04-17**	**12-01-17**	**24-11-16**	**09-06-16**	**Promedio**
SST mg/l	80	36,89	320	92	14	108,58
DBO_5 mg/l	257,51	203,58	548,4	435	1362	316,14
DQO mg/l	725,7	415	-	-	-	570,35

La biodegradabilidad obtenida para el afluente fue de 0.55, indicando un flujo altamente biodegradable, lo que concuerda con la investigación de Arias, Betancur, Gómez, Salazar y Hernández (2010), quienes trabajaron con aguas provenientes de criaderos porcícolas, encontrando una biodegradablidad de 0.53.

El caudal se incrementa después del mediodía (ver Figura 2) por el tiempo de recorrido de las aguas que pasan a través de los procesos unitarios del sistema de tratamiento, este proceso dura aproximadamente 6 horas (Villota, 2015).



Figura 2. Promedio de caudales hora a hora salida PTAR.

Fase 2: Dimensionamiento de estaciones

En la Tabla 6 se muestra la estimación del área superficial requerida para los HAFSSh, se obtuvo un área aproximada de 3m² para tratar la DBO_5, la cual fue inferior a la estimada a partir de la DQO (4 m²); sin embargo, este valor no se tuvo en cuenta, ya que se requería realizar una comparación con investigaciones paralelas basadas en la DBO_5.

Tabla 6. *Cálculo del área superficial a partir de la DBO_5 según Kadlec, Reed y RAS, 2000*

Autor de referencia	**Área superficial (m^2)**
Kadlec	*As = 2,92 ≈ 3*
Reed	*As = 3*
RAS 2000	*As = 2,99 ≈ 3*

Fuente: Espinoza, 2014

Una vez obtenida el área superficial se procedió a calcular las dimensiones: ancho y largo, utilizando las fórmulas propuestas por Yocum (2007); por lo tanto, las dimensiones de cada unidad fueron 3m de largo por 1m de ancho; y para la profundidad, según recomiendan Arias et al. (2010), en condiciones de temperatura inferiores a 18 ºC se asumieron 0,6 m (ver Figura 3).

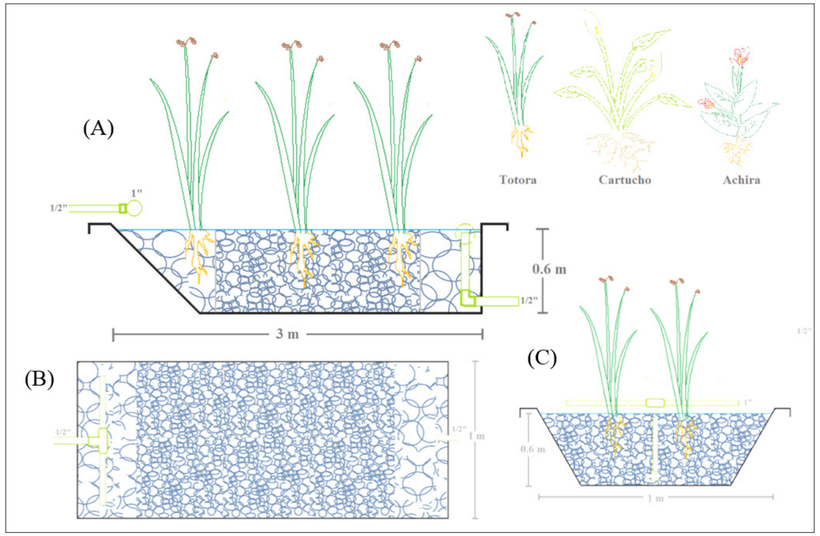


Figura 3. Vistas laterales. (A) Superior; (B) Frontal; (C) de las estaciones HSSFh.

Fase 3 y 4: Diseño y montaje de las estaciones

Según establece Estrada (2010), la etapa de montaje culmina una vez se hace evidente la formación de la biopelícula sobre el medio de fijación, proceso que tomó alrededor de 16 semanas, lo cual concuerda con la investigación de Cárdenas y Gonzáles (2015), cuya estabilización tomó entre 4 a 6 meses.

Fase 5: Determinación de la eficiencia de las estaciones

La remoción media de las estaciones se puede apreciar en la Tabla 7, la cual muestra que las remociones más altas fueron en SST, esto podría deberse a que las temperaturas bajas no tienen influencia significativa sobre los procesos de filtración y sedimentación lo cual no pasa con las reacciones y los procesos biológicos (Rojas et al., 2013).

Tabla 7. *Media del porcentaje de remoción en las estaciones*

Variable	Promedio % remoción			
	Testigo	Achira	Cartucho	Totora
SST	71.80	81.25	76.65	83.93
DBO5	69.14	66.54	68.89	81.61
DQO	38.75	35.90	39.97	61.11

Tabla 8. *Media de concentración vertida*

Parámetro	Promedio HAFSSh 1 mg/l	Promedio HAFSSh 2 mg/l	Promedio HAFSSh 3 mg/l	Promedio HAFSSh 4 mg/l	Promedio Total mg/l
SST	30.61	20.36	25.36	17.45	23.44
DBO5	85.52	92.72	86.21	50.96	78.85
DQO	444.47	465.18	435.67	282.23	406.89

Como se observa en la Figura 4, durante las dos primeras semanas, los SST en la estación testigo muestran picos álgidos alejados de la media de testigo (*m* = 30.61) en la concentración vertida, mientras que las estaciones plantadas muestran una estabilización más temprana, posiblemente debido a que las plantas favorecen la estabilización de los procesos físicos en los humedales, como la sedimentación y la filtración (Salas et al.,s.f.); lo cual podría explicar igualmente que, la varianza para los SST fue menor respecto a las demás variables (*s* = 28.47), tal como se evidencia en la Tabla 10. Esto significaría que las estaciones que contaban con material vegetal se estabilizaron en menor tiempo que el testigo.

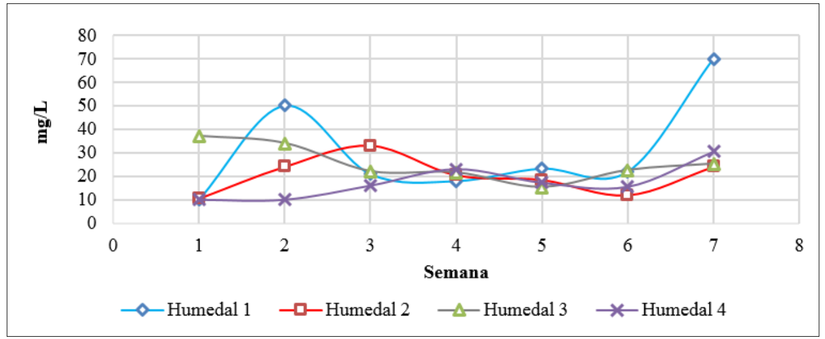


Figura 4. Concentración SST efluente.

Como se observa en las Figuras 5 y 6, tanto la DBO_5 como la DQO muestran comportamientos similares durante las 7 semanas evaluadas, contrario a los SST, la DBO_5 y la DQO, que no presentan diferenciación entre las estaciones plantadas y la de testigo, tampoco muestran una estabilización marcada, a excepción del humedal plantado con Totora, el cual muestra una varianza menor respecto al promedio (ver Tabla 10.) (s_{DBO} = 20.58; s_{DQO} 40.81), y muestra hasta 12 % más de remoción en SST y DBO_5, y un 22 % más de remoción en DQO respecto a la estación sin plantar.

Esto podría deberse a que la Totora trabaja mejor en medios saturados de entre 90 a 100 % de inundabilidad, además, fue la única que se acondicionó previa poda de su tallo, ya que en el posarranque, el consumo de material biodegradable es esporádicamente alto, debido a la reposición de tejido que realiza el material vegetal (Zamora et al., 2014). Delgadillo et al. (2010) manifiestan que "la totora y las helófitas en general son ancestros directos de los denominados vegetales vasculares" (p. 22), eso hace que posean epidermis muy delgadas a fin de reducir la resistencia al paso de gases, agua y nutrientes, también se caracterizan por disponer de grandes espacios intercelulares que forman una red de conductos huecos en los que se almacena y circula aire oxígenado; permitiendo así la transferencia hacia las raíces, los aerénquimas de los tallos son tejidos sin color con grandes espacios intercelulares llenos de aire, que facilitan la flotación y la llegada de aire a los órganos sumergidos (Delgadillo et al., 2010); esto explica porque la Totora registra menores concentraciones en los parámetros DBO_5 y DQO.

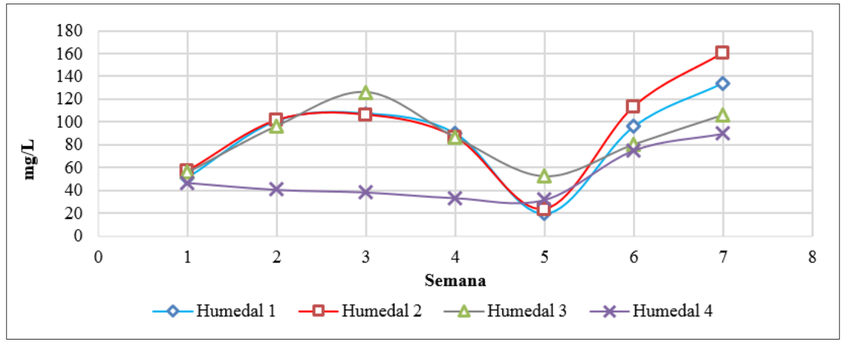


Figura 5. Concentración DBO_5 efluente.

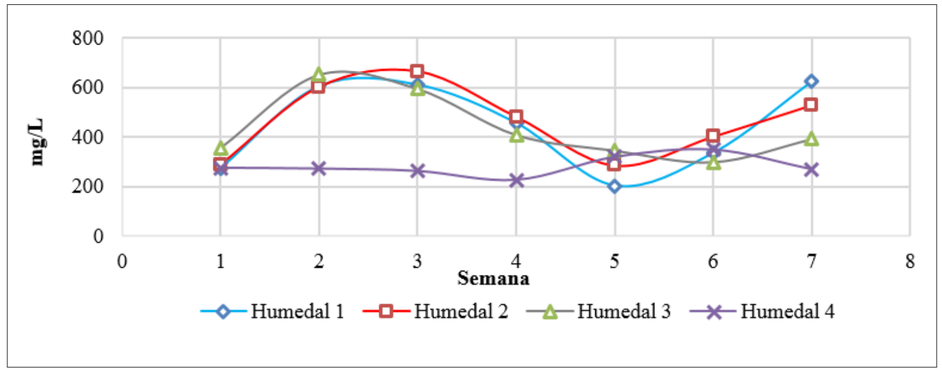


Figura 6. Concentración DQO efluente.

La variación del pH se mantuvo en un rango de 7.4 a 8 (ver Figura 7); dicho rango corresponde al óptimo señalado por Marín, Solis, López, Bautista-Margulis y Romellón (2016) para el funcionamiento adecuado de estos sistemas; la correlación del pH calculada para los SST fue nula (ρ = -0.09), mientras que para la DBO_5 y la DQO fue débil (ρ = -0.3 y 0.1 respectivamente), las correlaciones obtenidas se deben a que las variaciones bruscas de pH tienen una influencia directamente proporcional en la remoción (Quintero, 2014), sin embargo, las variaciones de pH en este caso no fueron significativas, por ende, este factor no tuvo influencia en la remoción.

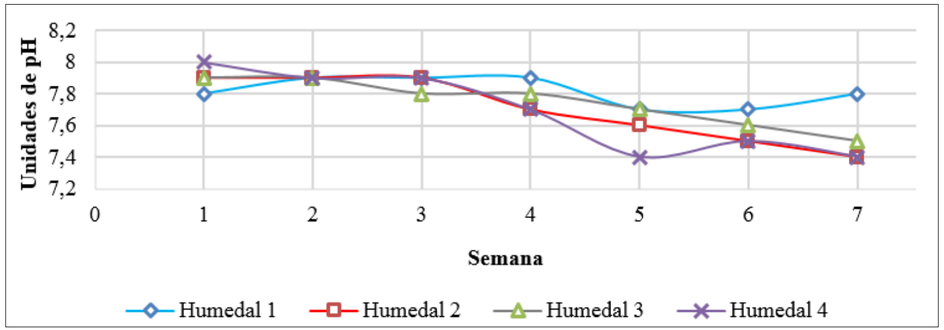


Figura 7. pH en estaciones.

Para la influencia de la temperatura en los procesos de remoción de SST se estimó una correlación débil (ρ = -0.09), lo que concuerda con los estudios realizados por Salas et al. (2007), quienes afirman que dicha relación es moderada, ya que esta depende más de procesos físicos e hidráulicos, como la filtración o la sedimentación. Para procesos biológicos y cinéticos, como los involucrados en la remoción de DBO_5 y DQO, la temperatura tiene una influencia significativa y directamente proporcional (Quintero, 2014), sin embargo, debido a que la temperatura no presentó variaciones significativas (ver Figura 8), la correlación en este caso para la DBO_5 y la DQO fue moderada y nula respectivamente (ρ = 0.54 y 0.06).

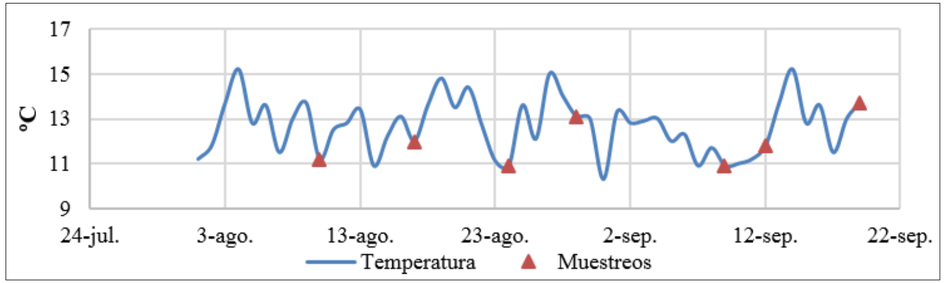


Figura 8. Temperatura en sistema.

La prueba de normalidad mostró que los datos obtenidos correspondían a una distribución normal (ver Tabla 9), a excepción de la DQO en la estación plantada con Achira, lo cual podría deberse a que los resultados tuvieron una desviación estándar mayor en cuanto a este parámetro (s = 59.03; p = 0.94). Esto como resultado porque el dimensionamiento se realizó con base en la DBO_5, de ahí que el diseño no favorezca la estabilización ni la remoción de la DQO.

Los datos de temperatura y pH medidos en campo presentaron valores bajos en su desviación estándar, los demás parámetros presentaron valores altos (ver Tabla 10), esto se asemeja al estudio de Figueroa (2005), ya que en su caso, el sistema completo comenzó a funcionar un mes después del montaje; en Botana los HAFSSh arrancaron en julio, y las primeras muestras se tomaron en el mes de agosto, por lo cual el sistema estuvo en fase temprana de estabilización, requiriéndose un mayor intervalo de tiempo para llegar a una fase madura de estabilización, por consiguiente, los datos presentaron gran dispersión.

Tabla 9. *Prueba de Normalidad Shapiro Wilk (significancia del 5%; n=7)*

HAFSSh	**Testigo**			**Achira**			**Cartucho**			**Totora**		
Variable	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO
P	0.07	0.52	0.21	0.75	0.92	0.94	0.41	0.81	0.12	0.36	0.06	0.51
Shapiro-Wilk statistic W	0.82	0.93	0.88	0.95	0.97	0.81	0.91	0.96	0.85	0.91	0.82	0.93

Tabla 10. *Dispersión y Desviación Estándar*

Variable	**Ph**	**Tº**	**SST**	**DBO**	**DQO**
S^2	0.04	42.72	890	10732	10405
s	0.21	5.91	28.47	90.18	59.03

Conclusiones

La estación plantada con Totora (*Schoenoplectus californicus*) mostró ser la más eficiente en cuanto a remoción de carga contaminante, alcanzando valores hasta de 12 % más de remoción en SST y DBO_5 y un 22 % más de remoción en DQO respecto al testigo, posiblemente debido a que posee mayor adaptabilidad a medios saturados, y a que su morfología favorece el intercambio gaseoso entre la atmosfera y las partes sumergidas; las otras especies, pese a mostrar valores de remoción altos, no registraron diferencias significativas respecto a la estación sin plantar.

La DQO fue el parámetro con menores porcentajes de remoción de entre 35 al 60 %, esto se explica porque el dimensionamiento partiendo de la DQO requería 1m² más de área superficial, sin embargo, se tenían limitantes referentes al área disponible destinada para el montaje del proyecto, por lo cual no fue posible tener en cuenta dicha área, lo cual podría haber repercutido directamente en que la remoción de este parámetro fuera inferior a los demás.

Debido a que existe discrepancia entre autores respecto a si los resultados obtenidos con el uso de fitosistemas son mejores que los obtenidos con un sistema igual, pero sin plantas, el dimensionamiento, montaje y

operación tienen gran impacto en la capacidad depuradora de determinadas especies. En este estudio las condiciones podrían haber favorecido a la Totora, puesto que fue la que mostró mayor diferenciación respecto al testigo.

Los valores de remoción obtenidos permiten afirmar que, con la implementación de este tipo de sistemas se contribuye a lograr los objetivos de calidad propuestos para la Granja Botana dentro de los vertimientos a la fuente superficial, concretamente a la quebrada Miraflores y, de igual manera, a alcanzar los límites planteados en la Resolución 631 de 2015 para el sector productivo.

Referencias

Alcaldía Mayor de Bogotá. (2010). Decreto 3930 de 2010. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI – Parte III- Libro II del Decreto –ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C. Recuperado de https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=40620

Alcaldía Mayor de Bogotá. (2015). Decreto 1076 de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible. Bogotá D.C. Recuperado de http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=62511

Arias, S., Betancur, F., Gómez, G., Salazar, J. y Hernández, M. (2010). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. *Informador Técnico Colombia, 74*(1), 12-22. doi:10.23850/22565035.5

Bohórquez, A. (2009). Producción de plantas macrófitas: Alternativa para la depuración en humedales artificiales. *INGE@ UAN-Tendencias en la Ingeniería, 1*(1), 15-25.

Britson A. & Wardrop, D. (2016). How Many Samples?! Assessing the Mean of Parameters Important for Denitrification in High and Low Disturbance Headwater Wetlands of Central Pennsylvania. En J. Vymazal (Ed.). *Natural and Constructed Wetlands* (pp. 77-90). República Checa: Springer.

Caicedo, G., Rozo, L. y Bonilla, U. (2000). *La achira, tecnología para su producción y beneficio.* Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA.

Cardenas, D. y Gonzáles, R. (2015). Uso de humedales artificiales de flujo subsuperficial para postratamiento de aguas residuales de la industria textil. *Jóvenes en la Ciencia, 2*(1), 1.427-1.431.

Corponariño. (2012). Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico Quebrada Miraflores. Recuperado de http://www.corponarino.gov.co/expedientes/descontaminacion/porhmirafloresp2.pdf

Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. y Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba, Bolivia: Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua.

Díaz, C. (2014). Tratamiento de agua residual a través de humedales. *V Congreso Internacional de Ingeniería Civil.* Recuperado de http://www.ustatunja.edu.co/cong/images/Articulos/-TRATAMIENTO%20DE%20AGUA%20RESIDUAL%20A%20TRAVES%20DE%20HUMEDALES.pdf

Duchiela, V. y Toledo, M. (2014). *Determinación de la eficiencia de especies vegetales: Totora- Achira implementadas en biofiltros para aguas de riego en Punín 2013* (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. Recuperado de http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/3402/1/236T0096%20.pdf

Duque, A. y Ardila, J. (2014). *Evaluación de un sistema piloto de humedales Híbridos como post-tratamiento de aguas residuales de una porcícola* (tesis de pregrado). Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia. Recuperado de https://books.google.com.co/books/about/Evaluaci%C3%B3n_de_la_eficiencia_de_un_siste.html?id=zR79swEACAAJ&redir_esc=y

Eslamian, S. (Ed.). (2015). *Urban water reuse handbook.* Estados Unidos: CRC Press.

Espinoza, C. (2014). *Factibilidad del diseño de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales municipales de 30.000 habitantes* (tesis de maestría). Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, Colombia. Recuperado de https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/114/1/Espinosa%20Ortiz%2c%20Camilo%20Eduardo%20-%202014.pdf

Estrada, I. (2010). *Monografía sobre humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFSS) para remoción de metales pesados en aguas residuales* (trabajo de grado). Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia. Recuperado de http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1833/333918E82;jsessionid=FE2E9A6AC2E1167B85364EED1AEFA68E?sequence=1

Fernández, J. (2005). Humedales artificiales para depuración. En J. Fernández (Coord.) *Manual de fitodepuración de macrofitas en flotación* (pp. 79-89). España: Universidad Politecnica de Madrid.

Figueroa, J. (1999). *Evaluación de Alcatraz (Zantedeschia aethiopica) como planta emergente en un pantano tipo flujo horizontal de subsuperficie para el tratamiento de aguas residuales de una granja porcicola* (tesis de maestría). Universidad Virtual del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores Monterrey, Campeche, México. Recuperado de https://repositorio.itesm.mx/bitstream/handle/11285/569834/DocsTec_10671.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gonzáles, O. y Deas, G. (2011). Metodología para el diseño de humedales con flujo subsuperficial horizontal. *Ingeniería hidráulica y ambiental, 32*(1), 61-70.

Guzmán, L. (2008). Guía de laboratorio de materiales. Universidad de Santiago de chile. Recuperado de https://laultimaresistencia.weebly.com/uploads/6/8/2/7/6827657/guia_lab_materiales.pdf

Hoffmann, H., Platzer, C., Winker, M. & Von Muench, E. (2011). Technology Review of Constructed Wetlands Subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment. Recuperado de file:///C:/Users/UMARIANA/Downloads/Technology_Review_Wetlands.pdf

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2007). Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales (Ficha Técnica Código TI0187). Colombia. Recuperado de http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428

Lara, J. (1999). *Depuración De Aguas Residuales Urbanas Mediante Humedales Artificiales* (tesis de maestría). Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. doi: 10.13140/RG.2.1.3790.2565

Lazzereschi, S., Grassotti, A., Cacini, S. & Nesi, B. (2011). Zantedeschia Aethiopica: Effects of Basal Thermal Treatments on Flowering Time, Yield and Flower Quality. *Acta Horticulturae*, (893), 953-959. doi: 10.17660/actahortic.2011.893.107

Lozano, A. (2016). *Contribuciones para el tratamiento de aguas residuales con sistemas alternativos de bajo coste. Aplicaciones para el desarrollo en poblaciones reducidas y cooperación* (tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid, España. Recuperado de http://oa.upm.es/39334/1/ARACELI_LOZANO_PULIDO.pdf

Marín, C., Solíz, R., López, G., Bautista-Margulis, R. y Romellón, M. (2016). Tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales tropicales en Tabasco, México. *Revista Iberoamericana de Las Ciencias Biológicas y Agropecuarias, 5*(10), 1-205. doi:10.23913/ciba.v5i10.54

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Resolución 631 de 2015. Por la cual se establecen los párametros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C. Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo. (2006). *Plan nacional de manejo de aguas residuales municipales – PMAR*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivivenda y Desarrollo.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). Resolución 0330 de 2017. "Por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico - RAS". Bogotá D.C. Recuperado de http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330%20-%202017.pdf

Nornadiah, M. & Yap, B. (2011). Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, *2*(1), 21-33.

Parques Nacionales Naturales de Colombia. (s.f.). Santuario de Fauna y Flora Isla de la Corota. Bogotá D.C. Recuperado de http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/ecoturismo/region-andina/santuario-de-flora-y-fauna-isla-de-la-corota/

Pérez, R. (2006). *Granjas porcinas y medio ambiente, contaminación del agua en la piedad, Michoacán.* México: Universidad Autónoma de México.

Pineda, M. (2013). *Estudio de la macrofauna en diferentes usos de suelo con laurel de cera Morella Pubescens en la granja experimental Botana* (tesis de pregrado). Universidad de Nariño, San Juan de Pasto. Recuperado de http://biblioteca.udenar.edu.co:8085/atenea/biblioteca/85835.pdf

Potosí, D. y Yepez, J. (2015). *Identificación de la flora apícola representativa y caracterización de algunas variables etológicas durante el pecoreo de la abeja Apis mellifera En la Granja Experimental BOTANA- Universidad de Nariño* (tesis de pregrado). Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia. Recuperado de http://biblioteca.udenar.edu.co:8085/atenea/biblioteca/90669.pdf

Quintero, J. (2014). Evaluación de humedales artificiales pilotos de flujo horizontal y tipo superficial y subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales. *Ingenium Revista de La Facultad de Ingeniería, 15*(29), 85-112. doi:10.21500/01247492.1347

Reyes, T. y Rafael. E. (2012). *Diseño de un sistema de recolección, depuración y aprovechamiento de aguas residuales para fincas agroecológicas familiares en la parroquia El Valle- Cantón Cuenca* (tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Ecuador. Recuperado de http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/3243

Rojas, K., Vera, I. y Vidal, G. (2013). Influencia de la estación y de las especies *Phragmites australis* y *Schoenoplectus californicus* en la eliminación de materia orgánica y nutrientes contenidos en aguas servidas durante la operación de puesta en marcha de humedales construidos de flujo horizontal subsuperficial. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (69), 285-299.

Salas, J., Pidre, J. y Fahd, K. (s.f.). *Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales*. España: Editorial Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA).

Scholz, M. (2016). *Wetlands for Water Pollution Control* (2.ª ed.). Amsterdam: Elsevier

Secretaría de la Convención de Ramsar. (2013). *Manual de la Convención de Ramsar* (6.ª ed). Suiza: Secretaría de la Convención de Ramsar.

Soto, J. (2016). *Estudio de aplicabilidad de humedales artificiales para la mejora de la calidad de las aguas en los meandros abandonados del río Segura* (tesis de maestría). Universitat Politécnica de Válencia. Recuperado de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/70818/01_Estudio%20de%20aplicabilidad%20de%20humedales%20artificiales%20para%20la%20mejora%20de%20la%20calidad%20de%20las%20aguas%20en%20los%20meandros%20abandonados%20del%20r%C3%ADo%20Segura.pdf?sequence=1

Stefanakis, A. (2015). Constructed Wetlands: Description and Benefits of an Eco-Tech Water Treatment System. En *Impact of Water Pollution on Human Health and Environmental Sustainability* (pp. 283-205). doi:10.1016/b978-0-12-404612-2.00002-7.

United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA). (2000). Design Manual Constructed Wetlands for Municipal Wastewater Treatment. Recuperado de http://www.hydrik.com/downloads/WetlandsDesign_Hydrik.pdf

Villota, E. (2015). *Sistema de iluminación y calefacción a partir de biogás* (tesis de pregrado). Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia. Recuperado de http://biblioteca.udenar.edu.co:8085/atenea/biblioteca/90750.pdf

Vinueza, J. (2014). *Diseño de un sistema de pantanos artificiales para el tratamiento de aguas negras y grises del campo base y área de mantenimiento El Coca de la empresa Triboilgas* (tesis de pregrado). Universidad central del Ecuador Quito, Ecuador. Recuperado de http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2453/1/T-UCE-0012-305.pdf

Wong, C. (2004). Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Principles and Practices. En *Wetlands ecosystems in Asia* (pp. 285-310). doi: 10.1016/B978-044451691-6/50019-3

Yocum, D. (2007). Manual de Diseño Humedal Construido para el Tratamiento de las Aguas Grises por Biofiltración. Recuperado de http://ecotec.unam.mx/Ecotec//wp-content/uploads/Manual-de-Dise--o-para-Biofiltro.pdf

Zamora, H., Freire, P. y Jurado, K. (2014). Biodegradabilidad de flujos de alimentación en humedales artificiales piloto para el tratamiento de lixiviados del relleno sanitario "Antanas". *Revista UNIMAR*, *27*(4), 90-95.

Interacciones entre las Propiedades Físicas del Suelo y la Capacidad de Retención de Agua para la Influencia de Remociones en Masa

Diego Javier Pérez Ortega[57]
Fabio Bolaños Alomia[58]
Ricardo Ignacio Pereira[59]
Luis Omar Alpala[60]

Resumen

Las precipitaciones y el contenido de agua que pueden retener los suelos son los que ocasionan desprendimientos; sin embargo, estos tipos de procesos forman parte de la dinámica natural de transformación y formación de la corteza terrestre; el problema es cuando estos fenómenos ocurren en lugares donde existe una densa ocupación humana, lo cual produce resultados desastrosos. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar las interrelaciones entre las propiedades físicas del suelo, como la meteorización mecánica y la capacidad de retención de agua de los suelos en sistemas diferentes de usos urbanos en la ciudad de San Juan de Pasto. Se seleccionó cuatro áreas contenidas en diferentes puntos, siendo dos de ellos en áreas urbanas y los otros dos, en áreas con presencia de vegetación; se tomó 27 muestras de suelo en capas de 0 a 45 cm, 45-100 cm y 100-145 cm de profundidad. Los datos resultantes determinaron las curvas de retención de humedad (CRU) en las diferentes estaciones del año, ayudando en el análisis estadístico de correlaciones con variables como densidad, contenido de carbono orgánico y de arcilla. Se identificó una compresión de suelo asfaltado con mayores densidades que los suelos con algún tipo de cobertura vegetal, incluso en declives elevados, con menor densidad, menores niveles de carbono orgánico y de arcilla, lo que los hace más susceptibles a deslizamientos.

Palabras clave: áreas urbanas, densidad del suelo, impermeabilización, pendiente.

[57] Universidad Coopertativa de Colombia, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: diego.perezortega@campusucc.edu.co

[58] Universidad Coopertativa de Colombia, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: Fabio.bolanos@ucc.edu.co

[59] Universidad Coopertativa de Colombia, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: Ricardo.pereira@ucc.edu.co

[60] Universidad Coopertativa de Colombia, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: luis.alpala@campusucc.edu.co

Interactions between the soil physical properties and the water retention capacity for the influence of mass removals

Abstract

Precipitations and water volume can retain the floors, causing landslides. However, these types of processes are part of the natural dynamics of transformation and formation of the earth's crust. The problem is when these phenomena occur in places where there is a dense human occupation, producing disastrous results. Therefore, the objective of this work was to evaluate the interrelationships between the physical properties of the soil, such as mechanical weathering and water retention capacity of soils in different systems of urban uses in the city of San Juan de Pasto. Four areas contained in different points were selected, being two points in urban areas and the other two points in areas with presence of vegetation. Twenty-seven soil samples were taken in layers of 0-45 cm, 45-100 cm and 100-145 cm of depth. The resulting data determined the moisture retention curves (MRC) in the different seasons of the year, helping in the statistical analysis of correlations with variables such as density, organic carbon and clay content. We identified a compression of asphalted soil, with higher densities than soils with some type of vegetation cover, even in high slopes with lower density, lower levels of organic carbon and clay, which makes them more susceptible to landslides.

Key words: urban areas, soil density, waterproofing, slope.

Interações entre as propriedades físicas do solo e a capacidade de retenção de água para a influência da remoção em massa

Resumo

As precipitações e o teor de água podem reter os pisos causamdo deslizamentos de terra. No entanto, esses tipos de processos fazem parte da dinâmica natural de transformação e formação da crosta terrestre. Quando esses fenômenos ocorrem em locais onde há uma ocupação humana densa, um grande problema é gerado e os resultados podem ser desastrosos. Por conseguinte, o objetivo deste estudo foi avaliar a relação entre as propriedades físicas do solo, tais como resistência e capacidade de retenção de água mecânica de solos em diferentes sistemas de usos urbanos na cidade de San Juan de Pasto. Quatro áreas contidas em pontos diferentes foram selecionadas, sendo dois pontos em áreas urbanas e os outros dois em áreas com presença de vegetação. Vinte e sete amostras de solo foram coletadas em camadas de 0 a 45 cm, 45-100 cm e 100-145 cm de profundidade. Os dados resultantes determinaram as curvas de retenção de umidade (CRU) nas diferentes estações do ano, ajudando na análise estatística das correlações com variáveis como densidade, carbono orgânico e teor de argila. Compressão dos solos asfaltados foi identificado, com densidades mais elevadas que os solos com algum tipo de vegetação, mesmo em elevados gradientes, com menor densidade, níveis mais baixos de carbono e argila orgânica, o que os torna mais susceptível a deslizamentos.

Palavras-chave: áreas urbanas, densidade do solo, impermeabilização, declividade.

Introducción

El conocimiento de ciertas propiedades físicas del suelo es la base para la comprensión del deterioro de éste y de su relación con los deslizamientos. Por lo tanto, su textura, tamaño de partículas, y otros materiales coloidales y de arcilla exigen una mirada rigurosa en su comportamiento a través del tiempo, pues varias tensiones se aplican al suelo, pudiendo ser atenuado en el caso de excavaciones para el drenaje de agua.

El suelo también tiene un papel fundamental en la regulación y distribución de aguas superficiales y subterráneas, ya que favorece el almacenamiento por medio de infiltración o flujo de aguas pluviales, sin embargo, esta dinámica natural ofrece riesgos cuando hay construcciones, y más aún cuando se localizan en altas pendientes. Por otro lado, la materia orgánica y otras sustancias actúan como agentes de cementación entre las partículas individuales, lo que favorece la formación de aglomerados o agregados en el suelo. Esta estructura favorece la adhesión de otras partículas de agua, modificando las propiedades físicas de las partículas sólidas y los espacios entre ellas, lo cual resulta en el aumento de la capacidad de retención de agua, consecuentemente, favoreciendo la vulnerabilidad de zonas con fuertes pendientes.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue la identificación de las variables que pueden apoyar el pronóstico de deslizamientos a través de la medición de la humedad en suelos urbanos con altas pendientes, para la posterior evaluación de las interrelaciones entre las propiedades físicas del suelo y la capacidad de retención de agua en diferentes sistemas de uso del suelo, el uso urbano, obteniendo los coeficientes de retención de humedad encontrados en suelos (limosos, arcillosos, humiferos y lodosos) en la ciudad de San Juan de Pasto.

Materiales y Métodos

La Curva de Retención de Agua (CRA) es esencial en estudios de calidad del suelo, a fin de orientar las prácticas de uso y control. Las modificaciones en la estructura de compresión y pérdida asociada a la estabilidad de los agregados alteran la distribución del tamaño de los poros, la retención de agua, así como el movimiento y la disponibilidad de agua. La CRA es descrita por el contenido de agua del suelo (θ) y el potencial matricial (Ψ), con caída lenta y la constante de esas variables durante el drenaje del suelo. Los resultados de Rawls, Pachepsky, Ritchie, Sobecki & Bloodworth (2003) muestran que cuando hay un alto Ψ, la curva de retención es influenciada por los poros estructurales asociados con el efecto de la materia orgánica en la formación y estabilidad de la estructura del suelo. Cuando hay bajo Ψ, el tamaño de las partículas y de la composición mineralógica del suelo se vuelven más importantes, debido a la superficie disponible para la absorción de agua (Gupta & Larson, 1979). Así, la CRA permite relacionar la dependencia entre los valores de los coeficientes de ecuaciones matemáticas que describen diferentes propiedades del suelo, tales como el contenido de arcilla, el contenido de materia orgánica, el área superficial específica y la densidad del suelo (Berg, Klamt, Van Reeuwijk & Sombroek, 1997).

Las correlaciones de Pearson entre las propiedades físicas del suelo y los coeficientes de ecuaciones descriptivas en la CRA en el suelo fueron hechas por Gupta & Larson (1979), pero este enfoque no permite evaluar los efectos directos e indirectos de una variable independiente con variables dependientes. Una manera de evitar estas limitaciones es la utilización de correlaciones canónicas. En el caso de las variables de suelo y de los coeficientes de la curva de retención para una amplia variedad de suelos, se puede calcular el máximo de correlación entre los dos grupos de variables en combinaciones lineales (interrelaciones). Sin embargo, bajo el mismo suelo, los diferentes tipos de usos y manejos pueden promover cambios en su estructura y comportamiento físico del agua en el suelo.

Caracterización del área de estudio

Las muestras de suelo fueron retiradas de cuatro locales en la ciudad de San Juan de Pasto, ubicados en el departamento de Nariño, en el sur de Colombia (ver Figura 1). De acuerdo con la clasificación del suelo, Pinto (2004) identificó tres tipos de suelos (ver Figura 2), donde se muestrearon las cuatro áreas de la ciudad en pendientes diferentes, con presencia de edificios a lo largo de los últimos 20 años (ver Tabla 1).

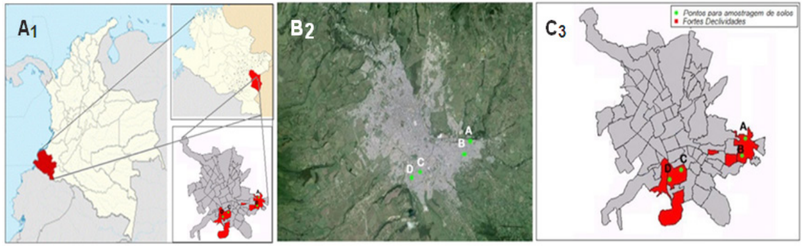


Figura 1. Localización da ciudad de San Juan de Pasto. (A1). Localización San Juan de Pasto; (B2). Imagén Digital Globe, Landsat, US; (C3). Localización de los puntos de muestreo; A - Área urbana, pendiente de 31 %, B - Área urbana, pendiente de 60 %, C - Área urbana, pendiente de 42 %, D - Área urbana, pendiente de 64 %.

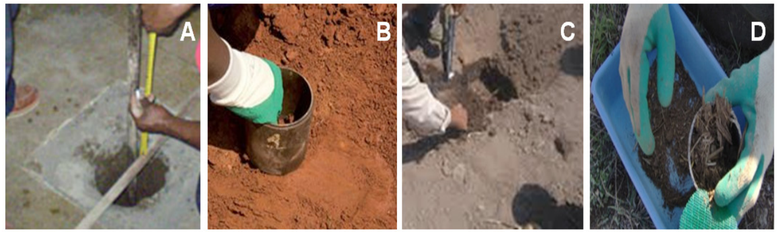


Figura 2. Toma de muestras de suelos en la ciudad de Pasto. (A). Suelo cenagoso; (B). Suelo arcilloso; (C). Suelo lodoso; (D). Suelos humifero.

Fuente: Esta investigación

Puntos de muestreo

Los puntos de muestreo fueron definidos por las características de suelos, además de contener diferentes porcentajes de pendiente, los cuales fueron especificados cuatro puntos de muestreo, donde 27 muestras fueron recolectadas en dos épocas diferentes, en un total de 54 muestras de suelo. Los muestreos se realizaron en enero durante la estación lluviosa y en el mes de agosto que representa la época de verano, tomando muestras en diferentes capas de 0-45 cm, 45-100 cm y 100-145 cm de profundidad. Estas muestras fueron recogidas en bolsas de polipropileno material grueso y resistente para mantener la calidad y humedad de las muestras de suelo. El tiempo para tomar muestras varió de las 08: 00-10: 00 a. m. (siempre en la mañana), tratando de mantener la humedad para la posterior transferencia al laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño y determinar el resultado de las curvas de retención de agua.

Tabla 1. *Puntos de muestreo y pendientes*

Punto	Elevación msnm	Longitud	Latitud	Descripción
A	2567	1° 12′ 16.053″ N	77° 15′ 10.341″ W	Área urbana con una inclinación del 31 %, con bancos y césped arbolados.
B	2613	1° 12′ 6.168″ N	77° 15′ 18.374″ W	Área urbana con inclinación muy fuerte del 60 % con bancos y césped arbolado y especies de plantas ornamentales.
C	2563	1° 11′ 39.600″ N	77° 16′ 27.588″ W	Área urbana con una inclinación del 42 %.
D	2622	1° 11′ 35.893″ N	77° 16′ 41.184″ W	Área urbana con pendiente muy fuerte del 64 %.

Los anteriores fueron los cuatro puntos de muestreo, en los cuales se recogieron muestras a diferentes profundidades y mediante un anillo deformado metal, con características 0,05 m de diámetro y altura. Los bloques de suelo fueron machacados manualmente para realizar aún más la separación de agregados, entre 2 y 4 mm de diámetro, que fueron utilizados para la desorción del agua a baja **Ψ**.

Después de preparar adecuadamente el suelo, las muestras fueron saturadas por elevación gradual de una lámina de agua en bandejas hasta cerca de dos tercios de la altura de las muestras. La curva de retención de agua en el suelo fue determinada por la aplicación del Ψ -10, -20, -40, -60 y -80 hPa, utilizando una tabla de tensión y Ψ de -250, -500, -1.000, -2.000, -4.000 -15.000 hPa, por medio de presión aplicada en placas porosas (Klute, 1986), posterior a la saturación de los agregados dentro de las cámaras de Richards, se dejó durante 24 horas por capilaridad. Posteriormente, las muestras se colocan en el equilibrio (Ψ) pesadas y colocadas en un horno a 105 °C ± para determinación de humedad con base en la masa (θg).

La densidad del suelo fue calculada según Blake y Hartge (1986). Después del secado de las muestras sin cambios, el suelo fue pasado por los anillos, tamizados en un cribado con malla de 2 mm de diámetro. En estas muestras se determinó el contenido de carbono orgánico del suelo por el método indirecto y por vía húmeda en C (Walkley y Black, s.f.), y el tamaño de las partículas por el método del hidrómetro. La curva de retención de agua del suelo fue descrita matemáticamente por la función propuesta por Van Genuchten (1980), Ecuación (1), tal como se describe a continuación:

$$\theta = \theta r + \{(\theta s - \theta r) / [1+(\alpha\Psi)^n]^m\} \qquad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

θ = contenido de agua del suelo (kg kg-1)
θs = contenido de saturación del agua (kg kg-1)
θr = contenido residual del agua (kg kg-1)
Ψ = potencial matricial (hPa)
α (hP a-1)
n = coeficientes de la ecuación.

Se aprobó la restricción [m + 1(1/n)] de la ecuación para ajustar los datos. Los coeficientes θs, θr, α y n de la ecuación de Van Genuchten (1980), fueron estimados por el método de los mínimos cuadrados no lineales, utilizando la rutina de "PROC NLIN" (SAS Institute. Statistical Analysis System Institute, 2013). La comparación de las variables: densidad, contenido de carbono orgánico y de arcilla del suelo fueron hechas adoptando el intervalo de confianza del promedio del 95 % (p = 0,05).

La prueba de multicolinealidad y análisis de correlaciones canónicas fueron realizadas por el software SPPS (Cruz y Carneiro, 2003), de acuerdo con las recomendaciones de Cruz y Aries (2007), para el grupo de propiedades del suelo (grupo I: contenido de carbono orgánico del suelo, el contenido de arcilla y la densidad a granel) y el grupo de coeficientes de Van Genuchten (grupo II ecuación: θs, θr, α en). Las variables independientes de multicolinealidad fueron bajas, con un número de condición de (CN ≤ 0,062 ≤ 2,06) y del factor de inflación de la varianza (VIF ≤ 1,55 ≤ 8,62) para los cuatro lugares de estudio.

Antes de correr los datos para el análisis de correlaciones canónicas en el software SPSS, ocurrió una normalidad en los datos de la prueba de variables (n = 27), esencial para modelos matemáticos lineales (Vieira, 2009). Se utilizó el nivel de confianza de 0,01 para la prueba de Shapiro-Wilk, lo cual correspondio a un nivel de confianza más bajo utilizado para los coeficientes de correlaciones canónicas. Para el contenido del carbono y de la arcilla orgánica del suelo en los cuatro locales, la distribución no normal de los datos originales respectivamente, con las probabilidades de 0,0084 y 0,0096 para la prueba de Shapiro-Wilk, se utilizó el procedimiento de "PROC UNIVARIATE" (SAS, 2013).

El contenido de carbono y arcilla orgánica del suelo en cuatro lugares, la distribución no normal de los datos originales, respectivamente, con las probabilidades de 0,0084 y 0,0096 para la prueba de Shapiro-Wilk, utilizando el procedimiento "PROC UNIVARIATE" (SAS, 2013). Utilizando el proceso "PROC UNIVARIATE" (SAS Institute. Statistical Analysis System Institute, 2013).

Después de las transformaciones seno de la raíz de los niveles de C en el suelo orgánico, dividido por 10 y el logaritmo natural del contenido de arcilla, fue obtenido por la distribución normal de 0,0771 y 0,0184, respectivamente. Las demás variables presentaron distribución normal de los datos originales, con probabilidades, 0197-0,9226 por la prueba de Shapiro-Wilk. Así, las dos variables transformadas y las demás variables fueron sometidas al análisis de varianza, dada la suposición de distribución normal para todas las variables (Vieira, 2009).

Para 27 conjuntos de datos de cada una de las variables y del estado del suelo, se calcularon los intervalos de confianza de la media: Ecuación (2)

$$IC = X \pm t\,[(n-1)(1-\alpha/2)]\,\frac{s}{\sqrt{n}} \qquad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

IC = intervalo de confianza de la media
X = media aritmética
t = el valor de la distribución normal tabulado de acuerdo con el número de datos
(n) menos un grado de libertad
(n-1) el grado de confianza del 95 %
(α = 0,05)
s = desviación estándar de las muestras.

Resultados y Discusión

El contenido medio de C en el suelo orgánico para áreas con pendiente de 60 % y 64 % fue significativamente mayor que el suelo en áreas con pendientes de 31 % y 42 %, respectivamente (ver Tabla 2), en comparación con reducir la tasa de retorno y la descomposición de materia orgánica, los suelos con declividad superior tienen más capacidad de capturar y retener agua (**Sánchez**, 1981).

Tabla 2. *Análisis descriptivo y distribución normal Shapiro-Wilk (W y p <W) para las variables en el contenido de carbono orgánico, densidad y contenido de arcilla en los cuatro lugares de muestreo en la ciudad de San Juan de Pasto*

Local de muestra	Mínimo	Medio[1]	ICM[2]	Máximo	CV(%)[3]	W	P < w
Contendo de carbono orgánico del suelo (g kg^{-1})							
A	3.35	7.48b	0.81	9.87	26.51	0.9208	0.0222
B	4.72	12.12a	1.08	17.59	23.44	0.9102	0.2339
C	4.14	9.74a	0.86	13.30	21.27	0.9731	0.0410
D	5.99	13.21a	1.02	19.11	24.35	0.9041	0.2812
Densidad del suelo (Mg m^{-3})							
A	2.88	1.43c	0.03	1.64	3.67	0.9441	0.3211
B	1.96	1.46c	0.03	1.52	4.39	0.9675	0.2521
C	2.35	1.81b	0.01	1.76	1.87	0.9457	0.3424
D	2.07	1.88a	0.02	1.84	2.51	0.9524	0.5232
Contenido de arcila (g kg^{-1})							
A	140.00	185.60b	11.56	240.00	15.09	0.9457	0.2006
B	170.00	207.20a	7.86	250.00	9.19	0.9441	0.1920
C	180.00	210.00a	10.72	250.00	12.37	0.9231	0.0091
D	170.00	206.20a	9.34	240.00	13.21	0.9420	0.4002

[1] Las medias seguidas por la misma letra en la misma columna no difieren estadísticamente, variando el intervalo promedio de confianza del 95 % (p = 0,05). [2] El intervalo de confianza del promedio del 95 % (p = 0,05). [3] Los coeficientes de variación. A - Área urbana con una pendiente del 31 %; B - Área urbana con una fuerte inclinación del 60 %; C - Área urbana con una pendiente del 42 %; D - Área urbana con fuerte inclinación del 64 %.

El contenido de arcilla del suelo en las muestras también fue reducido en suelos con alta compresión presente en pendientes inferiores (ver Tabla 2). De acuerdo con Cardoso et al. (2007), un suelo para la compactación intensiva, debido a su preparado para posterior urbanización, reduce el espesor de capa superficial y retira materia orgánica del suelo, por consiguiente, aumenta el grado de compactación de arcilla, que se relaciona con el contenido de agua en suelos (ver Tabla 2), la conservación de estos datos indica la coacción de las coladas a otras partículas de arena selectivas, lo que permite la absorción de una determinada cantidad de agua contenida en el suelo cuando sea necesario.

La ecuación de Van Genuchten (1980) explica que más del 99 % de retención de agua del suelo, con los valores de F fueron altamente significativas (p <0,01) para todas las muestras. Los coeficientes θs, θr, α fueron estadísticamente significativos, porque no presentan valores nulos en sus

límites de confianza. Se observaron coeficientes de similitud α para suelos en áreas urbanas, con una inclinación de 31 % y muy fuerte inclinación del 60 % (ver Tabla 3), con valores medios de θr y θs que fueron estadísticamente superiores en relación a valores más bajos de densidad y con mayor C orgánico contenido. Estos resultados corroboran los expuestos por Silva, Cabeda y Lima (2005), en donde se observó una disminución de la porosidad del suelo por compresión mecánica resultante de procesos físicos urbanos.

Tabla 3. *Análisis descriptivo y distribución normal, Shapiro-Wilk (W y p <W) para los coeficientes de la curva de retención de agua en los lugares de muestreo de la ciudad de San Juan de Pasto*

Local muestra	Mínimo	Medio[1]	ICM[2]	Máximo	CV(%) [3]	W	P < w
				α (hPa $^{-1}$)			
A	0.016	0.028a	0.02	0.052	38.76	0.9765	0.3842
B	0.006	0.024a	0.02	0.042	31.21	0.9542	0.3902
C	0.004	0.012b	0.02	0.027	23.34	0.9554	0.3642
D	0.002	0.011b	0.02	0.018	23.98	0.9587	0.3313
				θs (kg kg^{-1})			
A	0.265	0.380a	0.016	0.523	12.38	0.9793	0.2076
B	0.211	0.261a	0.008	0.421	10.07	0.9432	0.4967
C	0.167	0.161b	0.006	0.214	14.39	0.9452	0.7436
D	0.145	0.170b	0.005	0.291	7.45	0.9421	0.7001
				θr(kg kg^{-1})			
A	0.063	210.00a	11.56	240.00	15.09	0.9457	0.2006
B	0.058	206.20a	7.86	250.00	9.19	0.9441	0.1920
C	0.072	207.20a	10.72	250.00	12.37	0.9231	0.0091
D	0.093	185.69b	9.34	240.00	13.21	0.9420	0.4002
				n			
A	1.5321	1.725b	0.060	2.002	9.01	0.9456	0.2006
B	1.4786	1.681b	0.066	2.008	10.19	0.9523	0.3920
C	1.7390	2.311a	0.103	2.821	12.72	0.9630	0.2091
D	1.6349	2.602a	0.121	2.728	12.98	0.9505	0.2202

[1] Las medias seguidas por la misma letra en la columna para el mismo coeficiente no es estadísticamente diferente del intervalo promedio de confianza del 95 % (p = 0,05). [2] El intervalo de confianza del promedio del 95 % (p = 0,05). [3] Los coeficientes de variación. A - Área urbana con una pendiente del 31 %; B - Área urbana con una inclinación muy fuerte del 60 %; C - Área urbana con una pendiente del 42 %; D - Área urbana con fuerte inclinación del 64 %.

El mayor valor de *n* fue obtenido en el suelo del área urbana con muy fuerte pendiente del 60 % (ver Figura 3), lo que indicó una mayor retención de agua debido a una porosidad total mayor y una gran variación de tamaño de poro entre -10 a -100 hPa y de -1.000-15.000 hPa. Se observó una ligera superioridad de retención de agua entre -1.000 y -100 hPa, atribuida a las diferencias de valores de *n* resultantes de una mayor frecuencia de poros con menores tamaños en esta franja de Ψ. Las curvas de retención de agua presentaron mayor retención en suelos con pendientes superiores al 60 %, en comparación con los suelos de laderas más bajas, ya que se estima una mayor densidad en estos suelos debido a la distribución de poros que retienen agua en Ψ superior a -100 hPa, evidenciado por la fuerte reducción de la θs en estos suelos (ver Tablas 2 y 3; Figura 3). Estas características explican que a mayor retención de agua más cambios en la calidad física del suelo pueden darse (Dexter, 2004).

Las correlaciones canónicas explicaron 0,91, 0,90, 0,93 y 0,94 de las correlaciones entre las variables de los grupos I y II del primer par canónico (p <0,01) para los cuatro suelos muestreados (ver Tabla 4). Las correlaciones canónicas entre las variables de los grupos I y II también explicaron la causa y el efecto de la dependencia negativa en θs con la densidad del suelo, lo que confirma la importancia de la estructura del suelo en la retención de agua. Las influencias de la densidad a granel, tanto la porosidad y la distribución de poros de diámetro mayor, modificaron las características de retención del agua del suelo Ψ en la gama de -10 a -100 hPa (ver Figura 3), de acuerdo con Rasiah y Aylmore (1998).

El segundo par de variables canónicas en los grupos I y II mostró un coeficiente de correlación de 0,63, 0,71, 0,73 y 0,72 (p <0,05, p <0,10 e <0,05) para el suelo del área urbana, con una inclinación del 42 %; el área urbana con una pendiente del 31 %, con fuerte inclinación del 64 % y en el área urbana con fuerte inclinación del 60 % (ver Tabla 4). La correlación positiva de los niveles de C orgánica en suelos con θr, demuestra la importancia de la materia orgánica para retener el agua, atribuida a la superficie específica elevada de materia orgánica (Felton, 1993).

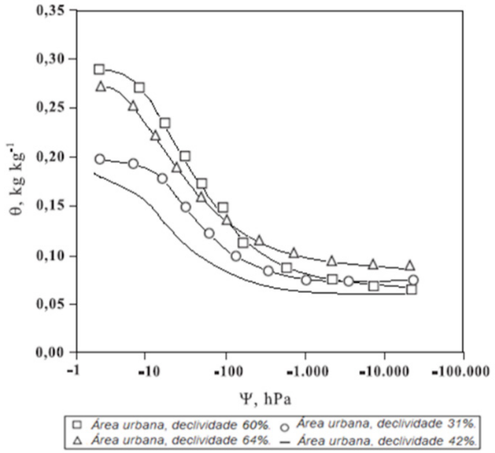


Figura 3. Curvas de retención de agua del suelo para el suelo muestreado en cuatro lugares de la ciudad de San Juan de Pasto.

La dependencia significativa de θr con la interacción del contenido de arcilla del suelo y C orgánico en áreas con pendientes de 64 y 60 %. La magnitud de los coeficientes de contenido de arcilla (0,91 para cada área de suelo con inclinaciones de 64 y 60 %). En cuanto al suelo carbono orgánico del suelo (-0,60 y -0,79, respectivamente), lo que muestra que θr fue dependiente tanto de la combinación de arcilla superior y niveles más bajos de carbono orgánico del suelo. Las interrelaciones antagónicas entre los niveles de contenido de C y arcilla orgánica del suelo se atribuyen a la mayor eficiencia de carbono orgánico en el suelo en θr (Rawls et al., 2003). Esta afirmación es sostenida por los valores del presente estudio, donde fueron mayores los contenidos de arcilla de los suelos de áreas urbanas con inclinaciones de 42 y 64 % (ver Tabla 2).

Los suelos del área urbana con una inclinación del 42 % diferían de los suelos de otras áreas para presentar el tercer par canónico con coeficientes de correlación canónica de 0,55 (p <0,10) entre las variables de los grupos I y II (ver Tabla 4). El tercer par canónico indicó que el coeficiente n era dependiente de la interacción entre el carbono orgánico del suelo y el contenido de arcilla del suelo. Estos resultados confirman el efecto del carbono orgánico en suelos θr. La contribución de un análisis de correlación canónica entre las propiedades del suelo y los coeficientes de la curva de retención de agua en el suelo indican que el uso de esos suelos debe ser guiado por la reducción de la densidad y remoción de carbono orgánico del suelo.

Tabla 4. *Correlaciones canónicas y pares canónicos (λ N) para los suelos en los lugares muestreados en la ciudad de San Juan de Pasto, estimados entre componentes primarios, para diferentes cantidades de C orgánico del suelo, contenido de arcilla y densidad del suelo (grupo I) y secundario (grupo II), para los coeficientes de la ecuación de Van Genuchten (θs, θr, α en*)

Variable o coeficiente	Área urbanas con pendientes en **%**											
	42			**31**			**64**			**60**		
	λ1	λ2	λ3	λ1	λ2	λ3	λ1	λ2	λ3	λ1	λ2	λ3
Grupo I												
Contenido de Carbono Orgánico	-0.32	0.52	-0.82	-0.49	-0.45	0.67	0.06	-0.60	0.69	0.21	-0.79	0.73
Contenido de arcilla	-0.03	0.44	0.97	0.21	0.99	0.04	-0.43	0.91	0.64	-0.57	0.91	0.16
Densidad del suelo	0.96	0.33	0.07	0.91	-0.26	0.37	-0.97	-0.22	-0.08	-0.94	0.42	-0.08
Grupo II												
α	-0.40	-0.23	0.59	-0.46	-0.09	-0.92	-0.55	0.24	0.66	-0.59	0.41	0.18
θs	-0.98	-0.08	0.13	-0.96	0.17	-0.17	-0.90	-0.30	0.29	-0.91	-0.46	0.23
θr	-0.33	069	-016	0.03	0.78	0.41	-0.28	0.74	0.40	-0.66	0.46	0.17
n	-0.39	0.26	-0.74	-0.23	0.02	0.70	-0.24	0.03	-0.70	-0.22	0.22	-0.77
Dc[1]	0.91	0.63	0.56	0.90	0.71	0.26	0.93	0.73	0.39	0.94	0.72	0.32
Significado [2]	***	**	*	***	*	ns	***	*	ns	***	**	ns

[1] El coeficiente de correlación canónica. [2] ns (no significativo) * (p <doce y diez), ** (p <0,05), y *** (p <0,01).

Conclusiones

El proceso de compresión, preparación y remoción de las capas superiores del suelo con contenido de carbono orgánico para la construcción y posterior urbanización debe ser riguroso e intensificarse en áreas de mayor inclinación, pues de los cuatro lugares de muestreo, los mayores valores de retención de agua, carbono orgánico y arcilla resultaron en las dos áreas de mayores pendientes, demostrando una vulnerabilidad existente en áreas urbanas con potencial para futuros deslizamientos, dependiendo de la geología, litología y del tipo de suelo.

El primer par de variables canónicas indicó dependencia de θs en lo que se refiere a la densidad, y los suelos distintos para verificar la dependencia de θr en relación al contenido de arcilla y carbono orgánico del suelo. La determinación define que, es necesaria cierta cantidad de arcilla para mantener la coacción de las partículas del suelo, evitando así los deslizamientos.

Las concentraciones de carbono orgánico contenidas en el suelo y la densidad en laderas, pueden generar grandes cambios en un corto espacio de tiempo en la curva de retención de agua, optimizando el suelo para una posible absorción de agua cuando sea necesario, buscando la saturación y posteriormente provocando el deslizamiento de tierra, siendo así se recomienda la total retirada de los suelos con contenidos altos en carbono para su posterior urbanización.

Referencias

Berg, M., Klamt, E., Van Reeuwijk, L. & Sombroek, W. (1997). Pedotransfer functions for the estimation of moisture retention characteristics of Ferralsols and related soils. *Geoderma, 78*(3-4), 161-180, 2004. doi: 10.1016/S0016-7061(97)00045-1

Blake, G. R. & Hartge, K. (1986). Bulk density. In: A. Klute (Ed.). *Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods* (2.ª ed.) (pp. 363-375). Madison: American Society of Agronomy, Inc.

Cruz, C. y Carneiro, P. (2003). *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético* (Vol. 2). Vicosa, MG: Universidad Federal de Vicosa.

De Sousa, C. (2006). *Curso Básico de Mecânica dos Solos* (3.ª ed.). São Paulo: Oficina de Textos.

Dexter, A. (2004). Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma, 120*(3-4), 201-214.

Felton, G. (1993). Hydraulic parameter response to incorporated organic matter in the B-horizon B. *Agris, 35*(4), 1.153-1.160.

Gupta, S. & Larson, W. (1979). Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter percent, and bulk density. *Water Resources Research, 15*(6), 1.633-1.635. doi: 10.1029/WR015i006p01633

Klute, A. (1986). Water retention: Laboratory methods. In: A. Klute (Ed.). *Methods of soil analysis. Physical and mineralogical methods* (2.ª ed.). (pp. 635-660). Madison: American Society of Agronomy, Inc.

Rasiah, V. & Aylmore, L. (1998). Sensitivity of selected water retention functions to compaction and inherent soil properties. *Australian Journal of Soil Research, 36*(2), 317-326.

Rawls, W., Pachepsky, Y., Ritchie, J., Sobecki, T. & Bloodworth, H. (2003). Effect of soil carbon on soil water retention. *Geoderma, 116*(1-2), 61-76. doi: 10.1016/S0016-7061(03)00094-6

Sánchez, P. (1981). *Suelos del trópico: Características y manejo.* San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

SAS Institute. Statistical Analysis System Institute. (2013). SAS/STAT Procedure guide for personal computers. Version 5. Cary.

Silva, A., Cabeda, M. y Lima, J. (2005). Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Amarelo de tabuleiro costeiro. *Revista. Brasileira Ciencia do solo, 29*(6), 833-842, 2005. doi: 10.1590/S0100-06832005000600001

VanGenuchten, M. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils 1. *Soil Science society of America jornal, 44*(5), 892-898. doi: 10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x

Vieira, S. (2009). Pressuposições básicas. In: S. Vieira. *Estatística experimental* (2.ª ed.) (pp. 133-147). São Paulo: Atlas.

Análisis de la Variación de las Propiedades del suelo causada por el cambio de uso

Sandra Enríquez Delgado[61]
Viviana Elizabeth Goyes[62]
Jenny Lucía Huertas Delgado[63]

Resumen

Este estudio tuvo como objetivo, el análisis de la variación de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo, dadas por el cambio de uso forestal a agrícola, llevado a cabo en la granja experimental Botana de la Universidad de Nariño, lugar en donde la situación actual socioeconómica y cultural conlleva que sea muy común la pérdida de cobertura forestal para usos agropecuarios, sin tener en cuenta la vocación del suelo. Es así como, por medio de muestreos en cada una de las parcelas de estudio se desarrolló una verificación de las propiedades más relevantes de cada uno de los usos de suelo, donde se encontró estadísticamente que los datos arrojados sí muestran una diferencia significativa, lo cual dio lugar a realizar un análisis entre las relaciones de las propiedades y su funcionalidad dentro del sistema. De igual forma, comparando los datos entre los dos usos y argumentando cómo la alteración de algunas características propias del suelo conlleva la desestabilización de toda su estructura natural, analizada desde todos sus aspectos, se puede afirmar que la actividad agrícola intensiva sobre un suelo que tiene vocación forestal, ocasiona un fuerte deterioro, disminuyendo su funcionalidad ambiental y productiva.

Palabras clave: cambio de uso, microbiológicas, propiedades físicas, propiedades químicas, suelo.

[61] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: sanmil33@hotmail.com

[62] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: viviana.goyes04@hotmail.com

[63] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad de Nariño. Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: jlhuertas@umariana.edu.co

Analysis of the variation in soil properties caused by the change of use

Abstract

The objective of this study was to analyze the variation of the physical, chemical and microbiological properties of the soil, due to the change of use: from forestry to agricultural, carried out on the Botana experimental farm of the University of Nariño. In this place, the current socio-economic and cultural situation entails a common loss of forest cover for agricultural uses, without taking into account the vocation of the land. Thus, by means of sampling in each of the study plots, the most relevant properties of each of the land uses were verified, finding that the data obtained statistically, show a significant difference, which led to an analysis between the relationships of the properties and their functionality within the system. Similarly, when comparing the data between the two uses and arguing how the alteration of some characteristics of the soil entails the destabilization of all its natural structure, analyzed from all aspects, it can be said that intensive agricultural activity on a soil that has a forest vocation, causes a strong deterioration and decreases its environmental and productive functionality.

Key words: change of use, microbiological, physical properties, chemical properties, soil.

Análise da variação nas propriedades do solo causada pela mudança de uso

Resumo

O objetivo deste estudo foi analisar a variação das propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo, devido à mudança de uso: da silvicultura para a agrícola, realizada na fazenda experimental Botana da Universidade de Nariño. Nesse local, a atual situação socioeconômica e cultural acarreta uma perda comum de cobertura florestal para usos agrícolas, sem levar em consideração a vocação da terra. Assim, por meio de amostragem em cada uma das parcelas do estudo, foi desenvolvida uma verificação das propriedades mais relevantes de cada um dos usos da terra, onde se constatou que os dados produzidos apresentam uma diferença significativa. Assim, por meio de amostragem em cada uma das parcelas do estudo, foram verificadas as propriedades mais relevantes de cada um dos usos da terra, constatando que os dados obtidos estatisticamente mostram uma diferença significativa, o que levou a uma análise entre as relações das propriedades e sua funcionalidade dentro do sistema. Da mesma forma, ao comparar os dados entre os dois usos e discutir como a alteração de algumas características do solo acarreta a desestabilização de toda a sua estrutura natural, analisada sob todos os aspectos, pode-se dizer que a atividade agrícola intensiva em um solo que possui uma floresta causa uma forte deterioração e diminui sua funcionalidade ambiental e produtiva.

Palavras-chave: troca de uso, microbiológicas, propriedades físicas, propriedades químicas, solo.

Introducción

Los cambios de uso de suelo es una situación que se ha dado por la creciente necesidad de deforestar los bosques, con el fin de darles un uso intensivo en actividades agrícolas y pecuarias. Estas actividades que se han desarrollado a través del tiempo afectan directamente las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de los suelos, tales como su porosidad, pH, porcentaje de carbono orgánico; causas que hacen que el suelo disminuya capacidades, como su retención hídrica, el porcentaje de materia orgánica disponible, su fertilidad, entre otras. (Hernández, Tirado y Beltrán, 2014).

Bertoni y Lombardi (como se citó en Rivera y Avendaño, 2016) afirman que:

> Las tierras agrícolas se vuelven gradualmente menos productivas por cuatro razones principales: la degradación de la estructura del suelo, disminución de la materia orgánica, pérdida del suelo y pérdida de nutrientes. Estas razones son efectos producidos básicamente por el uso y manejo inadecuado del suelo y por la acción de la erosión acelerada.

Lo anterior, genera la deforestación, que se lleva a cabo por la explotación del suelo en diferentes actividades a la de su vocación natural.

Los suelos de uso forestal se caracterizan por cumplir un rol importante dentro del proceso de regulación y almacenamiento de agua (Borja et al, 2008), sin embargo, en la actualidad ha sido necesario someter estos suelos a otro uso, lo que ocasiona una disminución en la producción primaria (materia orgánica), por la alteración de la cobertura vegetal original (Ramsay y Oxley, como se citó en Gavilanes y Landi, 2012), teniendo un efecto directo en la regulación del agua. "Varios estudios realizados (Chacón et al., 2009), han sugerido un fuerte impacto en las propiedades físicas y químicas de los suelos, como producto de una variación cronológica de la cobertura vegetal y del uso al que han sido sometidos" (Gavilanes y Landi, 2012, p. 10). Es por esto que se ha planteado para esta investigación, realizar un estudio de las propiedades químicas, físicas y microbiológicas de dos usos de suelo, uno forestal y uno agrícola, para determinar las diferentes afectaciones causadas por el cambio de uso de suelo.

Descripción del sitio de estudio

El estudio se realizó en la granja experimental Botana de la Universidad de Nariño (ver Figura 1) que se encuentra ubicada aproximadamente a 9 km de la ciudad de San Juan de Pasto, en el corregimiento de Catambuco, vere-

da Botana; tiene una extensión de 140 hectáreas, ubicada a una altura de 2.820 m s. n. m. y una temperatura promedio de 12 °C, con precipitación anual de 967 mm; tiene como vía de acceso la carretera que conduce a la vereda El Campanero a 2 km de la vía Panamericana, en el kilómetro 77, localizada al occidente del meridiano de Greenwich a 1°09'30.62'' Latitud Norte, 77°16'31.81'' Longitud Oeste (Universidad de Nariño, s.f.).

La investigación fue aplicada en dos tipos de uso de suelo en la mencionada granja, el primero corresponde a un suelo de vocación forestal que está siendo usado como área protegida por medio de un bosque primario, por lo cual no ha sido intervenido, siendo un suelo de tipología Andisol, los cuales, según Alvarado et al. (2011), son suelos volcánicos por antonomasia, se forman sobre cenizas y vidrios volcánicos, así como a partir de otros materiales piroclásticos. El segundo suelo utilizado como objeto de estudio fue el de uso agrícola, es un suelo de tipología Alfisol que ha sido demasiado intervenido sin tener en cuenta su vocación natural, es altamente utilizado por el pastoreo y distintos tipos de forrajes, como aubade, trébol y avena. Dentro de su fertilización se le ha agregado material orgánico proveniente de excrementos de los cuyes que se encuentran en la granja, cabe mencionar que también ha sido arado y rastrillado para preparar el terreno en varias ocasiones.

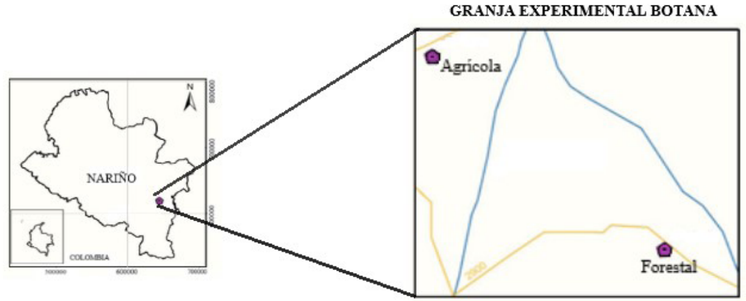


Figura 1. Distribución espacial de los sitios de muestreo. Los pentágonos purpuras representan el uso forestal y el agrícola dentro de la Granja experimental Botana de la Universidad de Nariño.

Perfil del suelo

El suelo de uso agrícola corresponde a un Alfisol y se encuentra a una altura de 2.820 m s. n. m., con coordenadas: N 1° 9'32.43" – O 77°16'33.02", a un metro de profundidad se encontraron tres horizontes de diferentes tamaños, de 33 cm, 26 cm, y 41 cm respectivamente, dichos horizontes variían de un color 2.5Y6/2 a un 7.5YR5/1 (Gris pardo claro a Gris). El perfil del suelo de uso agrícola presenta moteados naranja que indican posiblemente presencia de hierro y su textura cambia de franco arcilloso a arcilloso, su estructura es laminar (ver Figura 2).

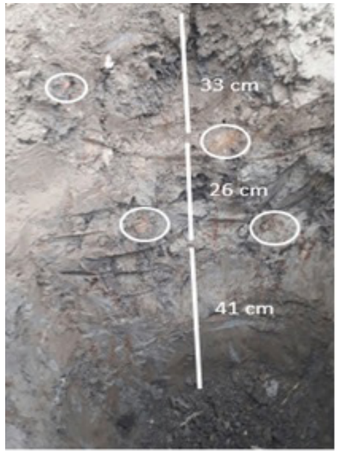


Figura 2. Horizontes del suelo agrícola.

El punto de muestreo de uso forestal está a una altura de: 2.901 m s. n. m., con coordenadas: N 1,153153 O -77.276210, la vegetación corresponde a un bosque seco montano, el suelo es de un origen volcánico; en este perfil denotaron 4 horizontes de diferentes tamaños (17 cm, 28 cm, 70 cm y 119 cm), se pudo visualizar que el color varía de un rango pardo muy oscuro a pardo amarillento oscuro (7,5 YR 2,5/2 a 10 YR 3/6), la textura al tacto es franco a franco limoso en la profundidad y con una estructura de bloques subangulares a angulares (ver Figura 3).

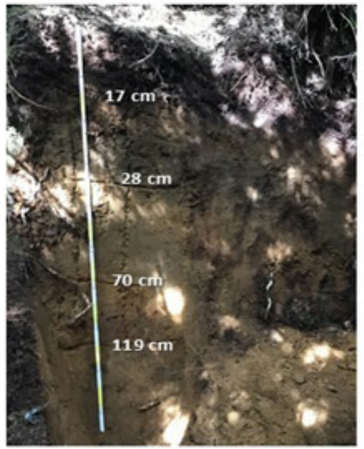


Figura 3. Horizontes del suelo forestal.

Muestreo de suelos

Para el análisis de las propiedades físicas y químicas se hicieron dos orificios en cada uso de suelo de 30 cm de profundidad cada uno; se tomaron tres muestras de cada apertura (ver Figura 4) para un total de 6 muestras por cada uso, a las cuales se les realizaron los respectivos estudios de las propiedades consideradas más relevantes. Las seis repeticiones de cada uso de suelo se hicieron con el objetivo de obtener resultados estadísticamente válidos.

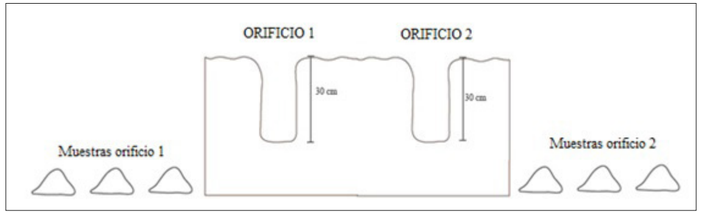


Figura 4. Toma de muestras para el análisis de las propiedades de los dos usos de suelo.

Análisis de las Propiedades físicas

Dentro del análisis de las diferentes propiedades físicas, se emplearon distintos métodos; para el cálculo de la humedad relativa se utilizó la fórmula que establece la Norma Chilena Oficial "NCh 1515 of 79", publicada en 1979; posteriormente, para el cálculo de la densidad real se tuvo en cuenta el método del picnómetro, y para la densidad aparente se utilizó el método tradicional de la probeta, que fue utilizado por Andrades, Moliner y Masaguer (2015).

Se aplicó el método del hidrómetro para calcular la distribución del tamaño de las partículas del suelo (arena, limo y arcilla), y establecer la textura por medio del triángulo de clases texturales. Para determinar el porcentaje de macroporos, mesoporos y microporos se usó el método de mesa de tensión, estos datos se usaron para realizar la curva de retención hidráulica o curva pF, que toma los resultados de las distintas tensiones a las cuales es expuesta la muestra y de esta forma encontrar los valores de los PDR, PDL, PAU, PAI.

Análisis de las Propiedades químicas

Para el análisis de los parámetros de las propiedades químicas se tomó como referencia el método propuesto por Walkley black (1934); para el cálculo de carbono orgánico del suelo y para la determinación de materia orgánica se utilizó el factor de conversión propuesto por Van Bemmelen (1890). De igual forma, para la determinación de la capacidad de intercambio catiónico y pH se tomó como referencia el libro publicado por Zapata (2002), en el cual expone métodos para el cálculo de estos parámetros; utilizando la técnica de Acetato de amonio 1N pH7 y cuantificación volumétrica para determinar la C.I.C y el potenciómetro en relación suelo: agua (1:1) para calcular el pH.

Análisis Microbiológico

Toma de muestras

Se extrajo una muestra de cada uno de los usos de suelos, aproximadamente 500 gr, que fueron homogenizadas y posteriormente puestas en refrigeración, por un tiempo máximo de 12 horas antes de ser utilizadas.

Sembrado de colonias

Se usó el mismo diseño experimental aplicado para las propiedades físicas y químicas, con la diferencia que las 12 muestras en estado sólido fueron sometidas a una serie de diluciones en concentraciones, así: 1x10-1, 1x10-3 y 1x10-5; de esta manera, se logró obtener 36 muestras en estado líquido, 12 por cada una de las disoluciones.

Las 36 muestras fueron sembradas en cajas Petri en agar nutritivo como medio de cultivo, dentro de la cámara de sembrado, rayando el medio con azas previamente cargadas de las disoluciones con cada muestra, respetivamente. Posteriormente, son envueltas, marcadas y llevadas al horno por 12 horas a 30 °C.

Selección de colonias formadoras

Se realizó una revisión sensorial para determinar en cada una de las muestras cúal dilución fue la que mayor crecimiento de microorganismos obtuvo, y se aplicó el método de purificación, extrayendo cada una de las colonias obtenidas en una caja Petri por separado, utilizando el mismo medio de cultivo, la misma técnica de sembrado dentro de la cámara y las mismas condiciones dentro del horno descritas anteriormente.

Determinación de especies en las colonias

Con las colonias ya purificadas se pudo proceder a la clasificación de especies que se podían encontrar en cada uno de los usos, aplicando una serie de pruebas sensoriales y bioquímicas amplia para asegurar la veracidad de los resultados.

Para la determinación de las características morfológicas y formadoras de los microorganismos se realizó un análisis descriptivo, para lo cual fue necesario el uso de diferentes pruebas, como: SIM, CS, UREA, MR-VP, TSI, con el fin de determinar la utilización de glucosa y lactosa, la producción de gases y ácido sulfhídrico; LIA para medir la capacidad enzimática de un organismo, descarboxilar un aminoácido, y formar una amina con la deducida alcalinidad; MIO para la identificación de enterobacterias sobre la base de movilidad, la producción de indol y omitina descarboxilasa y la tinción de gram, para determinar si eran gram positivas o negativas.

Resultados

A continuación, se presentan los resultados de las diferentes pruebas que se realizaron en los dos usos de suelo agrícola (A) y forestal (B), con el objetivo de determinar las diferencias de las propiedades microbiológicas, químicas y físicas que han sido consideradas más relevantes (ver Tabla 4). Según el análisis estadístico, es válido afirmar que existe una diferencia significativa entre los dos usos de suelo ($p < 0,05 = *$); se señala que por cada uso se analizó dos muestreos, uno en cada orificio y del cual se obtuvo un promedio de sus tres repeticiones, que aunque entre ellas se marca una diferencia, ésta es mínima, por lo cual se puede decir que no tiene diferencia significativa ($p>0,05= sd$).

Resultados propiedades químicas

En los resultados de las propiedades químicas de los suelos, se puede identificar que los valores más relevantes son los de materia orgánica y carbono orgánico, debido a que son los que tienen una mayor diferencia significativa; obteniendo como resultado para materia orgánica un 11,5 ± 0,9 % en la segunda muestra del suelo de uso forestal, y un 4,2 ± 0,2 % en la segunda muestra del suelo agrícola; de igual forma hay una diferencia significativa en los valores de carbono orgánico para el que se tiene un porcentaje de 6,7 ± 0,44 en la segunda muestra del suelo de uso forestal y un 2,4 ± 0,9% para la segunda muestra de suelo agrícola (ver Tabla 1).

Tabla 1. *Resultados del análisis de las propiedades químicas de los dos usos de suelo*

		pH	%M.O	%C.O	CIC mq/100g	t-Test
Forestal	Muestra 1 (A1)	5,10 ± 0,08	9,95 ± 1,2	5,8 ± 0,58	39,08 ± 1,0	A1 - A2 = sd A1 - B1 =*
	Muestra 2 (A2)	5,37 ± 0,04	11,5 ± 0,9	6,7 ± 0,44	33,56 ± 1,6	A1 - A2 = sd A2 - B2 =*
	Promedio (A)	5,235 ±0,06	10,7 ± 1,1	6,23 ±0,51	36,32 ±1,07	A-B = *
Agrícola	Muestra 1 (B1)	7,3 ± 0,01	4,3 ± 0,2	2,5 ± 0,9	24,63 ± 0,1	B1 – B2 = sd A1 - B1 =*
	Muestra 2 (B2)	7,4 ± 0,03	4,2 ± 0,2	2,4 ± 0,9	16,42 ± 0,6	B1 – B2 = sd A2 - B2 =*
	Promedio (B)	7,34 ±0,02	4,3 ± 0,2	2,495±0,09	20,52 ± 0,34	A-B = *

NOTA: *(p < 0,05); sd, sin diferencia (p>0,05)

Resultados propiedades físicas

Para los resultados de las propiedades físicas, el parámetro más relevante es el de humedad gravimétrica, debido a que es el que mayor diferencia significativa presenta, en una de las muestras del suelo de uso forestal se obtuvo un porcentaje de 15,3 ± 1,9 y un porcentaje de 7,8 ± 0,1 en una de las muestras del suelo de uso agrícola (ver Tabla 3).

La especificación de la textura del suelo (ver Tabla 2), fue obtenida a partir del porcentaje de sus partículas, lo cual arrojó como resultado que el suelo forestal está compuesto por un 77 % de arena, aproximadamente. Por el contrario, los porcentajes de las partículas del suelo agrícola no tienen una diferencia entre sí tan significativa, éste está conformado más o menos, por arena en un 34 %, un 27 % de limo y un 37 % de arcilla.

Tabla 2. *Resultados de la textura de los dos usos de suelo*

		% Arena	% Limo	% Arcilla	Textura
Forestal	Muestra 1	72,09	20,01	7,18	Franco arenoso
	Muestra 2	77,39	16,10	6,49	Franco arenoso
Agrícola	Muestra 1	34,56	27,83	37,60	Franco arcilloso
	Muestra 2	42,03	22,21	35,75	Franco arcilloso

		Humedad Gravimétrica (%)	Densidad Aparente (gr/cm3)	Densidad Real (gr/cm3)	Porosidad (%)	t-Test
Forestal	Muestra 1 (A1)	15,3 ± 1,9	0,7 ± 0,2	2,4 ± 0,01	69,5 ± 0,7	A1 - A2 = sd A1 - B1 =*
	Muestra 2 (A2)	12,3 ± 0,2	0,7 ± 0,2	2,4 ± 0,02	71,8 ± 1	A1 - A2 = sd A2 - B2 =*
	Promedio (A)	13,8 ± 1	0,695 ± 0,02	2,38 ± 0,02	70 ± 0,8	AB = *
Agrícola	Muestra 1 (B1)	8,2 ± 0,2	0,9 ± 0,2	2,5 ± 0,03	63 ± 1,3	B1 – B2 = sd A1 - B1 =*
	Muestra 2 (B2)	7,8 ± 0,1	0,8 ± 0,2	2,5 ± 0,03	66,4 ± 0,7	B1 – B2 = sd A2 - B2 =*
	Promedio (B)	8 ± 0,2	0,875 ± 0,02	2,485 ± 0,02	64% ± 1	AB = *

Tabla 3. *Resultados del análisis de las propiedades físicas de los dos usos de suelo*

		Humedad Gravimétrica (%)	Densidad Aparente (gr/cm3)	Densidad Real (gr/cm3)	Porosidad (%)	t-Test
Forestal 1	Muestra 1 (A1)	15,3 ± 1,9	0,7 ± 0,2	2,4 ± 0,01	69,5 ± 0,7	A1 - A2 = sd A1 - B1 =*
	Muestra 2 (A2)	12,3 ± 0,2	0,7 ± 0,2	2,4 ± 0,02	71,8 ± 1	A1 - A2 = sd A2 - B2 =*
	Promedio (A)	13,8 ± 1	0,695 ± 0,02	2,38 ± 0,02	70 ± 0,8	AB = *
Agrícola	Muestra 1 (B1)	8,2 ± 0,2	0,9 ± 0,2	2,5 ± 0,03	63 ± 1,3	B1 - B2 = sd A1 - B1 = *
	Muestra 2 (B2)	7,8 ± 0,1	0,8 ± 0,2	2,5 ± 0,03	66,4 ± 0,7	B1 - B2 = sd A2 - B2 =*
	Promedio	8 ± 0,2	0,875 ± 0,02	2,485 ± 0,02	64% ± 1	Ab = *

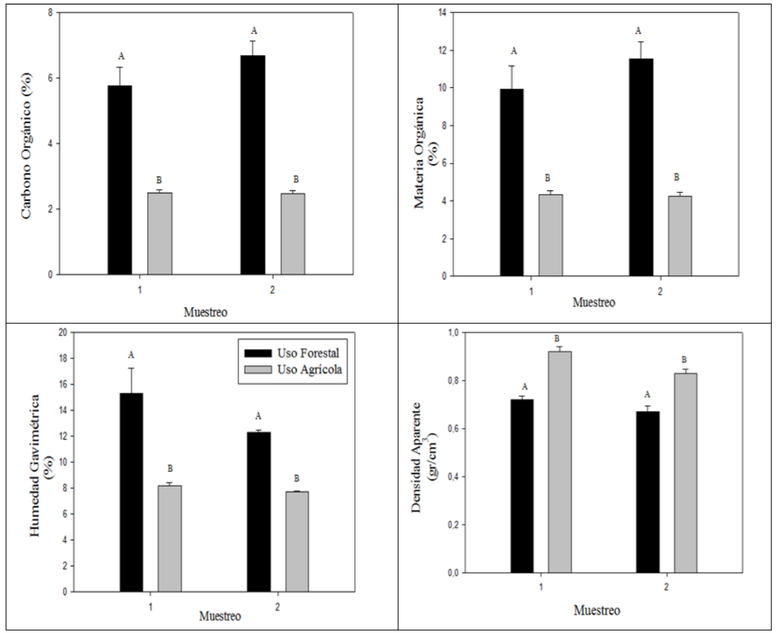


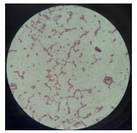
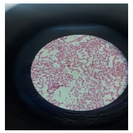
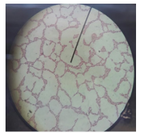
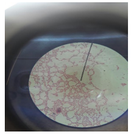
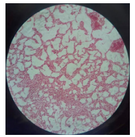
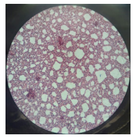
Figura 5. Resultados de las propiedades químicas y físicas más relevantes.

Resultados microbiológicos

Dentro de los resultados de los diferentes medios que fueron empleados para detectar reacciones bioquímicas de las colonias, que mediante la variación de color del medio indicador, se podían determinar diferentes características de especies microbianas; la prueba que mayor diferencia tuvo entre las colonias de los dos suelos fue la de TSI, debido a que en todas las colonias del suelo agrícola se obtuvo el mismo resultado, AA+, es decir que, se presenta fermentación de glucosa y lactosa, por el contrario a las de forestal, en las cuales se presenta solo una fermentación, y en una de las colonias se encontraron organismos no fermentadores (KK+).

Los resultados del estudio taxonómico y el número de colonias por cada uno de los usos que se plasman en la Tabla 5 indican que, en el suelo de uso forestal se identificaron dos especies, *Bacillus* sp y *Citrobacter* sp. No obstante, la mayoría de las pruebas bioquímicas arrojaron los mismos resultados para las características de las colonias de los dos suelos, consecuentemente, se logró identificar que las especies encontradas en el suelo de uso forestal también estaban presentes en el suelo de uso agrícola junto a dos especies más, *Bacillus cereus* y A*zotobacter* sp, para un total de cuatro especies microbianas identificadas en el suelo de uso agrícola, agrupadas en 9 colonias y dos para el uso forestal agrupadas en 4 colonias.

Tabla 5. *Resultados de las especies microbianas identificadas en cada uso de suelo*

Uso de suelo	Agrícola			
Número de colonias	9			
Especies	*Bacillus cereus.*	*Bacillus* sp.	*Azotobacter sp.*	*Citrobacter sp.*
Fotografía bajo microscopio				
Uso de suelo	Forestal			
Número de colonias	4			
Especies	*Citrobacter sp.*		*Bacillus sp.*	
Fotografía bajo microscopio				

Análisis y discusión

Análisis de propiedades físicas

Como resultado del análisis de las muestras de los dos tipos de suelo, se encontró que el de uso forestal presenta una textura franco arenosa, que corresponde a las propiedades de un suelo típico Andisol (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2006) y el uso agrícola presenta una textura franco arcillosa concordando con las características de los suelos Alfisoles (FAO, 2006); si bien, Ibañez (2006) afirma que los suelos que presentan mayor porcentaje de arena "son más permeables y retienen menos agua que los arcillosos" (párr. 3), también explica que en "terrenos sin cultivar, poco alterados y con vegetación natural, lo más frecuente es encontrarse con suelos con horizontes superficiales arenosos y ricos en materia orgánica (MO)" (párr. 16), lo que explica que los valores obtenidos en este parámetro hayan sido mayores en el suelo de uso forestal con un porcentaje de MO de 10,7 % ± 1,1 que en el uso agrícola, para el que se obtuvo un valor porcentual de 4,3 % ± 0,2 de MO, lo cual favorece a que el agua se infiltre y pueda acumularse en mayor cantidad en el suelo forestal que en el agrícola, aumentando de esta manera el valor de humedad gravimétrica (relación entre la masa de la fracción líquida y la masa de la fracción sólida), para este parámetro se obtuvo un porcentaje de 13,8 ± 1 % en el suelo de uso forestal y un porcentaje de humedad de 8 ± 0,2 % en el uso agrícola. En este sentido al haber obtenido valores superiores de humedad en el suelo de uso forestal, también se obtuvo como resultado una porosidad superior en este uso (70 ± 0,8 %) en comparación con el suelo agrícola que obtuvo un porcentaje de 64 ± 1 %.

"La caracterización funcional del sistema poroso es fundamental para entender los procesos de transporte de agua y/o aire, lo que también constituye una herramienta para evaluar la calidad física del suelo" (Dorner y Horn, 2007, p. 2). Por lo que el análisis de la capacidad de conductividad hidráulica representada en la curva pF es un referente que da la posibilidad de entender la estructura por la cual está conformado cada uno de los usos.

"Se ha demostrado que el cambio de uso de un suelo produce alteraciones en la estructura de los Andisoles" Ellies et al. (como se citó en Dörner, Dec, Peng y Horn, 2009, p. 191); en los resultados se muestra el incremento en la densidad aparente del uso agrícola al forestal, que va de 0,72 ± 0.02 gr/cm3 a 0,92 72 ± 0.02 gr/cm3 y la disminución de la porosidad respectivamente (de 70 % ± 0,8 a 64 % ± 1) entre los dos usos, y se manifiesta en un incremento en la capacidad de soporte, pero en una reducción de la distribución y la cantidad de poros que se ve del suelo; en consecuencia, si disminuye el espacio poroso va aumentar la densidad y el peso de suelo como tal (Dörner et al, 2009), siendo afectados principalmente, los poros más gruesos que regulan su capacidad de aire. Por lo que se evidencia una gran diferencia en los valores de PDR en la curva pF (ver Figura 6), variando en un porcentaje de 100 % ±3.5y 71 %± 4.1 entre los suelos de uso forestal y agrícola.

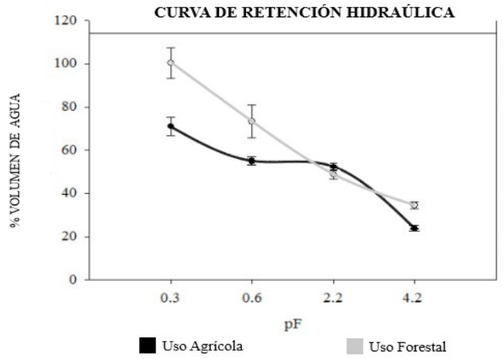


Figura 6. Curva de retención hidráulica.

Con los resultados obtenidos se puede establecer que, el sobre laboreo y el constante estrés mecánico al que el uso de suelo agrícola ha sido expuesto provoca no tan solo la compactación de éste y la formación de una estructura laminar nociva para el desarrollo vegetal, aumentando la cantidad de microporos en el uso agrícola con un valor porcentual de 47 ±2 % en comparación de un 34±1.1 % del uso forestal, que son representados por los PAU y PAI dentro de la curva de retención hidráulica (ver Figura 6); sino que también producto de ella, se generan vías preferenciales para el flujo de agua y/o aire (Stormont, 1995); Afectando la distribución de los poros y su funcionalidad.

> El comportamiento de los suelos derivados de cenizas volcánicas parece ser particular, ya que generalmente el incremento de la densidad aparente de un suelo con altos contenidos de arcilla, conduce a una reducción de la capacidad de almacenamiento de agua con pérdida importante de poros de aireación. (Dörner et al., 2009, p. 203).

Lo mencionado se puede verificar con la disminución en los PDL entre el uso agrícola y forestal, desde un 73.35 ±3.85 % hasta 55 ±1.07 %, especialmente, cuando el uso es menos fuerte como en el caso del suelo de bosque y pasa a un uso agrícola intensivo. "Lo anterior tiene consecuencias negativas sobre el desarrollo radicular, en donde se ha observado una reducción del porcentaje de raíces gruesas y una proliferación de las raíces finas, producto de un cambio de uso en el suelo" Ellies et al. (como se citó en Dörner et al., p. 206).

Análisis de propiedades químicas

Según Prochnow, Plese y Abreu (2001), una profundidad de 20 - 40 cm en un Andisol es normal encontrar valores de pH que oscilan entre 5.3 a 5.5, debido a los ácidos orgánicos cerca de la superficie o las arcillas más en profundidad. Lo que concuerda con los resultados obtenidos en el suelo de uso forestal, en donde se obtuvieron resultados en promedio de 5.2 ± 0.06, evidenciando acidez en consecuencia de los altos porcentajes de MO y su composición de ácidos húmicos y no húmicos, registrando en promedio un valor porcentual de 10,74 ±1.07 % para este uso, además la gran cantidad de material orgánico comprendido por una capa espesa de hojarasca y la humedad de un ambiente boscoso como tal acelera la degradación de estos materiales, siendo causantes de los altos valores de MO y pH como consecuencia.

En comparación con los resultados del uso agrícola, en donde se denota el aumento del pH y la disminución del porcentaje de MO, siendo en promedio 7.34 ± 0.02 y 4.3 ±0,2 % respectivamente, ya que este uso es carente de vegetación en sus primeros horizontes a causa de la deforestación y laboreo al que ha sido expuesto; aunque los valores de pH no son tan alcalinos a razón de la fertilización con material orgánico (heces de cuyes) constante al que este suelo ha sido expuesto; si se resalta la diferencia significativa en los porcentajes de MO de este uso con los del forestal. Los valores de MO no han llegado a valores tan precarios gracias a que la textura de este suelo es franco arcillosa, según Romanyá, Rovira y Vallejo (2007), "las arcillas y materiales finos del suelo (limos+arcillas) protegen la MO, de manera que la reserva de C orgánico de un suelo se relaciona bien con el contenido de materiales finos" (p. 55).

"Los niveles de C orgánico en el suelo superficial son un buen indicador de fertilidad, además, da una idea de su estabilidad frente a procesos erosivos y de compactación" (Romanyá et al., 2007, p. 52); El patrón de variación del contenido de C orgánico del suelo muestra una disminución muy importante entre todas las muestras de usos agrícolas analizados en comparación con las de uso forestales, revelando valores promedio de 6,23±0,51 % y 2,49±0,09 %.

En consecuencia, al encontrarse altas cantidades de carbono orgánico y MO en el uso forestal, de acuerdo con los criterios de Vázquez y Bautista (1993), la capacidad de intercambio catiónico (CIC) también se va comportar de la misma forma, expresándose en un valor promedio de 36,32± 1,0 meq/100g, lo cual esta fuertemente relacionado, principalmente, con el alto contenido de MO en los horizontes superficiales y subsuperficiales, evidencia de que este uso al estar a favor con su vocación, cuenta con una alta capacidad de cambio del suelo, favoreciendo la reserva de nutrientes para la vida vegetal y la capacidad tampón, que mejora y mantiene los procesos de mineralización y el desarrollo de la cubierta vegetal (Rovira y Vallejo, 2003), a diferencia de los datos obtenidos en el suelo agrícola, donde se evidencia que el cambio de uso y la sobreexplotación del mismo ha afectado negativamente todas sus propiedades químicas, desmulléndolas hasta en un 50 %.

Análisis Microbiológico

Dentro de la determinación taxonómica que se realizó a partir de las pruebas bioquímicas, para determinar las distintas especies que habitaban en las colonias de los dos usos de suelo, se encontró que para un total de 14 colonias aisladas, 9 pertenecían al uso de suelo agrícola y 4 al del bosque (ver Tabla 7), donde se evidenció una diferencia significativa en la cantidad de colonias que se pudieron diversificar; esto se lo puedo relacionar con la fertilización orgánica que se le ha aplicado al cultivo permanentemente durante todo el tiempo de uso y a las enmiendas utilizadas para ese suelo, que buscan principalmente regular el pH del mismo y llevarlo a la neutralidad, como se puede evidenciar en los resultados medidos del pH en el uso agrícola (7.34 ± 0.02). Según Sylvia et al. (como se citó en Bautista, Jiménez, Navarro, Manu y Lozano, 2003), el Calcio (Ca) aplicado en las enmiendas es importante en las bacterias, además la disminución de la vegetación en el uso agrícola en los primeros horizontes con respecto al de bosque hace que la incidencia del sol llegue directamente, aumentado la temperatura y rapidez de la reproducción del tipo de bacterias encontradas en nuestros análisis, por lo que se puede explicar mayor cantidad de colonias evidenciadas en el uso agrícola.

Una de las 4 especies microbiológicas encontradas en el suelo agrícola fue *Bacillus Cereus* sp, la cual forma esporas resistentes a condiciones adversas del medio, como altas temperaturas, deshidratación y radiación, concordando bastante con las condiciones del suelo de uso agrícola estudiado; el rango de pH para su crecimiento es de 4,5 a 9,5 (Sánchez, Correoa, Castañeda-Sandoval, 2016). A pesar que, por esta última condición hubiese sido posible encontrar esta especie en los dos usos de suelo, solo se presentó prueba de ella en el uso agrícola, ya que es más frecuente encontrar el organismo en superficies con presencia de productos agrícolas, debido a que la facultad para formar esporas garantiza la supervivencia a través de todas las fases de tratamiento de toda clase de alimentos (Poveda y Alonso, 2008). De igual forma, los miembros de la especie *Azotobacter* sp solo fueron evidenciados en el uso agrícola, ya que son frecuentes en suelos y aguas neutras o alcalinos (Pérez y Torralba, 1997, citados por Lozano, 2003), como es la condición de pH de este uso.

A diferencia de las especies *Bacillus* sp y *citrobacter* sp que fueron evidenciadas en las muestras de los dos usos, debido a que esta especie de bacterias tienen la ventaja de poseer diversos mecanismos para asegurar su sobrevivencia ante diferentes condiciones del medio, son hábiles en la formación de endosporas altamente resistentes, lo cual les da una ventaja competitiva importante en un ambiente como el suelo (Orberá, Pérez, Ferrer, Cortés y González, 2005).

Conclusiones

La deforestación de grandes hectáreas de bosques en pro de actividades intensivas agrícolas, ignorando la vocación natural que tienen los suelos, está ocasionando una grave situación en cuanto a la perdida de vegetación y de propiedades físicas y químicas del sustrato, las cuales demuestran la gran diferencia que un cambio abrupto de uso puede ocasionar, alterando las condiciones naturales del medio, que llega a modificar hasta la biota de suelo, inclusive las actividades microbiológicas y el funcionamiento de todo el sistema en general.

Las propiedades físicas del suelo se ven directamente afectadas por el cambio de uso, debido a las condiciones especiales con las que cuenta el suelo con uso forestal, como la presencia de cobertura vegetal, raíces y hojarasca, que están significativamente relacionadas y son factores que favorecen las condiciones del suelo; se pudo verificar entonces, que parámetros como la humedad y porosidad tienden a disminuir, al cambiar del suelo boscoso a un uso agrícola, debido a la constante intervención y estrés mecánico al que ha sido expuesto como consecuencia del sobre laboreo, lo que ha provocado la pérdida de cobertura vegetal natural y que sus propiedades sean alteradas negativamente.

Los distintos mecanismos de fertilización que una producción agrícola intensiva requiere para mejorar la producción, hace que durante años el suelo sea expuesto a una cantidad de sustancias ajenas a su naturaleza, que ocasionan la modificación de sus propiedades químicas, en mayor cuantía la perdida de MO % y el aumento del pH, situación que disminuye la fertilidad para el desarrollo vegetal, asimismo, la propiedad tampón y la resiliencia ante cambios del medio con el pasar del tiempo.

Referencias

Andrades, M., Moliner, A. y Masaguer, A. (2015). *Prácticas de edafología métodos didácticos para análisis de suelos*. Logroño, España: Universidad de la Rioja.

Bautista, F., Jiménez, J., Navarro, A., Manu, A. y Lozano, R. (2003). Microrelieve y color del suelo como propiedades de diagnóstico en leptosoles cársticos. *Revista Terra Latinoamericana, 21*(1), 1-11.

Bertoni, J. y Lombardi, N. (1985). *Conservaçao do solo.* Piracicaba: Livroceres.

Borja, A., Bricker, S., Dauer, D., Demetriades, N., Ferreira, J., Forbes, A.,... Zhu, C. (2008). Overview of integrative tools and methods in assessing ecological integrity in estuarine and coastal systems worldwide. *Marine Pollution Bulletin,* 56(9), 1.519-1.537. doi: 10.1016/j.marpolbul.2008.07.005

Chacón, G., Gagnon, D. y Paré, D. (2009). Comparison of soil properties of native forests, Pinus patula plantations and adjacent pastures in the Andean. *Soil Use and Management*, (25), 427–433

Dörner, J. y Dec, D. (2007). La permeabilidad del aire y conductividad hidráulica saturada como herramoento para la caracterización funcional de los poros del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal,* 7(2), 1-13. doi: 10.4067/S0718-27912007000200001

Dörner, J., Dec, D., Peng, X. y Horn, R. (2009). Efecto del cambio de uso en la estabilidad de la estructura y la función de los poros de un Andisol (*Typic Hapludand)* del sur de Chile. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal, 9*(3), 190-209. doi: 10.4067/S0718-27912009000300003

Ellies, A., Horn, R., Smith, R. (2000). Effect of management of a volcanic ash soil on structural properties. *Int. Agrophysics 14*, 377-384.

Gavilanes, M. y Landi, E. (2012). *Efectos del cambio de uso de la tierra sobre las propiedades físicas y químicas en la Microcuenca del río Zhurucay* (tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Ecuador. Recuperado de http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/388

Hernandez, J., Tirado, D. y Beltrán, R. (2014). Captura de Carbono en los suelos. *Boletín científico PÄDI Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 1*(2). Recuperado de https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icbi/n2/e4.html

Ibañez, J. (5 de julio de 2006). El agua en el suelo 4: Textura del Suelo y Propiedades Hídricas [Blog]. Recuperado de http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/07/05/33887

Orberá, T., Pérez, I., Ferrer, D., Cortés, N. y González, Z. (2005). Aislamiento de cepas del genero Bacillus sp. con potencialidades para la bioprotección y la estimulación del crecimiento vegetal. *Revista cubana de química, XVII*(1), 189-195.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2006). Características de suelos Andisoles y Alfisoles. Roma, Italia.

Poveda, J. y Alonso, X. (2008). Medios de crecimiento para Bacillus Cereus. Facultad de Ciencias. Universidad Javeriana. Bogota – Colombia.

Prochnow, L., Plese, L. & Abreu, M. (2001). Bioavailibity of cadmium contained in single superphosphates produced from different Brazilian raw materials. *Communications in Soil Science and Plant Analysis, 32*(1-2), 283-294.

Ramsay, P. & Oxley, E. (2001). An assessment of aboveground net primary productivity in Andean grasslands of Central Ecuador. *Mountain Research and Development, 21*(2), 161-167.

Rivera, E. y Avendaño. (2016). *Apuntes para mando a cargo de personal técnico operativo.* Bloomington: Palibrio.

Romanyá, P., Rovira, P. y Vallejo, R. (2007). Análisis del carbono en los suelos agrícolas de España. Aspectos relevantes en relación a la reconver-

sión a la agricultura ecológica en el ámbito mediterráneo. *Ecosistemas 16*(1), 50-57.

Rovira, P. & Vallejo, V. (2003). Physical protection and biochemical quality of organic matter in mediterranean calcareous forest soils: a density fractionation approach. *Soil Biology and Biochemistry, 35*(2-1), 245-261.

Sanchez, J., Correa, M. y Castañeda-Sandoval, L. (2016). Bacillus Cereus un patógeno importante en el control microbiológico de los al9mentos. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública, 34*(2), 230- 242. doi: 10.17533/udea.rfnsp.v34n2a12

Stormont, J.C. (1995). The effect of constant anisotropy on capillary barrier performance. *Water Resources Research, 31*(3) 770-778.

Universidad de Nariño. (s.f.). Granja experimental Botana. Recuperado de http://www.udenar.edu.co/project/granja-experimental-botana/

Vázquez, A.A. y Bautista, N.A. (1993). Guía para interpretar el análisis químico de suelo y planta. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México.

Zapata, R. (2002). *Química de los procesos pedogenéticos del suelo.* Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Actividad fotocatalítica de películas de TiO_2 dopadas con no metales, utilizando la Técnica Sol-Gel

Daniela Calderón A.[64]
William Vallejo[65]
Carlos Díaz Uribe[66]

Resumen

El dióxido de titanio (TiO_2) es un semiconductor muy estable física y químicamente; además, es un material abundante e inocuo para la naturaleza; actualmente es uno de los fotocatalizadores más empleados para degradar moléculas orgánicas en procesos de purificación de agua y aire. En este trabajo se utilizará el método Sol-Gel para sintetizar dióxido de titanio dopado con no metales, a partir de tetraisopropóxido de titanio y tiourea. Posteriormente, los materiales serán soportados como películas delgadas sobre vidrio, utilizando la técnica de Doctor Blade. Los materiales se caracterizarán empleando diferentes técnicas analíticas, como FTIR, DRX, UV-Vis y DRS. Por último, se evaluará la actividad fotocatalítica de los materiales obtenidos por medio del estudio de degradación de azul de metileno.

Palabras clave: azul de metileno, catálisis heterogénea, dopaje con no metales, POA's, TiO_2.

[64] Programa de Química, Universidad del Átlantico. Barranquilla, Colombia. Correo electrónico: dcalderon@mail.uniatlantico.edu.co

[65] Programa de Química, Universidad del Átlantico. Barranquilla, Colombia. Correo electrónico: williamvallejo@mail.uniatlantico.edu.co

[66] Programa de Química, Universidad del Átlantico. Barranquilla, Colombia. Correo electrónico: carlosdiaz@mail.uniatlantico.edu.co

Photocatalytic Activity of TiO_2 films dopated with Non-Metals using the Sol-Gel Technique

Abstract

Titanium dioxide (TiO_2) is a very stable semiconductor physically and chemically, besides being an abundant and harmless material for nature; it is currently one of the most used photocatalysts to degrade organic molecules in water and air purification processes. In this work, the Sol-Gel method will be used to synthesize doped titanium dioxide with nonmetals, from titanium tetraisopropoxide and thiourea. Subsequently, the materials will be supported as thin films on glass, using the Doctor Blade technique. For the characterization of the materials different analytical techniques will be used, such as FTIR, DRX, UV-Vis and DRS. Finally, the photocatalytic activity of the materials obtained through the degradation study of methylene blue will be evaluated.

Key words: methylene blue, heterogeneous catalysis, doping with no metals, POA's, TiO_2.

Atividade fotocatalítica de filmes TiO_2 dopatados com Não-Metálicos utilizando a Técnica Sol-Gel

Resumo

O dióxido de titânio (TiO_2) é um semicondutor físico e químico muito estável, é também um material abundante e inofensivo para a natureza. Atualmente é um dos fotocatalisadores mais utilizados para degradar moléculas orgânicas em processos de purificação de água e ar. Neste trabalho, o método Sol-Gel será utilizado para sintetizar dióxido de titânio dopado com não-metais a partir de tetraisopropóxido de titânio e tioureia. Posteriormente, os materiais serão suportados como filmes finos em vidro usando a técnica de Doctor Blade. Os materiais serão caracterizados utilizando diferentes técnicas analíticas, como FTIR, DRX, UV-Vis e DRS. Finalmente será avaliada a atividade fotocatalítica dos materiais obtidos, por meio do estudo da degradação do azul de metileno.

Palavras-chave: azul de metileno, Catálise heterogênea, dopagem com não-metais, POA, TiO_2.

Introduccion

La necesidad de preservar el medio ambiente ha llevado a la búsqueda de nuevos métodos para la eliminación eficiente de los compuestos químicos que alteran la estabilidad de nuestros recursos. La contaminación del agua es un hecho de gran importancia ya que los contaminantes pueden acumularse y transportarse tanto por las aguas superficiales como subterráneas.

La protección y conservación de los recursos naturales constituyen hoy en día una de las principales preocupaciones sociales. Entre estos recursos se destaca en primer lugar el agua como un bien preciado y escaso, lo que conduce a su adecuado uso y reciclaje, debido a que las normas legales imponen criterios cada vez más estrictos para obtener una mayor y mejor depuración de las aguas que están contaminadas con altas concentraciones de pesticidas, metales pesados, colorantes, entre otros contaminantes. (Garcés, Mejía y Santamaría, 2004; Giraldo y Robledo, 2015, p. 8).

Por lo anterior, entre los métodos de tratamiento de agua, la fotocatálisis heterogénea, utilizando el semiconductor TiO_2, es un procedimiento prometedor como metodología efectiva para degradar contaminantes orgánicos recalcitrantes. Sin embargo, debido a que el TiO_2 posee un band gap (3.2 eV), este semiconductor solo es fotocatálicamente activo en el rango ultravioleta del espectro electromagnético (ver Figura 1), esto incrementa los costos de implementación y ocasiona que se desaproveche la radiación en el rango visible del espectro electromagnético que corresponde a la radiación solar (Li, X. y Li, F, 2001). Actualmente, se desarrolla una amplia investigación en la búsqueda de metodologías que permitan mejorar la actividad fotocatalitica del TiO_2 en esta región. En este trabajo, se propone el método de dopaje con no metales para mejorar la fotorespuesta del TiO_2 y cambiar su respuesta fotocatalítica al rango visible del espectro electromagnético.

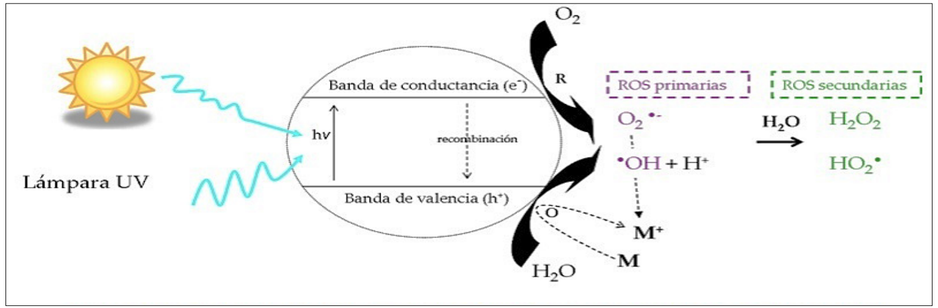


Figura 1. Representación esquemática de una partícula de semiconductor excitada con radiación ultravioleta.
Fuente: Oppenlander, 2003.

El óxido de titanio es uno de los óxidos metálicos más estudiados para aplicaciones tecnológicas, algunos usos del TiO_2 tienen que ver con celdas solares, la producción de hidrógeno, el desarrollo de dispositivos electrónicos, en la industria de pinturas, cosméticos, catálisis heterogénea, fotocatálisis, el tratamiento de agua, entre otras (Ulrike, 2003).

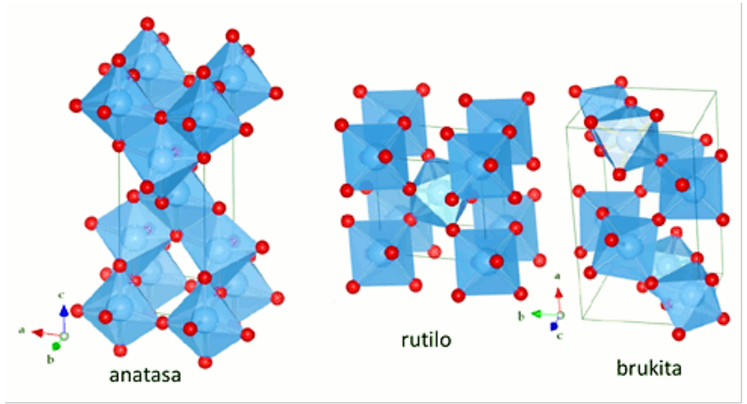


Figura 2. Estructuras del TiO_2. (a) anatasa; (b) rutilo; (c) brukita.
Fuente: Kranthi, 2008.

El TiO_2 se encuentra en la naturaleza en varias formas: rutilo (estructura tetragonal), anatasa (estructura octahédrica) y brookita (estructura ortorómbica) como muestra la Figura 2. El dióxido de titanio rutilo y el dióxido de titanio anatasa se producen industrialmente en grandes cantidades y se utilizan como pigmentos y catalizadores, también son ampliamente utilizados en la producción de materiales cerámicos.

Este semiconductor tiene gran importancia como pigmento blanco por sus propiedades de dispersión, su estabilidad química y su no toxicidad (Hanaor & Sorrell, 2014). El TiO_2 es anfotérico, muy estable químicamente y no es atacado por la mayoría de los agentes orgánicos e inorgánicos. El TiO_2 es un semiconductor sensible a la luz que absorbe radiación electromagnética cerca de la región UV, debido a esto solo puede aprovechar alrededor de un 4 % de la intensidad de la radiación solar, esto representa un limitante mayor, puesto que se desperdicia gran cantidad de energía abundante y sin costo. Actualmente, diferentes estrategias son utilizadas para extender el rango de fotorespuesta del TiO_2 a la región visible del espectro electromagnético (Masakazu, 2000).

Típicamente el TiO_2 es usado en aplicaciones ambientales en suspensión y en forma de nanopartículas de elevada área superficial; esto permite una buena transferencia de masa y el contacto directo con grandes cantidades de contaminante. Sin embargo, a nivel práctico, el uso de nanopartículas libres en medio acuoso hace necesario incorporar un proceso de filtración riguroso para su posterior separación del medio tratado; adicionalmente, la agregación de partículas por fenómenos electrostáticos puede resultar en un aumento de la recombinación de los portadores de carga en el sólido y disminución del área activa para la fotocatálisis. Estos inconvenientes pueden ser solventados por el uso de nanoestructuras del fotocatalizador sobre un soporte; la fijación del TiO_2 en forma de película delgada permite la fácil recuperación del catalizador del medio de reacción después del proceso de degradación sin ninguna etapa adicional.

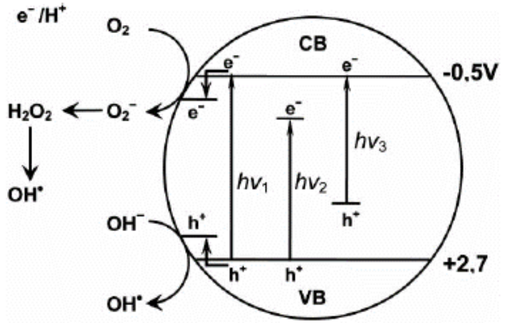


Figura 3. Mecanismo fotocatalítico general del TiO_2 después de ser dopado: hv_1 - TiO_2 puro; hv_2- TiO_2 dopado con metal; hv_3- TiO_2 dopado con un no metal.

Fuente: Zaleska, 2008

Los procesos de dopado con TiO_2 se han realizado mediante la inclusión de átomos metálicos, como Cu, Co, Ni, Cr, Mn, Mo, Nb, V, Fe, Ru, Au, Ag, Pt (Jiadong et al., 2016), y no metálicos, como N, S, C, B, P, F (Noor, Farveez & Hussain, 2008). La fotoactividad a menores longitudes de onda del TiO_2 dopado puede explicarse por la creación de niveles energéticos en el band gap (ver Figura 3), el nuevo nivel de energía producido al interior del band gap del TiO_2 permitirá la excitación electrónica con valores de energía menores a las del band gap del material puro, en la Figura 4 se muestra el esquema general. Después de absorber energía, el electrón puede ser excitado desde un nivel atómico a la banda de conducción del TiO_2 por un fotón con energía igual a hv_2 o hv_3 menor que hv_1. Cuando el dopado se realiza con elementos metálicos se reducen los efectos de la recombinación par electrón-hueco durante la irradiación. La disminución de la capacidad de recombinación del par h^+/e^- de los portadores de carga da como resultado una fotoactividad mejorada. Existen 3 factores que se deben tener en cuenta para el dopado con no metales: (a) los niveles de energía de las impurezas (Asahi, Morikawa, Ohwaki, Aoki & Taga, 2001); (b) la disminución del band gap (Hiroshi, Yuka & Hashimoto, 2003); y (c) vacantes de oxigeno (Ihara, Miyoshi, Iriyama, Matsumoto & Sugihara, 2003). Para los procesos de dopado serán elementos eficientes los que tengan tamaños y valencias similares. Para el caso de las especies mucho más pequeñas que los átomos de TiO_2, estas ocuparán la posición intersticial en la red, que pueden causar nuevos niveles de energía en el band gap y actuar como centros de recombinación.

Metodología

Materiales y Métodos

Todos los reactivos del presente trabajo serán de grado analítico, tiourea, (>99 %), isopropoxido de titanio Sigma Aldrich, alcohol isopropílico, acetonitrilo y agua.

Síntesis del Fotocatalizador Tio_2 Dopado con C, N y S

El fotocatalizador de TiO_2 dopado con C, N y S se preparará por hidrólisis, utilizando isopropóxido de titanio como precursor de titanio y tioacetamida como fuente no metales (Chen et al., 2004). En una preparación típica se mezclan 10 ml de solución de isopropóxido de titanio con 30 ml de solución de alcohol isopropílico. Esta solución se añade gota a gota a 20 ml de agua desionizada que conteniene un vaso de precipitados de 250 ml. La solución se mezcla aproximadamente con un agitador magnético durante 4 h. A esta solución se añade la cantidad requerida de tioacetamida disuelta en 5 ml de agua desionizada. La mezcla se agita durante 6 h y se seca en horno a 80 ºC durante 12 h. El producto sólido formado se calcina adicionalmente

a 400 ºC durante 6 h en aire para obtener fotocatalizador de TiO_2 dopado. En la Tabla 1 se lista las proporciones de dopado que se sintetizarán en este proyecto de grado (Kumar, 2010).

Tabla 1. *Proporciones en % w/w de tioacetamida/ TiO_2*

Rotulado	%w/w tioacetamida/ TiO_2
TCNS1	1
TCNS3	3
TCNS5	5

Preparación de Películas Delgadas

Para estas se utilizará el método de doctor Blade, donde se tomó el catalizador TiO_2 dopado y sin dopar, con polietilenglicol y alcohol isopropilico, se maceró por 15 minutos y se agitó por 1 hora. Luego se esparció uniformemente sobre la superficie de la película de vidrio, y se lleva a secado a 500 °C (Ochoa, Ortegon y Rodríguez, 2010).

Caracterización

Los materiales obtenidos serán caracterizados por medio XDR y Raman, que permitirán confirmar la presencia y proporción de la fase anatasa en el catalizador preparado, y SEM que permitirá ver la imagen superficial del sólido.

Resultados

Resultados Estructurales

En el presente trabajo, la difracción de rayos X se llevó a cabo para identificar la fase presente en las diferentes películas de TiO_2 y de TiO_2 dopadas con Nitróge-no, Azufre y Carbono, obtenidas por el método sol-gel. Los análisis se desarrolla-ron utilizando la radiación CuKα generada con un difractómetro Shimadzu -6000 operado a 40 KV y 30 mA. La Figura 4 muestra el patrón de difracción de las pe-licuas de TiO_2 obtenidas; donde se indica que las películas presentaron una sola fase cristalina, correspondiente a la fase anatasa, el patrón de difracción muestra diferentes planos de crecimiento, como un plano de crecimiento preferencial ubicado en 2θ=25.3, correspondiente al plano (101).

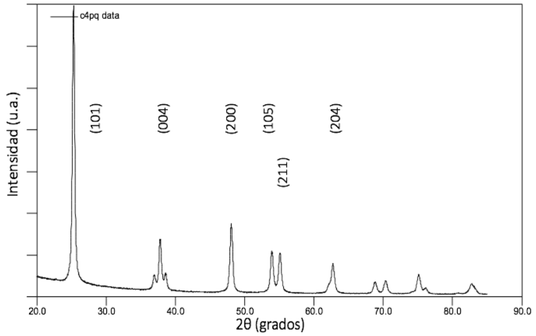


Figura 4. Patrón de difracción de XRD TiO_2 sintetizado por el método sol gel.

Las señales observadas corresponden con las señales de la fase ana-tasa (JCPDS No 071-1166).

Este resultado es relevante, teniendo en cuenta que la fase anatasa es la fase fotocatálicamente más activa de los tres principales polimorfos de TiO_2. Los resultados del análisis óptico indican que el proceso de modifi-cación del TiO_2 afectó su foto-respuesta en el rango visible del espectro electromagnético (Zhang et al., 2002).

Resultados espectroscopia Raman

Las películas de TiO_2 presentaron los picos Raman (ver Figura 5) caracterís-ticos de la fase anatasa y los modos de simetría de vibración para la fase anatasa indicados así: E1g para las señales localizadas a 144 cm-1, 398 cm-1 y 520 cm-1, y E3g para la señal localizada a 639 cm-1, asignaciones que corres-ponden con las reportadas en la literatura (Zhang, Li, Feng, Chen & Li, 2006).

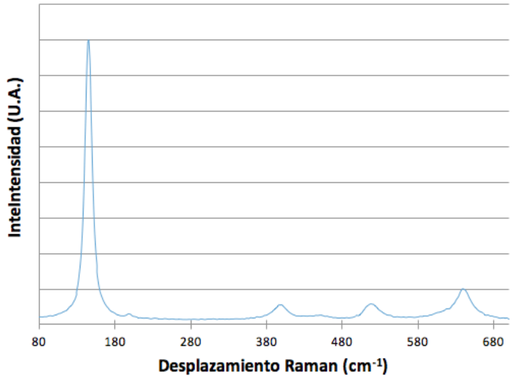


Figura 5. Espectro Raman de películas sintetizadas de dióxido de titanio.

Caracterización morfológica

La Figura 6 muestra la imagen de microscopia electrónica de barrido de las películas de TiO , muestra que las películas de TiO_2 estaban conformadas por micro agregados con un estrecho margen de tamaño del orden de los 50 nm; se observó la morfología típica del TiO_2. Mediante el análisis por EDS se verificó la composición del material utilizado para la obtención de las películas Titanio y Oxigeno. Las imágenes obtenidas evidencian baja uniformidad superficial en las películas (Mahdjoub, Allen, Kelly y Vishn-yakov, 2010).

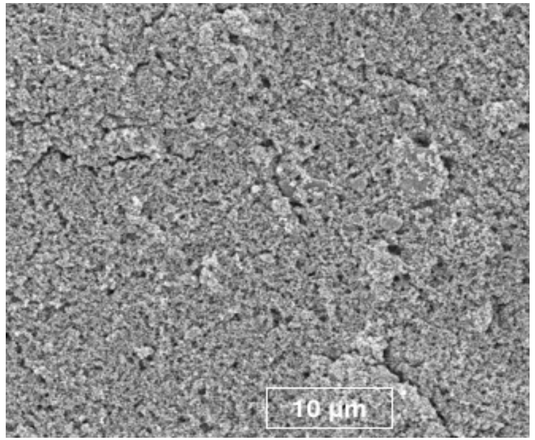


Figura 6. Las imágenes de microscopia electrónica de barrido de una película de dióxido de titanio, magnificación 10x10.

Conclusiones

En este trabajo se fabricaron películas delgadas de TiO_2 y películas dopadas usando la técnica sol gel. Como fuente de Titanio se utilizó tetraisopropoxi-do de titanio. El análisis morfológico indicó que se formaron aglomerados en un tamaño promedio de 60 nm. Los resultados de la EDS y el análisis es-pectroscópico permitieron verificar la composición de las películas de TiO_2.

Referencias

Asahi, R., Morikawa, T., Ohwaki, T., Aoki, K. & Taga, Y. (2001). Visible-light photocatalysis in nitrogen-doped titaniu, oxides. *Science, 293*(5.528), 269-271. doi: 10.1126/science.1061051

Chen, C., Lei, P., Ji, H., Ma, W., Zhao, J., Hidaka, H. & Sepone, N. (2004). Photocatalysis by Titanium dioxide and polyoxometalate/TiO2 Cocatalysts. Intermediates and mechanistic study. Environmental sciencie and technology, 38(1), 329-337. doi: 10.1021/es034384f

Garcés, L., Mejía, E. y Santamaría, J. (2004). La Fotocatálisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de investigación, 1*(1), 83-92.

Giraldo, M. y Robledo, L. (2015). *Estudio por microscopía de fuerza atómica (AFM) del soporte de TiO_2 sobre vidrio para la degradación de contaminantes por fotocatálisis hetereogénea* (tesis de pregrado). Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. Recuperado de http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/6020/541395G516e.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Hanaor, D. & Sorrell, C. (2014). Sand supported mixed-phase TiO_2 photocatalysts for water decontamination applications. *Advanced engineering materials, 16*(2), 248-254. doi:10.1002/adem.201300259

Hiroshi, I., Yuka, W. & Hashimoto, K. (2003). Nitrogen-Concentration dependence on photocatalytic activity of TiO_2-x N X Powders. *Journal of physical chemistry B, 107*(23), 5.483-5.486. doi: 10.1021/jp030133h

Ihara, T., Miyoshi, M., Iriyama, Y., Matsumoto, O. & Sugihara, S. (2003). Visible-Light-Active Titanium oxide photocatalyst realized by an oxygen-deficient structure and by nitrogen doping. *Applied catalysis B environmental,* 42(2), 42, 403-409. DOI: 10.1016/S0926-3373(02)00269-2

Jiadong, X., Yongbing, X., Hongbin, C., Faheem, N., Shanshan, Z. & Yueqiu, W. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 315*(15), 59-66. doi: 10.1016/j.jphotochem.2015.09.013

Kumar, P., Laxma, P., Sharma, V., Srinivas, B., Kumari, V. & Subrahmanyam, M. (2010). Photocatalytic degradation of isoproturon pesticide on C, n and S doped TiO_2. *Journal of water resource and protection, 2*(3), 235-244.

Li. X. & Li. F.B. (2001). Study of Au/Au^{3+} -TiO_2 photocatalysts toward visible photooxidation for water and wastewater treatment. Environmental Science & Technology, 35(11), 2.381-2.387.

Mahdjoub, N., Allen, N., Kelly, P., & Vishnyakov, V. (2010). SEM and Raman study of thermally treated TiO2 anatase nanopowders: Influence of calcination on photocatalytic activity. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 211*(1), 59-64. doi: 10.1016/j.jphotochem.2010.02.002

Masakazu, A. (2000). Use of visible light. Second-generation titanium oxide photocatalysts prepared by the application of an advanced metal ion-implantation method. *Pure and Applied Chemistry, 72*(9), 1.787–1.792.

Noor, S., Farveez, H. & Hussain, O. (2008). Characterization and photocatalytic activity of boron-doped TiO_2 thin films prepared by liquid phase deposition technique. *Bulletin of materials science, 31*(5), 741–745.

Ochoa, Y., Ortegón, Y. y Rodríguez, J. (2010). Síntesis de TiO2, fase anatasa, por el método solgel: estudio del efecto de la presencia de AcacH en el sistema. *Revista facultad de ingeniería Universidad de Antioquia,* 52, 29-40.

Oppenlander, T. (2003). *Photochemical purification of water and air: Advanced oxidation processes (AOPs) – principles, reaction mechanisms, reactor concepts*. Alemania: Wiley-VCH.

Ulrike, D. (2003). The surface science of titanium dioxide. *Surface science reports,* 48(5-8), 53-229. doi: 10.1016/S0167-5729(02)00100-0

Zaleska, A. (2008). Doped-TiO_2: a review. *Recent Patents on Engineering, 2*(3), 157-164. doi: 10.2174/187221208786306289

Zhang, J. Y., Boyd, I. W., O'sullivan, B. J., Hurley, P. K., Kelly, P. V., & Senateur, J. P. (2002). Nanocrystalline TiO2 films studied by optical, XRD and FTIR spectroscopy. *Journal of Non-Crystalline Solids, 303*(1), 134-138. doi: 10.1016/S0022-3093(02)00973-0

Zhang, J., Li, M., Feng, Z., Chen, J., & Li, C. (2006). UV Raman spectroscopic study on TiO2 I. Phase transformation at the surface and in the Bulk. *Journal physical chemistry B, 110*(2), 927–935. doi: 10.1021/jp0552473

Factores explicativos de la presencia de Bisfenol A y Ftalatos en el agua embotellada comercializada en Bogotá

Andres Mauricio Enriquez Hidalgo[67]
Jaime Andres Lara Borrero[68]
Andres Eduardo Torres Abello[69]

Resumen

El objetivo fue identificar la influencia de factores (empaque, origen y gas), entre los cuales, el factor empaque se divide en botellas de tereftalato, de polietileno y vidrio; el factor gas dividido en agua con gas y agua sin gas; y el factor origen dividido en aguas internacionales y colombianas, en la presencia y cuantificación de disruptores endocrinos (DE) en agua embotellada comercializada en Bogotá. Con cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) se descubrió la presencia de DE y se cuantificó las concentraciones. En este sentido, se aplicó conceptos de análisis de componentes principales, análisis de correspondencia múltiple, pruebas de Wilcoxon, Kruskal Wallis, información mutua promedio y modelos basados en árboles, con el fin de encontrar los factores más importantes de DE. Se encontró ftalatos como dimetil ftalato, dietil ftalato, di-iso-butil ftalato, dibutil ftalato, bis-2-etil-hexil ftalato y di-n-octil ftalato y bisfenol A (BPA) en 173 muestras de agua embotellada. Factores como la botella de vidrio y el agua con gas, son importantes en la detección y cuantificación de los DE encontrados; sin embargo, se debe considerar que las aguas de origen internacional tuvieron concentraciones mucho más altas en la mayoría de los DE que en las aguas colombianas, lo que sugiere que la combinación de estos factores puede causar el sobrepaso del umbral, dado por el índice de toxicidad proporcionado por el Programa de Asesoramiento de Salud.

Palabras clave: agua embotellada, análisis estadísticos lineales, bisfenol A, cuantificación, detección, ftalatos, grado de toxicidad, modelos basados en árboles, promedio de información mutua.

Explanatory Factors of the presence of Bisphenol A and Ftalatos in bottled water commercialized in Bogotá

Abstract

The objective of the work was to identify the presence and quantification of endocrine disruptors (ED) in bottled water that is commercialized in Bogotá and how the packing, origin and gas factors influence this process. The packing factor is divided into terephthalate, polyethylene and glass bottles; the origin factor, in international and Colombian waters; and the gas factor, in water with gas and water without gas. With gas chromatography coupled to mass spectrometry (GC-MS), the presence of ED was discovered, and the concentrations were quantified. In this sense, concepts of principal component analysis, multiple correspondence analysis, Wilcoxon tests, Kruskal Wallis, average mutual information and tree-based models were applied, in order to find the most important factors of ED. In 173 samples of bottled water, phthalates such as dimethyl phthalate, diethyl phthalate, di-iso-butyl phthalate, dibutyl phthalate, bis-2-ethyl-hexyl phthalate and di-n-octyl phthalate and bisphenol A (BPA) were found. Factors such as the glass bottle and sparkling water are important in the detection and quantification of the DE found. However, it should be considered that waters of international origin had much higher concentrations in most ED than in Colombian waters, suggesting that the combination of these factors may cause the excess of threshold, given by the index of toxicity provided by the Health Advisory Program.

Key words: bottled water, linear statistical analysis, bisphenol A, quantification, detection, phthalates, degree of toxicity, tree-based models, mutual information average.

Fatores explicativos da presença de Bisfenol A e Ftalatos em água engarrafada comercializada em Bogotá

Resumo

O objetivo do trabalho foi identificar a presença e quantificação de desreguladores endócrinos (DE) na água engarrafada comercializada em Bogotá e como os fatores de embalagem, origem e gás influenciam esse processo. O fator de embalagem é dividido em garrafas de tereftalato, polietileno e vidro; o fator de origem, nas águas internacionais e colombianas; e o fator gás, na água com gás e água sem gás. Com cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massa (GC-MS), foi descoberta a presença de ED e quantificadas as concentrações. Nesse sentido, foram aplicados conceitos de análise de componentes principais, análise de correspondência múltipla, testes de Wilcoxon, Kruskal Wallis, informação mútua média e modelos baseados em árvores, a fim de encontrar os fatores mais importantes da DE. Em 173 amostras de água engarrafada, foram encontrados ftalatos como dimetil ftalato, dietil ftalato, di-iso-butil-ftalato, dibutil-ftalato, bis-2-etil-hexil-ftalato e di-n-octil-ftalato e bisfenol A (BPA). Fatores como a garrafa de vidro e a água com gás são importantes na detecção e quantificação do DE encontrado. No entanto, deve-se considerar que as águas de origem internacional apresentaram concentrações muito mais altas na maior parte do DE do que nas águas colombianas, sugerindo que a combinação desses fatores pode causar excesso de limiar, dado pelo índice de toxicidade fornecido pelo Programa Consultivo de Saúde.

Palavras-chave: água engarrafada, análise estatística linear, bisfenol A, quantificação, detecção, ftalatos, grau de toxicidade, modelos baseados em árvores, média de informação mútua.

Introducción

Compuestos como el bisfenol A (BPA: 4, 4′-dihidroxi-2, 2-difenilpropano) y los ftalatos son los químicos de mayor producción en todo el mundo: la producción anual global de BPA se estima en más de cinco millones de toneladas (Rhomberg & Goodman, 2012). Este es un componente básico de policarbonato (PC) de plástico, es un monómero de resinas epoxi utilizado en el recubrimiento de latas de aluminio, envolturas de alimentos, papeles, cartones, recibos de cajas registradoras y filtros de cigarrillos (Rubin, 2011; Li, Ying, Su, Yanf & Wang, 2010; Muhamad et al. 2016). El BPA y los ftalatos son utilizados a menudo en los envases de alimentos y de bebidas, incluyendo botellas de agua potable y biberones (Jeddi, Rastkari, Ahmadkhaniha & Yunesian, 2015)especially considering the steady growth of the consumption of bottled water and the toxicological effects of phthalates. In this regard, special attention should be paid to children's consumption because of their particular susceptibility to the effects of phthalates.\n\nThe aim of this study was to determine the concentrations of phthalates, including dibutyl phthalate (DBP. Teniendo en cuenta que estos son buenos indicadores de la exposición de disruptores endocrinos (DE), son considerados como sustancias de la representación de la toxicidad en el agua. Dicho esto, se han registrado pérdidas humanas, debido a la exposición al BPA (Li et al., 2010). En efecto, se ha establecido y documentado la exposición al BPA como resultado de la migración de este compuesto a los alimentos y al agua potable. Un análisis de la Unidad Nacional de Salud y Encuesta de Nutrición (NHANES) de EE.UU reveló una exposición de más de 90 % de la población general a BPA (Li et al., 2010).

Vandenberg (2011) reveló que la exposición al BPA se encuentra en ascenso actualmente a nivel mundial, estos datos apoyan la hipótesis de que los materiales de envasado PET son una fuente de generación de DE. Sin embargo, sobre la base de esos estudios, la exposición al BPA por el agua potable constituye un riesgo mínimo para la salud humana (Li et al., 2010;

[67] Maestría en Hidrosistemas, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. Correo electrónico: enriquez_andres@javeriana.edu.co

[68] Maestría en Hidrosistemas, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.

[69] Maestría en Hidrosistemas, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.

Nam, Seo y Kim, 2010; Cooper, Kendig y Belcher, 2011; Wagner y Oehlmann, 2011) bisphenol A (BPA). Por otra parte, el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA) (2017) tiene 789 registros vigentes de empresas fabricantes de agua embotellada. Bogotá presenta 165 empresas registradas, destacando que el agua del grifo es percibida por el público en general como no apta para el consumo, debido a las prácticas inadecuadas de potabilización, el abuso de fertilizantes y plaguicidas, y la falta general de vigilancia del medio ambiente en la aplicación de la ley en el país.

Por lo tanto, este estudio propone tratar de identificar los factores incidentes sobre la presencia de estos compuestos en agua embotellada que se distribuye en Bogotá, en función del tipo de embotellado, país de origen y si tiene gas o no. Lo anterior se justifica debido a la falta de elementos que permiten predecir el comportamiento de los DE en función de factores explicativos que den respuesta a preguntas como: ¿El envase del agua embotellada influye en la presencia de los DE?, ¿el agua embotellada de importación es mejor que la nacional?, ¿el gas en el agua embotellada influye en la detección de estos?, cuyo fin engloba el objetivo de identificar factores que tienen mayor grado de influencia sobre la presencia de los compuestos indicadores, como Bisfenol A y Ftalatos en el agua embotellada que se comercializa en Bogotá.

Materiales y Métodos

Se consiguió 59 marcas de agua embotellada comercializada en Bogotá y se compraron tres repeticiones de cada marca, teniendo en cuenta que en Bogotá hay 165 empresas comercializadoras de agua embotellada registradas (INVIMA, 2017). Con el fin de conocer si este número de muestras (173, debido a que de todas las marcas no se obtuvo las tres repeticiones por cuestiones de mercado) es representativo, se realizó un diseño experimental que dé respuesta a esta incógnita. Para la elaboración del diseño experimental se hizo uso de la librería "Agricolae" para el software R Statistical. Este paquete ofrece una amplia funcionalidad de diseños experimentales, especialmente para experimentos de agricultura, sin embargo, puede ser utilizado con diferentes propósitos (Mendiburu, 2016).

Para la cuantificación de resultados se utilizó el laboratorio de Calidad de Agua del departamento de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana (PUJ) de Bogotá, en donde se aplicó el método multiresiduo de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas, lo cual permitió detectar los compuestos de interés, además de la concentración en la que están presentes. Los análisis fueron realizados utilizando un Cromatógrafo de Gases GC _MS 2010 Shimadzu (sistema GC-MS) en modo de ionización por impacto electrónico (EI 70eV). Las condiciones experimentales fueron las siguientes: columna capilar MS-5 (5 % fenil, 95 %-dimetil- polisiloxano) (30 m x0.25 mm d.i., 0.25 µm espesor de fase); gas carrier, He (1,0 ml min-1); volumen de inyección, 1 µL; modo de inyección, split; radio de split, 1:12. La temperatura del MS Quadrupolo y de la Fuente fueron 150 y 230 °C. El programa de temperatura utilizado fue 80 °C (durante 3 min), luego a 10 °C/min hasta 295 °C, donde se mantiene 10 minutos (Shimadzu Excellence in Science, 2017; Gómez et al. 2007).

En este sentido, las botellas de agua fueron filtradas con el fin de llevar un volumen de 500 ml a 1 ml para el análisis cromatográfico. Para la filtración de las muestras de agua embotellada es necesario preparar 500 ml (volumen de saturación de cartuchos C18 de cada una y medir su pH), si este está por debajo de 8 es necesario ajustarlo con hidróxido de amonio (NH_4OH) hasta un rango de 8 a 8.5, este rango, garantiza que se van a retener las especies químicas de interés y que las especies químicas presentes no cambien debido a procesos químicos que ocurren a pH acido o básico (Muñoz, 2015; Gómez et al. 2007). Después se filtra el agua a través de filtros de celulosa de 0,45um con el fin de retener sustancias y minerales que afecten el paso por los cartuchos de silica C18 (cadena de 18 carbonos) de extracción que tiene como fin retener los DE presentes en el agua embotellada (Gómez et al., 2007).

Para el análisis cromatografico se hace necesario agregar un solvente al cartucho C18 completamente saturado con los 500 ml de la muestra; en este caso se utiliza un solvente de acetato de etilo ($C_4H_8O_2$) que filtra los DE presentes en el cartucho hacia un tubo de ensayo. Después se evapora la muestra contenida en el tubo de ensayo con el fin de obtener el precipitado de la muestra (no dejar evaporar completamente). Posterior a esto, se reconstruye el precipitado de la muestra con 1 ml de trifenil fosfato ($C_{18}H_{15}O_4P$) para transportarlo a un vial de 1 ml, que es colocado en el cromatógrafo a una temperatura de 40 a 350 °C, transportando la muestra a través de una columna capilar de 30 m BMS (5 % de polixiloxano "polaridad baja"), que identifica primero los compuestos de mayor polaridad a menor polaridad. Los compuestos que se encuentran en el agua embotellada y por ende los de prioridad para esta investigación fueron analizados a partir de unos patrones de calibración de la marca RESKEL CORPORATION, los cuales se dividen en 2 patrones (ver Tabla 1).

Tabla 4. *Patrones Utilizados en Análisis Cromatográfico*

Método	**No. Catálogo**
EPA Method 8061A Phthalate Esters Mixture	33227
EPA Method Steroids and Mixed Pharmaceuticals Mix	31117

Detectados y cuantificados los DE, se procedió a hallar el grado de toxicidad de cada compuesto. En este sentido, se utilizó la metodología de comparación de niveles que sobrepasan un índice de toxicidad proporcionado por el Programa de Asesoramiento en Salud (HA: *Health Advisory Program*), patrocinado por la Oficina de Agua (OW: *EPA's Office of Water)* que da las concentraciones de contaminantes del agua potable en el nivel de riesgo específico de cáncer (10^{-4} Riesgo de cáncer) y concentraciones de contaminantes del agua potable, en los que no se prevé que los efectos adversos no cancerosos sobre la salud se produzcan sobre una exposición de por vida en los Estándares de Agua Potable y Salud (DWSHA: *Drinking Water Standards and Health Advisories*, 2015).

La HA de por vida se parametrizó para un adulto de 70 kg, que toma una cantidad de agua de 2 l/día, que el Nivel Máximo de Contaminante de por vida (MCL) para un compuesto en el agua potable se calcula a partir de su nivel equivalente de agua potable (DWEL: *Drinking Water Equivalent Level*), obtenido de su dosis de referencia (RfD: *reference dose*), definida como una estimación (con incertidumbre que abarca un orden de magnitud) de una exposición oral diaria a la población humana (incluidos subgrupos sensibles) que es probable que no presente riesgo apreciable de efectos deletéreos durante la vida (United States Environmental Protection Agency [EPA], 2015).

Cabe destacar que esta metodología incorpora una fuente de contribución relativa de agua potable (RSC: *Relative Source Contribution*), contenida de datos específicos de contaminantes o en su defecto del 20 % de la exposición total de todas las fuentes (EPA 2015), que fue la que se tomó por defecto, debido a la particularidad de cada componente analizado en el análisis cromatográfico. Después de esto, se procedió a realizar el análisis de estos datos a través de procedimientos estadísticos, en donde el análisis de componentes principales (PCA: *Principal Component Analysis*), definida como una técnica estadística de síntesis de la información o reducción de la dimensión (número de variables), sirvió para encontrar los compuestos que representaban la mayor variabilidad del sistema. Es decir, ante un banco de datos con muchas variables (compuestos), el objetivo fue reducirlas a un menor número, perdiendo la menor cantidad de información posible. Por lo tanto, los nuevos componentes principales o factores son una combinación lineal de las variables originales y, además, son independientes entre sí (Terrádez, s.f.). Para la realización de este análisis estadístico se utilizó la librería "*ade4"* del software R que ofrece diversas herramientas para el análisis de datos multivariado, utilizando la función "*dudi.pca"* (Dray y Dufour, 2007; Chessel y Dufour, 2017).

Debido a que el PCA hace el análisis de la variabilidad de los compuestos respecto a los factores individualmente, se realizó una extensión de esta herramienta denominada la MCA, la cual es una técnica de análisis de datos para variables categóricas nominales, que se utiliza para detectar y representar estructuras subyacentes en un conjunto de datos (factores que influyen). Lo hace representando los datos como puntos en un espacio euclidiano de baja dimensión (Siberchicot, 2017). Con el fin de conocer si existe diferencia estadística significativa entre estos porcentajes se desarrolló el test no paramétrico de Wilcoxon, definido como una prueba no paramétrica para comparar el rango medio de dos muestras relacionadas y determinar si existen diferencias entre ellas. Se utilizó como alternativa

a la prueba t de Studen, ya que no se puede suponer la normalidad de las muestras dentro de la matriz de agua (Whitley & Ball, 2002).

Luego se desarrolló la prueba de Kruskal Wallis, que sirvió para determinar qué factores influyen significativamente en la variabilidad de los valores de cada compuesto, pero no se refiere a ninguna de las otras condiciones adicionales de homocedasticidad y normalidad necesarias para la aplicación de la prueba paramétrica ANOVA. (Theodorsson-Norheim 1986). Para encontrar relaciones no lineales entre los factores elegidos (empaque, gas, origen) y la presencia y concentración de los componentes, donde el análisis estadístico clásico no puede inferir resultados, se aplicó el concepto de entropía de información e información mutua (im) para encontrar la influencia de factores categóricos con respecto a la detección y no detección de los compuestos analizados. En este sentido, la entropía conjunta es la representación de la incertidumbre y la información de todas las combinaciones posibles de las variables analizadas (cuanto mayor sea este valor mayor será la incertidumbre de los factores con respecto al compuesto, y cuanto menor sea este número más información, un factor de participación para el compuesto analizado) (Hernández, Obregón y Torres, 2016). Para el desarrollo de AMI, los valores de concentración de cada compuesto se transformaron en variables categóricas que consideran "Detección" cuando la concentración es mayor que cero, y "No detección" cuando esta concentración es cero. A esta nueva matriz de compuestos se aplicó el concepto de entropía de información e información mutua.

Finalmente, los algoritmos de aprendizaje basados en árboles fueron definidos como métodos de aprendizaje supervisados que, a diferencia de los modelos lineales, mapean bastante bien las relaciones no lineales y pueden adaptarse para resolver cualquier tipo de problema (clasificación para detección o regresión de contaminantes para la cuantificación de concentraciones) (Analytics Vidhya, 2016). Entre los métodos de estos modelos están los árboles de decisión, árboles de regresión, bosque aleatorio y algoritmo Xgboots, que se usa popularmente en todo tipo de problemas de ciencia de datos, desarrollando la partición recursiva considerada como una herramienta fundamental en la gestión de datos que identifica la estructura de las variables y las reglas principales dentro de las matrices de datos (Kabacoff, 2017).

Resultados

Se obtuvieron 8 posibles combinaciones de respuesta, clasificados en Familias o "Tratamientos", cada una con características diferentes de agua embotellada. El diseño experimental arrojó un parámetro lambda de tres, lo cual significa que un par de factores está junto en tres oportunidades y un factor de eficiencia igual a 0.86, que está definido como la relación existente entre la eficiencia del diseño de bloques incompletos frente al diseño de bloques completos(Mendiburu, 2016), dando un tamaño mínimo de muestra de 56 botellas de agua. Dicho esto, se compraron 173 muestras de agua embotellada, que es un número tres veces superior a las sugeridas por el diseño experimental, por lo cual, se tiene la certeza de que se trabajó con un número de muestras representativo para el conocimiento de los factores explicativos que se requieren evaluar.

En este sentido, es necesario explicar las características principales en torno a la toxicidad de los compuestos analizados, con el fin de saber cuáles son los que están por encima de este factor. La Tabla 2 indica los valores del grado de toxicidad para los compuestos analizados.

Tabla 5. *MCL, RfD's y DWEL's para compuestos analizados (MCL: nivel máximo contaminate; DWEL: nivel equivalente de agua potable; RfD: dosis de referencia)*

Compuesto	MCL (ug/L)	DWEL (ug/L)	RDF (ug/(kg.día))
Dimetilftalato	7000	35000	1000
Dietilftalato	5600	28000	800
Diisobutilftalato	700	3500	100
Di-n-butilftalato	700	3500	100
Bis(2-ethilhexil) ftalato	0	700	20
Di-n-Octilftalato	280	1400	40
Bisfenol A	35	175	5

Fuente. Adaptado de Gonzales, Lopera y Arango, 2014; US EPA, 2015; Katsikantami et al., 2016.

Realizado este proceso, se cuantifico el porcentaje de la magnitud de las concentraciones de los compuestos respecto a los MCL respectivos, con el fin de conocer que compuestos son los que pueden presentar efectos adversos a la salud de un individuo y en qué porcentaje se dan (ver Tabla 3).

Tabla 6. *Porcentaje de muestras con concentraciones de compuestos mayores a MCL (MCL: nivel máximo contaminante)*

Compuesto	%>MCL (ug/L)	%<MCL (ug/L)
Bis-2-etil-hexilftalato (DEPH)	45.4	54.6
Bisfenol A (BPA)	8.7	91.3

Como se puede observar, solo dos compuestos de los 7 presentan en algunas muestras de agua niveles mayores a los MCL, lo cual es preocupante, en especial por DEPH que está en un 45,4 % del total de las muestras. La presencia de estos dos compuestos da una clara señal de la migración de estos al agua, esto se presenta particularmente por las propiedades que poseen (Li et al., 2010). En la Tabla 4 se indica el porcentaje de detección para cada compuesto, así como el mínimo valor que se cuantificó y el máximo que alcanzaron.

Tabla 7. *Porcentaje de detección, mínimos y máximos de compuestos analizados por cromatografía de masas. No muestras = 174*

Compuesto	Detectado (%)	No detectado (%)	min (ug/l	max (ug/l)
Dimetilftalato	66.1	33.9	0.00023	0.011
Dietilftalato	97.1	2.9	0.00021	0.0006
Diisobutilftalato	57.5	42.5	0.00021	0.033
Dibutilftalato	85.1	14.9	0.00020	0.001
Bis 2 etil hexy ftalato	54.6	45.4	0.00033	0.032
Di n octilftalato	96.6	3.4	0.00034	0.001
Bisfenol A	30.5	69.5	0.206	221.145

En el PCA se escogió dos componentes de las siete posibles, que representaron el 58 % de la variancia del sistema, y se graficó esto en función de las muestras, la Figura 1 indica que componente representa la mayor variabilidad del sistema.

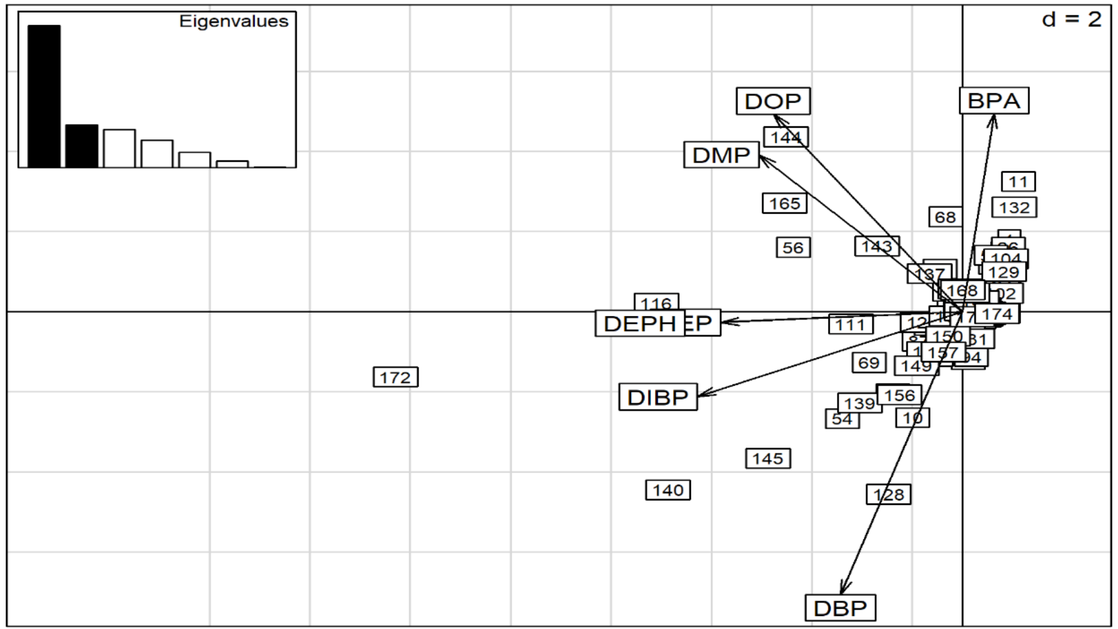


Figura 6. Análisis de componentes principales para la matriz de agua de los compuestos y muestras.

Respecto al componente uno (eje horizontal) los compuestos que recogen la mayor proporción de variabilidad original es el DEP, DIBP y DEHP, por lo cual, se puede notar que los ftalatos mencionados tienen alguna similitud entre los datos encontrados; por otra parte, el componente dos recoge la máxima variabilidad negativa posible que no fue recogida por el primero (eje vertical), se puede notar que el BPA y el DBP tienen mayor correlación entre sí. En ese sentido, se aplicó el MCA que indicó diferencias de los DE respecto a los factores, por ello se aplicó la prueba de Wilcoxon, la cual señaló que pese a que existen diferencias, estas no son lo suficientemente significativas para concluir que un factor es más importante que otro en la cuantificación y detección de los compuestos encontrados.

Con el fin de complementar estos análisis se aplicó la prueba de kruskal Wallis (KW), que indico que hay diferencias significativas de las concentraciones de DMP cuando el agua esta en botella de vidrio y tiene gas con respecto a la que no tiene gas; además, cuando el agua es carbonatada también existen diferencias en las concentraciones de DMP, cuando el agua esta envasada en plástico o vidrio; en este sentido, se aplicó también la técnica de datos atípicos multivariados, en donde al aplicar el KW se presentaron diferencias significativas de las concentraciones de DIBP y DEHP respecto a una agua carbonatada y a una agua sin gas. Realizados estos análisis clásicos con pocas respuestas de factores que expliquen por qué se da la presencia de estos compuestos, se investigaron otras herramientas posibles que den explicación a esta pregunta, en este sentido se realizó un a análisis de información promedio mutua (AMI: *mutual average information*) y modelos basados en arboles, como los arboles de decisión (Decision Trees), arboles de regresion (Regression Trees) y bosques aleatorios (Random Forest).

Para el desarrollo de AMI se convirtieron los valores de concentración de cada compuesto en variables categóricas, teniendo en cuenta la *"Detección"* cuando el valor de la concentración es mayor a cero y la *"No Detección"* cuando la concentración es cero. A esta nueva matriz de compuestos se aplicó el concepto de la entropía de la información y de información mutua (IM). En este sentido la Figura 2 indica la entropía conjunta de cada factor con DMP, la Figura 3 indica la información mutua que tiene cada factor con DMP y la Figura 4 indica el porcentaje de redundancia que tiene cada factor con DMP, que en un fin engloban el concepto de AMI.

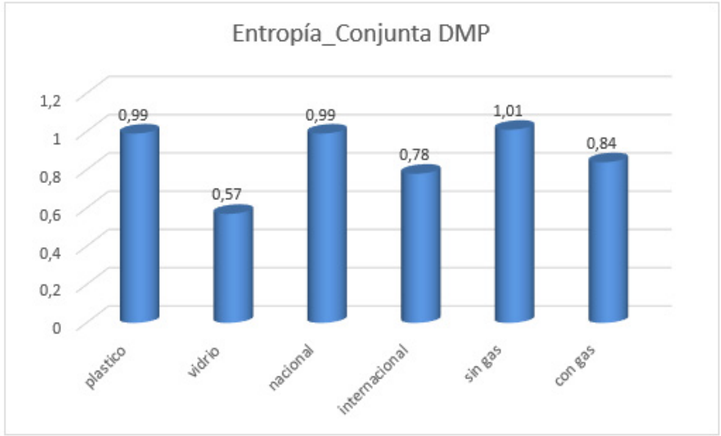


Figura 7. Entropía conjunta de cada factor con DMP.

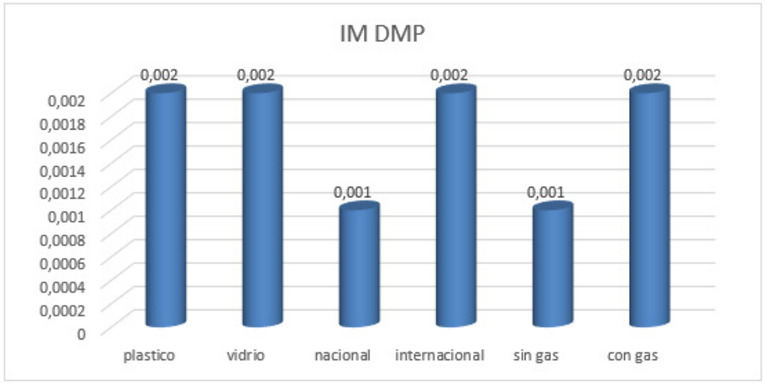


Figura 8. Información mutua de cada factor con DMP.

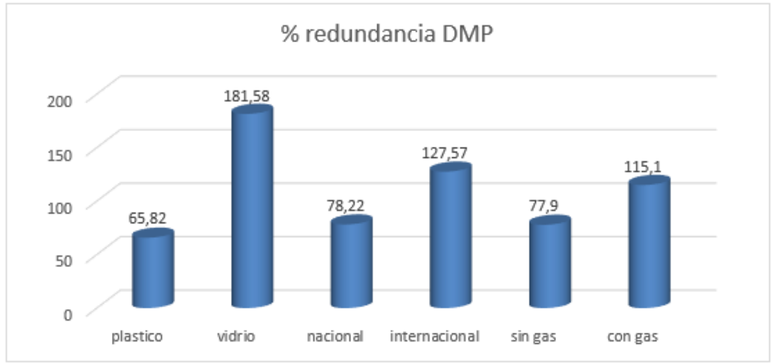


Figura 9. Porcentaje de redundancia de cada factor con DMP

La representación de la incertidumbre e información de todas las posibles combinaciones de las variables analizadas esta expresada por la entropía conjunta (ver Figura 2); entre menor magnitud las variables relacionadas comparten más información (envase de vidrio comparte más información con DMP). Los valores más altos de IM indican mayor dependencia respecto a DMP (ver Figura 3), por ultimo, el % de redundancia se expresa como la capacidad de predicción que tiene cada factor respecto a la detección de DMP, por lo cual, se puede observar que el factor que tiene la mayor capacidad de predicción de la detección de DMP es el vidrio (ver Figura 4). En este sentido, se repitió este procedimiento para cada compuesto, observando que todos tienen menor incertidumbre, comparten más información, y tienen mayor capacidad predictiva con el factor "envase de vidrio".

Con el fin de extraer mayores y mejores resultados se aplicó modelos basados en árboles para identificar las reglas escondidas dentro de la matriz de agua. Para DMP se puede deducir que, si se tiene una muestra con un envase de vidrio y agua carbonatada, este se detectará en concentraciones bajas (ver Figura 5) con un error relativo de uno y un error en el nodo raíz de 0.34, lo cual representa un buen ajuste.

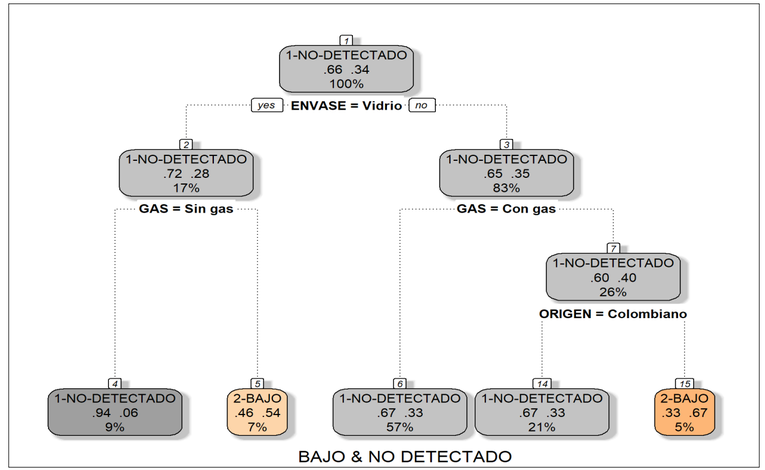


Figura 10. Árbol de decisión DMP.

En este sentido, se plotearon los arboles de decisión de los compuestos restantes, donde para DIPB se detectaron concentraciones bajas cuando el agua procede de un origen internacional y que no tenga gas, y concentraciones altas de DEHP cuando se tiene agua embotellada en vidrio y sin gas. Res-

pecto a los arboles de regresión, la Figura 6 indica la **técnica aplicada para DMP.** Esta técnica tiene interpretación similar a la de los arboles categóricos, donde en la parte superior de cada nodo indica la importancia de este (1= nodo raíz), además de la media de los datos para cada nodo; n que es igual al número de muestras, y al final se indica el porcentaje de desviación estándar para cada nodo. Dicho esto, se puede inferir que al tener un origen colombiano y un envase de vidrio, la media de los datos de DMP se verá representada por estos dos factores que tienen los porcentajes más altos del total de las muestras, con un error en el nodo raíz de 2.94e-06.

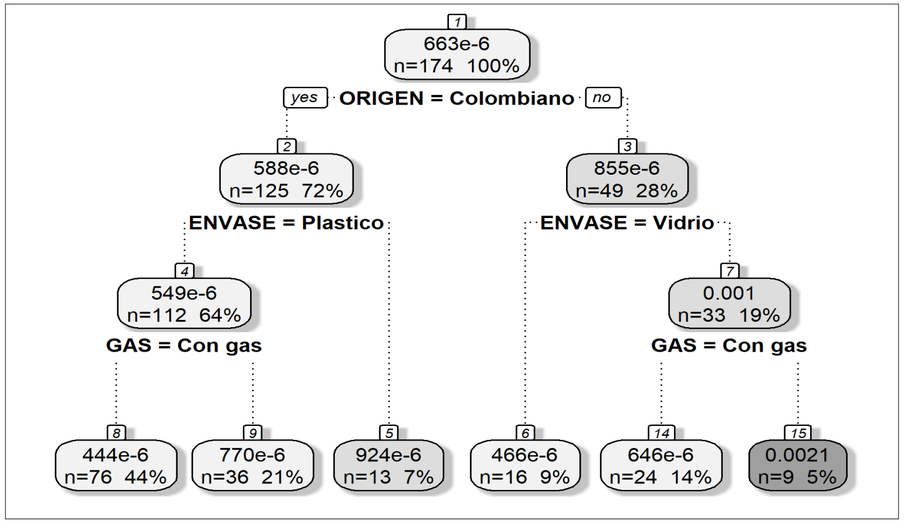


Figura 11. Árbol de regresión para DMP.

Los árboles de regresión para cada compuesto se ven resumidos en la Figura 7.

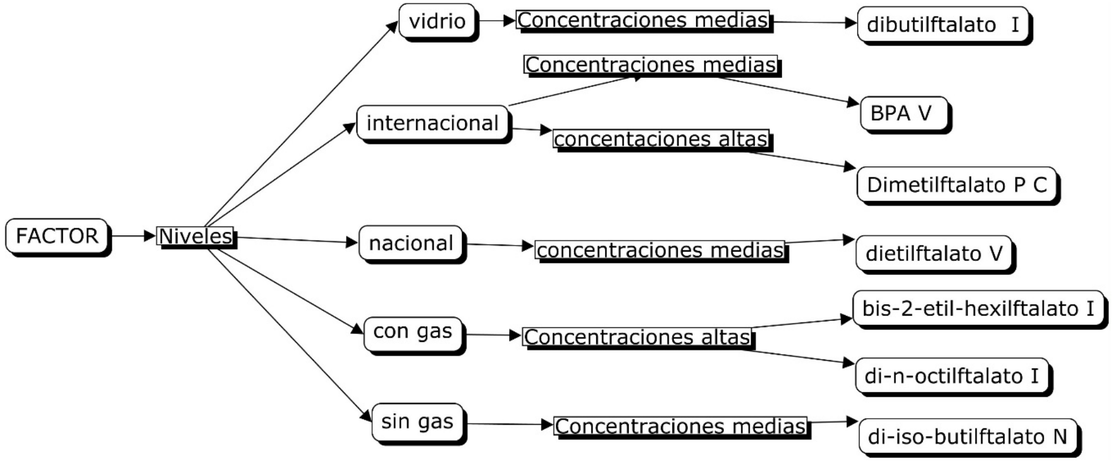


Figura 12. Resumen Árboles de regresión.

Por último, se realizó el análisis de bosques aleatorios en donde se hizo unas tablas para cada bosque de decisión, las cuales contienen la importancia de los factores respecto a cada compuesto. En la tabla 5 se indica la importancia de los factores para DMP y en la Figura 8 se muestra el resumen de cada bosque aleatorio.

Tabla 8. *Importancia de factores para DMP con Random Forest*

Factor	I detectado	I No detectado	MeanDecreaseAccuracy	MeanDecreaseGini	obb estimate
Envase	25.616	17.961	29.119	2.203	
Origen	22.485	8.016	21.042	2.882	17,24 %
Gas	16.549	31.95	36.103	3.658	

I detectado es la importancia de un factor a ser detectado (el número mayor es el más importante); *I No detectado* es la importancia de un factor a no ser detectado (el número mayor es el más importante); *Mean Decrease Accuary* (disminución media en la precisión) es la cantidad o proporción de observaciones que se clasifican incorrectamente; *Mean Decrease Gini* mide la ganancia promedio de pureza por divisiones del compuesto dado (entre mayor sea este valor la pureza del nodo es mayor); *OBB estimate* (out-of-bag) es el porcentaje de error del modelo de las muestras, definido como el promedio de la exactitud del modelo que predice la variable de respuesta (entre mayor sea este porcentaje menos exacto es el bosque aleatorio).

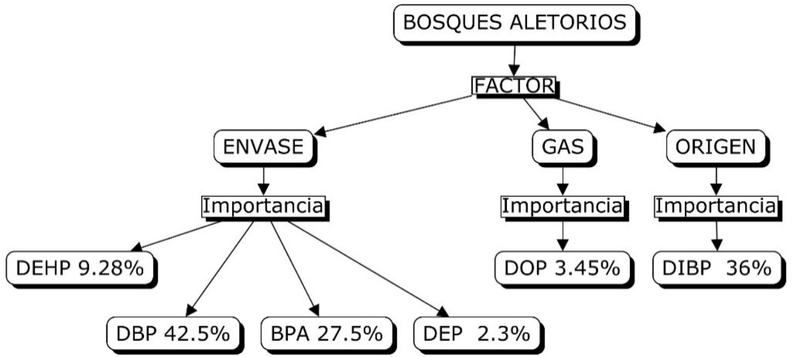


Figura 13. Resumen bosques aleatorios.

Respecto al algoritmo Xgboots, la Figura 9 describe qué compuestos son más importantes en torno al factor envase, origen y gas; se puede observar que el factor gas es más importante respecto a la cuantificación de los dos compuestos origen y envase, como lo rectifican los arboles de regresión.

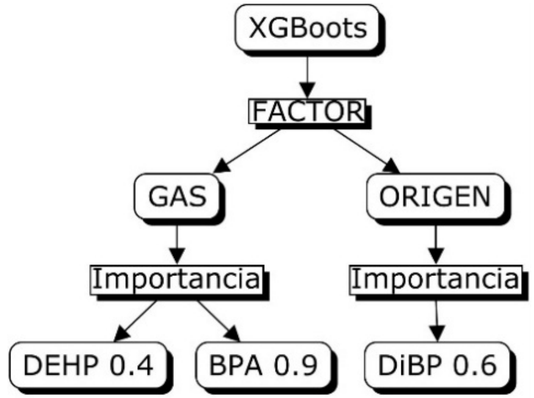


Figura 14. Resumen algoritmo xgboots.

Análisis de resultados

Como se puede observar, todos los análisis concuerdan en que la mayoría de los casos el factor principal es el envase de vidrio. En este sentido, cabe destacar que se han realizado estudios en donde se caracteriza la calidad del agua en torno a los ftalatos y al 4-tercoctilfenol, teniendo en cuenta factores como el envase, la forma, agua carbonatada y el tiempo de almacenamiento. Por su parte, Guart, Bono-Blay, Borrell & Lacorte (2014) determinaron que la forma del contenedor no afecta la calidad del agua, tampoco el tiempo de almacenamiento, ya que los constituyentes detectados en las muestras recién embotelladas fueron congruentes. Asimismo, concluyeron que solo el agua carbonatada puede aumentar ligeramente los procesos de migración, que en general están relacionados con el tipo de monómero o material plástico utilizado para fabricar el envase.

El análisis de Guart et al. (2014), además, revela que las botellas de plástico de polietileno tereftalato (PET) con una tapa de polietileno de alta densidad, que son la mayoría de las botellas de agua en el mercado español y también en el mercado colombiano, tienen bajos niveles de plastificantes y que solo el vidrio con tapas metálicas, como plástico, indican un aumento general en el número de muestras.

Del mismo modo, el estudio en mención indica los porcentajes de detección de los compuestos, donde se detectó BPA en 10,9 % de las muestras vs un 30,5 % de esta investigación, seguido de DEHP (10,2 % vs 54,6 %), DEP (7,7 % vs 97,1 %), benzil-butil-ftalato (BBP=1,6 % vs 0 %), DMP (0,9 % vs 66,1 %) y DBP (0,1 % vs 85,1 %). Lo anterior, supone que la regulación de estos aditivos a la hora de fabricación y procesamiento del envase juega un papel muy importante, ya que se puede observar un aumento muy grande en los porcentajes de detección de las aguas españolas con respecto a las aguas colombianas; en este sentido, mediante la Resolución 683 del 2012 y 12186 de 1991, se pueden controlar estas sustancias siguiendo los procedimientos a la hora del envasado del agua (Ministerio de Salud, 1991; Ministerio de Salud y Proteccion Social, 2012).

Una cuestión preocupante fuel el valor máximo de concentración de BPA, ya que las botellas comercializadas en España tienen valores mucho más pequeños que los encontrados este estudio. El valor máximo de concentraciones de BPA encontrados en el presente estudio fue de 221 ug/L, mientras que en el estudio de Guart et al. (2014) es de 24,2ug/L, valor 9 veces mayor, que fue encontrado en un agua de envase de plástico sin gas y de origen internacional, lo cual hace pensar que, los aditivos utilizados en el empaquetamiento de las botellas en Colombia respecto a BPA están bien controlados, en comparación con las aguas internacionales, en donde se encontraron las concentraciones más altas de BPA.

Por otra parte, la asociación de los factores respecto a los contaminantes evaluados concuerda en que DEHP se detecta en botellas de vidrio, adicionando un factor que es la tapa (metal o plástico). Igualmente, DEP se asociaron con botellas de vidrio con una tapa de metálica; BPA se detectó principalmente en botellas de policarbonato, pero también en botellas de vidrio con una tapa metálica (Guart et al., 2014), lo cual apoya los resultados obtenidos en esta investigación, donde la detección de estos com-

puestos depende principalmente del envase de vidrio, ya sean con tapas metálicas o de plástico.

Conclusiones

El polietileno de alta densidad (PEAD) presente en las tapas de las botellas de agua está asociado con la migración de plastificantes encontrados en muestras de vidrio, por lo cual, la dependencia de la detección del BPA y los ftalatos con respecto a la botella de vidrio está condicionado por PEAD y no por las botellas de PET.

Las muestras de agua colombiana en botellas de plástico y agua sin gas son las menos influyentes en la detección y cuantificación de los compuestos encontrados.

El dimetilftalato está condicionado por la botella de vidrio, pero además por el agua carbonatada; esto significa que estos factores no son independientes y cuando se asocian generan una mayor probabilidad de detectar este compuesto; Por otro lado, esto implica que las aguas sin gas están asociadas con la no detección, y el factor menos importante es el origen.

El dibutilftalato y el bis-2-etil-hexilftalato así como el dimetilftalato están condicionados por el envase de vidrio, pero a diferencia de este último, el origen internacional también es de gran importancia; Dicho esto, se puede decir que los ftalatos de bajo peso molecular, como el dimetilftalato, son diferentes de los de alto peso molecular, ya que mientras que uno depende del vidrio y el gas, los otros no están condicionados por el gas; así mismo, que el origen colombiano no condiciona la detección del compuesto.

El di-iso-butilftalato a pesar de tener la misma composición de dibutilftalato, depende principalmente de las aguas de vidrio de origen internacional y no a agua con gas, por ello, un cambio en la estructura de los radicales también condicionará un factor para la predicción de la detección de este compuesto.

El di-n-octilftalato así como el di-iso-butilftalato dependen de los tres factores, con la diferencia de que si tiene agua con gas de origen internacional, las posibilidades de que aparezca este compuesto serán mayores.

Los ftalatos en combinación con dos o tres factores indican que, un agua internacional en la mayoría de los casos tiene una mayor capacidad de detección predictiva que un agua colombiana; prueba de ello es el BPA, donde las concentraciones más altas fueron alrededor de las de origen internacional.

Referencias

Analytics Vidhya. (12 de abril de 2016). A Complete Tutorial on Tree Based Modeling from Scratch (in R & Python). [Página en Internet]. Recuperado de https://www.analyticsvidhya.com/blog/2016/04/complete-tutorial-tree-based-modeling-scratch-in-python/

Chessel, D. & Dufour, A. (2017). Principal Component Analysis. R Documentation. Package ade4 version 1.7-4.

Cooper, J., Kendig, E. & Belcher, S. (2011). Assessment of bisphenol A released from reusable plastic, aluminium and stainless steel water bottles. *Chemosphere, 85*(6), 943–947. doi: 10.1016/j.chemosphere.2011.06.060

Dray, S. & Dufour, A. (2007). The ade4 Package: Implementing the Duality Diagram for Ecologists. *Journal of Statistical Software, 22*(4). doi: 10.18637/jss.v022.i04

Gómez, M., Martínez, M., Lacorte, S., Fernández, A., Amadeo, R. y Agüera, A. (2007). Pilot Survey Monitoring Pharmaceuticals and Related Compounds in a Sewage Treatment Plant Located on the Mediterranean Coast. *Chemosphere,* 66(6), 993–1.002. doi: 10.1016/j.chemosphere.2006.07.051.

Gonzáles, M., Lopera, W. y Arango, Á. (2014). *Manual de Terapéutica 2014-2015* (16.ª ed.). Medellín, Colombia: CIB Fondo Editorial.

Guart, A., Bono-Blay, F., Borrell, A. & Lacorte, S. (2014). Effect of bottling and storage on the migration of plastic constituents in Spanish bottled waters. *Food Chemistry,* 156, 73–80. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.01.075

Hernández, N., Obregón, N. y Torres, A. (2016). Identificación de factores de tipo categórico relacionados con la condición estructural de tuberías de alcantarillado en Bogotá a partir de conceptos de entropía de la información. *Ingeniería solidaria, 12*(19), 63–71. doi: 10.16925/in.v12i19.1194

Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA). (2017). Tramites en Linea. Recuperado de https://www.invima.gov.co/tr%C3%A1mites-en-l%C3%ADnea

Jeddi, M., Rastkari, N., Ahmadkhaniha, R. & Yunesian, M. (2015). Concentrations of phthalates in bottled water under common storage conditions: Do they pose a health risk to children? *Food Research International,* 69, 256–265. doi: 10.1016/j.foodres.2014.11.057.

Kabacoff, R. (2017). Quick-R: Tree-Based Models. Recuperado de https://www.statmethods.net/advstats/cart.html

Katsikantami, I., Sifakis, S., Tzatzarakis, M., Vakonaki, E., Kalantzi, O., Tsatsakis, A. & Rizos, A. (2016). A Global Assessment of Phthalates Burden and Related Links to Health Effects. *Environment International,* 97, 212–36. doi:10.1016/j.envint.2016.09.013

Li, X., Ying, G., Su, H., Yang, X. & Wang, L. (2010). Simultaneous determination and assessment of 4-nonylphenol, bisphenol A and triclosan in tap water, bottled water and baby bottles. *Environment International,* 36(6), 557–62. doi:10.1016/j.envint.2010.04.009

Mendiburo, F. (2009). *Una herramienta de análisis estadístico para la investigación agrícola* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. Recuperado de http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/14814

Mendiburu, F. (2016). Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research (versión 1.2-4). Recuperado de https://cran.r-project.org/web/packages/agricolae/index.html

Ministerio de Salud y Protección Social. (2012). Resolución 683 de 2012. Por medio de la cual se expide el Reglamento Técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales, objetos, envases y equiparamientos destinados a entrar en contacto con alimentos y bebidas. Recuperado de https://paginaweb.invima.gov.co/images/pdf/normatividad/alimentos/resoluciones/resoluciones/2012/2RESOLUCION_683_DE_2012_reglamento_general_envases.pdf

Ministerio de Salud. (1991). Resolución No. 12186 de 1991. Por la cual se fijan las condiciones para los procesos de obtención, envasado y comercialización de agua potable tratada con destino al consumo humano. Recuperado de http://biblioteca.saludcapital.gov.co/img_upload/03d591f205ab80e521292987c313699c/resolucion-12186-de-1991.pdf

Muñoz, Y. (11 de septiembre de 2015). Influencia del pH en la absorción de los fármacos [Diapositivas]. Recuperado de https://es.slideshare.net/Yaninin/influencia-del-ph-en-la-absorcin-de-los-frmacos

Nam, S., Seo, Y. & Kim, M. (2010). Bisphenol A migration from polycarbonate baby bottle with repeated use. *Chemosphere, 79*(9), 949–952. doi: 10.1016/j.chemosphere.2010.02.049

Rhomberg, L. & Goodman, J. (2012). Low-dose effects and nonmonotonic dose–responses of endocrine disrupting chemicals: Has the case been made? *Regulatory Toxicology and Pharmacology, 64*(1), 130–133. doi:10.1016/j.yrtph.2012.06.015.

Rubin, B. (2011). Bisphenol A: An endocrine disruptor with widespread exposure and multiple effects. *Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology, 127*(1–2): 27–34. doi: 10.1016/j.jsbmb.2011.05.002.

Shimadzu Excellence in Science. (2017). GCMS-QP2010 SE. Standard Gas Chromatograph-Mass Spectrometer. Recuperado de http://www.shimadzu.com/an/gcms/qp2010se.html

Siberchicot, A. (2017). Multiple Correspondence Analysis; dudi.acm function |R Documentation. Recuperado de https://www.rdocumentation.org/packages/ade4/versions/1.7-8/topics/dudi.acm

Terrádez, M. (s.f.). Análisis de componentes principales. Recuperado de https://www.academia.edu/5228558/An%C3%A1lisis_de_componentes_principales_AN%C3%81LISIS_DE_COMPONENTES_PRINCIPALES_

ESQUEMA_DE_CONTENIDOS_An%C3%A1lisis_de_componentes_principales_Modelo_factorial

Theodorsson-Norheim, E. (1986). Kruskal-Wallis Test: BASIC Computer Program to Perform Nonparametric One-Way Analysis of Variance and Multiple Comparisons on Ranks of Several Independent Samples. *Computer Methods and Programs in Biomedicine, 23*(1), 57–62. doi: 10.1016/0169-2607(86)90081-7

United States Environmental Protection Agency (EPA). (2015). How EPA Regulates Drinking Water Contaminants. Recuperado de https://www.epa.gov/dwregdev/how-epa-regulates-drinking-water-contaminants

Vandenberg, L. (2011). Exposure to bisphenol A in Canada: invoking the precautionary principle. *CMAJ : Canadian Medical Association Journal, 183*(11), 1.265–1.270. doi: 10.1503/cmaj.101408.

Wagner, M. & Oehlmann, J. (2011). Endocrine disruptors in bottled mineral water: Estrogenic activity in the E-Screen. *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology, 127*(1–2), 128–35. doi: 10.1016/j.jsbmb.2010.10.007

Whitley, E. & Ball, J. (2002). Statistics review 6: Nonparametric methods. *Critical Care, 6*(6), 509–513. doi: 10.1186/cc1820

Modelación numérica de la calidad del agua en el río Gallinas, San Luis Potosí, México

Claudia Villota López [70]
Clemente Rodríguez Cuevas [71]
Franklin Torres Bejarano [72]
Rodolfo Cisneros Almazán [73]

Resumen

El río Gallinas, localizado en San Luis Potosí (México), dentro de la Región Hidrológica 26 Pánuco, abarca una longitud de 101 km, con un caudal promedio anual de 39,8 m3/s. El río ofrece diversidad de servicios ecosistémicos, agua para consumo humano, riego agrícola, pesca y recreación; sin embargo, estos servicios se han visto afectados por las descargas de aguas residuales provenientes de actividades antropogénicas. De ahí que resultó necesario evaluar la influencia de los tributarios en la calidad del agua para establecer la capacidad de recuperación. Se hizo dos campañas de medición y muestreo, tiempo de secas y lluvias, donde se midió parámetros de campo relacionados con el comportamiento hidráulico del río y la calidad del agua. Así mismo, se colectó muestras de agua para determinar parámetros *ex situ*; finalmente, se implementó el modelo numérico EFDC Explorer. Los resultados muestran que el modelo es una herramienta eficaz al incluir la modelación hidrodinámica y de calidad del agua, generar la malla para una mejor aproximación espacial y realizar simulaciones en distintos escenarios, determinando el comportamiento de las variables ambientales estudiadas. Adicionalmente, el modelo predice otros vertimientos o aumenta la concentración de las cargas contaminantes para definir si el río puede depurarlas.

Palabras clave: capacidad de recuperación, EFDC Explorer, modelación y calidad del agua.

[70] Facultad de Ingeniería, Universidad de Córdoba. Montería, Colombia. Correo electrónico: claudiavillota1@gmail.com

[71] Posgrado Tecnologías y Gestión del Agua, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México. Correo electrónico: clemente.rodriguez@uaslp.mx

[72] Facultad de Ingeniería, Universidad de Córdoba. Montería, Colombia. Correo electrónico: franklintorres@correo.unicordoba.edu.co

[73] Posgrado Tecnologías y Gestión del Agua, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México. Correo electrónico: cisnerro@uaslp.mx

Numerical Modeling of Water Quality in the Gallinas River, San Luis Potosí, Mexico

Abstract

The Gallinas River, located in San Luis Potosí (Mexico), within the 26 Pánuco Hydrological Region, covers a length of 101 km, with an average annual flow of 39.8 m3 / s. The river offers a diversity of ecosystem services, water for human consumption, agricultural irrigation, fishing and recreation; however, these services have been affected by wastewater discharges from anthropogenic activities. Hence, it was necessary to evaluate the influence of tributaries on water quality, to establish the capacity for recovery. Two campaigns of measurement and sampling, dry and rainy season were carried out, where field parameters related to the hydraulic behavior of

the river and the water quality were measured. Likewise, water samples were collected to determine parameters *ex situ*, and, finally the numerical model EFDC Explorer was implemented. The results show that the model is an effective tool, by including hydrodynamic modeling and water quality, generating the mesh for a better spatial approximation and simulations in different scenarios, determining the behavior of the environmental variables studied. Additionally, the model predicts other discharges or increases the concentration of pollutant loads to define if the river can purify them.

Key words: recovery capacity, EFDC Explorer, water quality and modeling.

Modelagem Numérica da Qualidade da Água no Rio Gallinas, San Luis Potosí, México

Resumo

O rio Gallinas, localizado em San Luis Potosí (México), na região hidrológica de 26 Pánuco, cobre 101 km de extensão, com vazão média anual de 39,8 m3 / s. O rio oferece uma diversidade de serviços ecossistêmicos, água para consumo humano, irrigação agrícola, pesca e recreação; no entanto, esses serviços foram afetados pelas descargas de águas residuais de atividades antropogênicas. Por isso, foi necessário avaliar a influência dos afluentes na qualidade da água, para estabelecer a capacidade de recuperação. Duas campanhas de medição e amostragem, estação seca e chuvosa foram realizadas, onde foram medidos parâmetros de campo relacionados ao comportamento hidráulico do rio e à qualidade da água. Da mesma forma, amostras de água foram coletadas para determinar os parâmetros *ex situ* e, finalmente, o modelo numérico EFDC Explorer foi implementado. Os resultados mostram que o modelo é uma ferramenta eficaz, ao incluir modelagem hidrodinâmica e qualidade da água, gerando a malha para uma melhor aproximação espacial e simulações em diferentes cenários, determinando o comportamento das variáveis ambientais estudadas. Além disso, o modelo prevê outras descargas ou aumenta a concentração de cargas de poluentes para definir se o rio pode purificá-las.

Palavras-chave: capacidade de recuperação, EFDC Explorer, modelagem e qualidade da água.

Introducción

La disponibilidad de la calidad del agua es relevante, toda vez que es fundamental para la subsistencia de los seres vivos. Es preciso notar, que el uso del agua debe estar sujeto a criterios básicos de sostenibilidad, con el fin de evitar problemas por recursos hídricos en diferentes partes del mundo, tanto de escasez como de calidad, por esto los modelos de calidad del agua se convierten en una herramienta útil para simular y predecir los niveles, distribuciones y riesgos de los contaminantes (Wang, Li, Jia, Qi & Ding, 2013). Resaltando así mismo, que la modelación numérica puede proporcionar una base y apoyo técnico en la gestión para la toma de decisiones y control de la contaminación.

Wang et al., (2013) toman como ejemplo que, los proyectos de construcción de petroquímicos y/o fabricación del papel pueden traer serios efectos en el medio acuático después de su aplicación. Por lo anterior, estos procesos deben ser simulados, predichos y evaluados, por medio de modelos numéricos antes de su implementación, a fin de disponer de medidas de control.

Con la modelación de la calidad del agua, se busca predecir con cierto grado de certeza la calidad del agua, por esto se ha investigado variedad de modelos matemáticos con el fin de estudiar y analizar el comportamiento de posibles descargas contaminantes a lo largo de una corriente natural. Cabe señalar que los modelos de calidad del agua superficial han experimentado un largo período de desarrollo desde que Streeter y Phelps construyeron el primer modelo de calidad del agua en 1925 (modelo S-P), para controlar la contaminación del río Ohio (EE.UU.). Logrando un gran progreso desde el modelo de estado estacionario hasta el modelo dinámico, desde un solo factor hasta multifactores de calidad del agua, desde el modelo de fuente puntual hasta el fuentes no puntuales, y el modelo de cero dimensiones al unidimensional, bidimensional y tridimensional (Wang et al., 2013).

En vista de lo anterior, es importante tener en cuenta la selección del modelo a implementar, ya que estos dependen de la disponibilidad de información, el propósito de la modelación y los procesos a modelar; lo cual implica que no siempre un modelo puede aplicarse en el estudio de la calidad del agua en una corriente en particular.

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la influencia que tienen las descargas de aguas residuales domésticas y agroindustriales en la calidad del agua del cauce principal del río Gallinas, e identificar si estas afectan negativamente las características propias del mismo, a fin de establecer la capacidad de asimilación y recuperación del río.

La metodología utilizada para el cumplimiento del objetivo abarca la utilización de herramientas, como los métodos numéricos simplificados, que permiten representar las leyes de masas en la transformación y transporte de contaminantes a través de las ecuaciones propias del modelo EFDC Explorer, para desarrollar la simulación del comportamiento hidrodinámico y de la calidad del agua del río Gallinas, y así crear conocimiento acerca de los continuos y diversos procesos que sufre el río Gallinas.

Materiales y Métodos

Modelo numérico EFDC

Para el desarrollo de esta investigación se seleccionó el modelo numérico EFDC versión EFDC Explorer 8.3. La historia de las aplicaciones de calidad del agua EFDC data de principios de la década de 1990 con el desarrollo de un enlace hidrodinámico EFDC al modelo de calidad de agua WASP 5.1. El modelo está patrocinado por la *Environmental Protection Agency* de Estados Unidos (USEPA). Se caracteriza por contar con un sistema de modelado de aguas superficiales multifuncional, que engloba la hidrodinámica, contaminantes de sedimentos y eutrofización, sirve de apoyo para la evaluación ambiental y la gestión del recurso hídrico. Además, puede simular sistemas acuáticos en una, dos y tres dimensiones, simula ciclos de humectación y secado. Actualmente, es uno de los modelos hidrodinámicos más utilizados (United States Environmental Protection Agency, 2007).

El EFDC Explorer es un modelo que incluye tanto la hidrodinámica como la calidad del agua en un solo software, tradicionalmente se utilizaba modelos independientes, sin embargo, EFDC EXPLORER tiene la capacidad de analizar la hidrodinámica de forma tridimensional, resolviendo las ecuaciones de movimiento y de superficie libre, junto con las ecuaciones de continuidad y de balance de masa, es decir, con módulos acoplados de salinidad, temperatura, sedimentos y transporte de contaminantes adaptados en ríos, lagunas, lagos, estuarios, reservorios y cuerpos costeros de agua. Por otra parte, incorpora oxígeno disuelto, nutrientes y algas como los parámetros más fundamentales para definir la calidad del agua (United States Environmental Protection Agency, 2007).

Torres-Bejarano, Padilla, Rodríguez, Ramírez y Cantero (2016) seleccionaron el modelo por Environment Fluid Dynamics Code (EDFC) por su facilidad en la introducción de datos y por su capacidad de procesamiento, su alto rendimiento computacional y su robustez numérica, también porque ha sido aplicado e implementado con éxito en diversos casos de estudio a escala mundial. En Corea, el EFDC es uno de los modelos utilizados y recomendados, ya que fue empleado por el Ministerio de Medio Ambiente en la formulación del Plan Ambiental General para la gestión del agua en el año 2006. Además, es un modelo utilizado en la mayoría de los institutos de evaluación de impacto ambiental (Wang et al., 2013).

Componente de la hidrodinámica y transporte de masa

El código resuelve de manera tridimensional las ecuaciones de movimiento en un sistema de coordenadas que es curvilíneo y ortogonal en el plano horizontal. Por su parte, el esquema computacional utiliza una división de modo externo-interno para resolver las ecuaciones de movimiento horizontal y la ecuación de continuidad en una cuadrícula escalonada.

Con base en las ecuaciones de movimiento turbulento y utilizando la aproximación de Boussinesq, resultan las ecuaciones de movimiento y continuidad, además de las ecuaciones de transporte para la salinidad y la temperatura:

Ecuaciones de movimiento:

$$\partial_t(mHu) + \partial_x\left(m_yHuu\right) + \partial_y(m_xHvu) + \partial_z(mwu) - \left(mf + v\partial_x m_y - u\partial_y m_x\right)Hv = -m_yH\partial_x(g\zeta + p) - m_y(\partial_x h - z\partial_x H)\partial_z p + \partial_z\left(mH^{-1}A_V\partial_Z u\right) + Q_u \quad (1)$$

$$\partial_t(mHv) + \partial_x\left(m_yHuv\right) + \partial_y(m_xHvv) + \partial_z(mwv) + \left(mf + V\partial_x m_y - u\partial_y m_x\right)Hu = -m_xH\partial_y(g\zeta + p) - m_x\left(\partial_y h - z\partial_y H\right)\partial_z p + \partial_z\left(mH^{-1}A_V\partial_Z V\right) + Q_v \quad (2)$$

$$\partial_z p = -gH(\rho - \rho_0)\rho_0^{-1} = -gHb \quad (3)$$

Ecuación de continuidad:

$$\partial_t(m\zeta) + \partial_x\left(m_yHu\right) + \partial_y(m_xHv) + \partial_z(mw) = 0 \quad (4)$$

Ecuación de continuidad integrada con respecto a z (profundidad):

$$\partial_t(m\zeta) + \partial_x\left(m_yH\int_0^1 udz\right) + \partial_y\left(m_xH\int_0^1 vdz\right) = 0 \quad (5)$$

Ecuación de estado:

$$\rho = \rho(p, S, T) \quad (6)$$

Ecuación de transporte para la salinidad y temperatura:

$$\partial_t(mHS) + \partial_x\left(m_yHuS\right) + \partial_y(m_xHvS) + \partial_z(mwS) = \partial_z\left(mH^{-1}A_b\partial_Z S\right) + Q_S \quad (7)$$

$$\partial_t(mHT) + \partial_x\left(m_yHuT\right) + \partial_y(m_xHvT) + \partial_z(mwT) = \partial_z\left(mH^{-1}A_b\partial_Z T\right) + Q_T \quad (8)$$

Donde:

u y v: son componentes de velocidad en las coordenadas horizontales (m/s).
x e y: coordenadas ortogonales (m).
z: es la coordenada sigma (Adimensional).
t: es el tiempo (s).
m_x y m_y: son las raíces cuadradas de los componentes diagonales (m).
$m = m_x m_y$:es la raíz Jacobiana o Raíz Cuadrada (m^2).

$H = h + \zeta$: profundidad total, o la suma de la profundidad y la superficie libre (m).
p: es la presión física en exceso de la densidad referencial (m2/s2).
f: es el parámetro de Coriolis (l/s).
A_v: Turbulencia vertical o Viscosidad de Eddy (m2/s).
A_b: Turbulencia vertical difusiva (m2/s).
Q_u y Q_v: Términos de movimiento afluente- efluente (kg/m3).
ρ,T,S,b: densidad (kg/m^3), temperatura (°C), salinidad (ppt), flotabilidad (Adimensional); respectivamente.
Q_s y Q_T: corresponde a la difusión de escala horizontal de la sub malla, las fuentes y sumideros termales.

Z es *W* : la cual a su vez está relacionada con la velocidad vertical así:

$$W = w^* - Z\left(\partial_t\zeta + um_x^{-1}\partial_x\zeta + vm_y^{-1}\partial_y\zeta\right) + (1 - Z)\left(um_x^{-1}\partial_x h + vm_y^{-1}\partial_y h\right) \quad (9)$$

Donde:

$H=h+\zeta$: Profundidad total o la suma de la profundidad y la superficie libre.
p:Es la presión física en exceso de la densidad referencial.
f: Es el parámetro de Coriolis.
Av: La difusión vertical turbulenta o viscosidad de Eddy.
Qu y Qv: Fuerzas adicionales o fuentes de impulso y sumideros.
ρ, T, S y b : Es la densidad, temperatura, salinidad y flotabilidad respectivamente.
QS y QT: Corresponde a la difusión de escala horizontal de la submalla y las fuentes y sumideros termales.
Ab: Es la difusión vertical turbulenta.

El sistema de 8 ecuaciones (ecuaciones 2-9) proporciona un sistema cerrado para las variables u, v, w, ζ, ρ, S y T, siempre que la viscosidad turbulenta vertical, difusividad, fuentes de impulso y sumidero estén especificadas.

El código está diseñado para ser una herramienta de ingeniería que sirva para la evaluación del impacto ambiental y, que a su vez, también sea instrumento en la investigación de la dinámica de los fluidos, tanto en situaciones reales como hipotéticas, en esta última situación es fundamental un proceso de calibración y verificación para luego permitir la simulación.

Componente de la calidad del Agua

Los procesos cinéticos incluidos en el modelo de calidad del agua EFDC se derivan del modelo CE-QUAL-ICM (Cerco y Cole como se citó en United States Environmental Protection Agency, 2007). EFDC está basado en el carbono, dado que las cuatro especies de algas están representadas en unidades de

carbono, luego las variables de carbono juegan un papel equivalente a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), a diferencia de otros modelos como el WASP (Ambrose como se citó en United States Environmental Protection Agency, 2007), que utiliza la DBO para representar el material orgánico que exige el oxígeno. En esta investigación se hará énfasis en las variables de estado de fosfatos, nitrógeno amoniacal, nitratos, demanda química de oxígeno y oxígeno disuelto.

La ecuación gobernante de balance de masa para dar solución a las diferentes variables de la calidad del agua esta expresada por:

Ecuación de la conservación de la masa:

$$\frac{\partial(m_x\, m_y HC)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\, m_y HuC\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\, m_x HvC\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\, m_x\, m_y wC\right) = \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{m_y\, HA_X \partial C}{m_x \partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{m_x\, HA_y \partial C}{m_y \partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(m_x m_y \frac{A_z \partial C}{H \partial z}\right) + m_x m_y H S_c \quad (10)$$

Donde:

C: es la concentración de una variable de la calidad del agua.

u,v,w: son los componentes de velocidades en las direcciones sigma x-, y-, z-.

A_x, A_y, A_z: corresponden a la difusividad turbulenta en las direcciones x-, y-, z-.

Sc: representa las fuentes y sumideros internos y externos por unidad de volumen.

H: es la profundidad de la columna de agua.

$m_x\, m_y$: factores de escala de coordenadas curvilíneas horizontales.

Los últimos tres términos del lado izquierdo representan el transporte advectivo y los tres primeros términos del lado derecho el transporte difusivo. Finalmente, el último término de la ecuación 10 representa los procesos cinéticos y las cargas externas para cada una de las variables de estado (Hernández y Martinez, 2016). El modelo resuelve la ecuación 10, utilizando un procedimiento de paso fraccional que desacopla los términos cinéticos de los términos de transporte físico.

Ecuación para el proceso cinético:

$$\frac{\partial c_k}{\partial t} = K * C + R \quad (11)$$

Donde:

K: es la velocidad cinética (tiempo^{-1}).

R: es el término de la fuente/sumidero (volumen de masa^{-1} tiempo^{-1}).

K y R: son valores conocidos.

El modelo incluye cada una de las ecuaciones cinéticas para las variables de estado contenidas en su paquete, entre las que se encuentran, cianobacterias, algas (diatomeas, verdes, estacionarias) partículas de carbono orgánico (refractario, lábil, disuelto), partículas de fosforo orgánico (refractario, lábil, disuelto), fosforo total, partículas de nitrógeno orgánico (refractario, lábil, disuelto), nitrógeno amoniacal, nitratos, partículas de silica (biogénica, disuelta), demanda química de oxígeno, oxígeno disuelto y metales activos totales. La variable Coliforme Fecal está completamente desacoplada del resto del modelo de calidad del agua y está incluida en aplicaciones TMDL que consideran nutrientes y alteraciones patógenas. En este modelo, este parámetro no tiene interacción con otras variables de estado y tiene solo un término, mortandad.

Área de estudio

El río Gallinas hace parte de uno de los cuerpos de agua más importantes de la Región Hidrológica 26 Pánuco. La disponibilidad media anual de agua superficial en la región hidrológica Pánuco es de 38,846.86 hm^3, ya que ahí se concentran 31 cuencas hidrológicas (CONAGUA, 2018). Una de ellas es la cuenca del río Gallinas, limitando al norte con Ciudad del Maíz, al oeste con Ciudad Valles, al este con Cárdenas y Rioverde y al sur con Álvaro Obregón. La cuenca río Gallinas Ocupa un área total de 807.568 km^2 y una longitud de 101.127 km. Este estudio está comprendido entre los meridianos 99°15' y 99°14' de longitud oeste y entre los paralelos 21°59' y 21°53' de latitud norte del cauce principal del río Gallinas. Es decir que abarca solamente 15 Km del área total comprendida por el cauce principal, la selección se realizó teniendo en cuenta las características representativas en cuanto a calidad de agua se refiere (descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas).

Las localidades del municipio de Tamasopo (Agua Buena, Tambaca, Tamasopo, El Carpintero y El Saucillo) son las que abarcan casi en su totalidad gran parte del área de la cuenca hidrológica del río Gallinas y aportan la mayor cantidad de aguas residuales. Otra de las localidades que se encuentran cercanas al río Gallinas es Rascón que hace parte al municipio de Ciudad Valles. (Ver Figura 1).

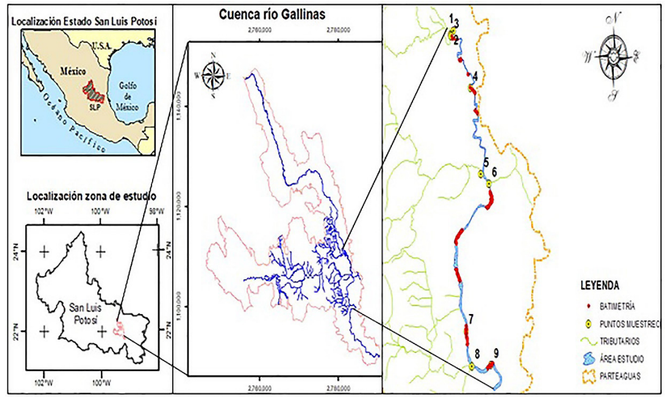


Figura 1. Localización de la zona de estudio.

Recopilación de datos

Se realizó en dos épocas del año: secas (mayo del 2018) y lluvias (septiembre del 2018), aquí se programaron campañas para la medición de batimetría, monitoreo de caudales y muestreo de agua para análisis fisicoquímico y microbiológico. Cabe señalar que esta etapa es de suma importancia, puesto que de obtener resultados confiables de simulación depende la calidad de los datos de entrada, que definen el preprocesamiento para permitir la generación de resultados en el posprocesamiento.

Datos de batimetría y condiciones hidráulicas

Este proceso requirió de una planificación preliminar, donde se determinó 10 puntos de medición, los primeros 5 puntos separados cada 500 m y los últimos 5 puntos separados cada 1.000 m, lo anterior, teniendo en cuenta la sinuosidad del río y las cascadas presentes, pues estas dificultan la navegación continua a lo largo del río. Enseguida se realizó el muestro del nivel del agua, obteniendo datos para X (longitud), Y (latitud), y Z (profundidad). También se interpoló los datos de los espacios donde no se tomaron mediciones. La actividad se desarrolló mediante el Perfilador de Corrientes Acústico Doppler (ADCP) efectuado, utilizando el software WinRiver II, que proporcionó en tiempo real la batimetría del río, el tirante de agua y el caudal, de manera gráfica y tabular.

Datos meteorológicos

Los datos meteorológicos fueron facilitados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), así como también del sistema CLICOM del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, los cuales fueron tomados de la estación Gallinas, clave 24031. Como condiciones y forzantes atmosféricas se tomaron en cuenta, registros diarios de temperatura, precipitación, evaporación, humedad relativa, radiación solar.

Datos de calidad del agua

Las campañas para el monitoreo de la calidad del agua fueron efectuadas en dos épocas del año: secas (mes de mayo del 2018) y lluvias (mes de septiembre del 2018), en donde se recopiló información de parámetros *in situ* (temperatura del agua, temperatura ambiente, pH, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica), también se tomaron muestras para análisis de parámetros *ex situ* (Demanda química de oxígeno, nitrógeno amoniacal, fosfatos y coliformes fecales). Los puntos de muestreo se definieron teniendo en cuenta los principales tributarios del cauce del río Gallinas, con base en lo anterior, se estimaron 9 puntos de muestreo, localizados dentro de los 15 km de longitud seleccionados para esta investigación. La recolección de las muestras se realizó siguiendo la norma que establece los lineamientos generales y recomendaciones para el muestreo en cuerpos receptores (NMX-AA-014-1980). Para la preservación y análisis de las muestras se siguieron las indicaciones descritas en el *Standard Methods for Examination of wáter and Wastewater* y el manual de métodos de análisis del espectrofotómetro HACH DR 2000.

Adaptación del modelo EFDC Explorer al Río Gallinas.

Sobre el área de dominio que comprenderá el modelo, se llevó a cabo la discretización espacial, para ello fue necesario generar una malla, que consiste en la subdivisión de un continuo, en un número finito de segmentos, triángulos, cuadriláteros, etc. El presente estudio cuenta con una malla curvilínea ortogonal, el espaciamiento de las celdas varía en DX 4.047m a 25.493 m y en DY de 1.938 m a 21.223 m para un total de 8666 celdas.

Se definió las condiciones iniciales, batimetría, elevación de la superficie del agua y rugosidad de fondo. Posteriormente se asignó las condiciones fronteras, es decir los forzamientos externos al área de estudio, en este caso se cuenta con tres condiciones frontera: flujo de entrada, arroyo Piedritas y río Tamasopo, además de una salida de flujo (libre hacia el este). Teniendo en cuenta las condiciones del clima se decidió establecer dos fechas, una para tiempo seco (mes de mayo) y otra para tiempo lluvioso (mes de septiembre), con el fin de establecer el comportamiento de los contaminantes en ambas épocas.

Resultados

Simulación en temporada de secas y lluvias

Simulación para fosfatos. En la Figura 2 se muestra la simulación de fosfatos en el periodo de secas para 9 días, se observa que la concentración máxima es 0.16 mg/L, la cual se mantiene constante hasta los 2.5 km a partir del día cero, luego al llegar aproximadamente a los 3 km desciende, logrando reducirse casi a la mitad de la concentración inicial. Mientras que para la época de lluvias, se presentó un valor inicial de 0.2 mg/L, obteniendo un incremento aproximado de 0.04 mg/L en relación con la época de secas. Luego alrededor de los 4 km de trayecto del flujo desciende nuevamente a la mitad de la concentración inicial, como se aprecia en la Figura 3. Finalmente en el intervalo de los 12 a 15 km, este fluctúa frecuentemente y alcanza el valor máximo correspondiente a los 0.28 mg/L. Como se observa en las Figuras 2 y 3, los incrementos de fosfatos coinciden con las zonas donde se encuentran asentadas las poblaciones, además, puede ser que los cultivos de caña aledaños al río estén aportando fertilizantes eliminados del suelo por el agua o el viento.

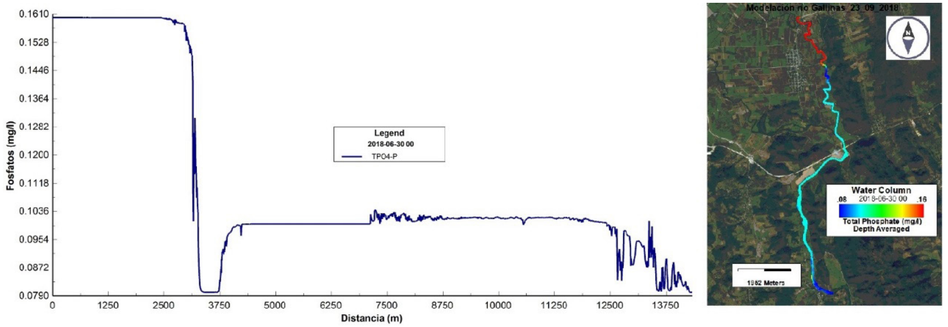


Figura 2. Simulación para fosfatos en época de secas.

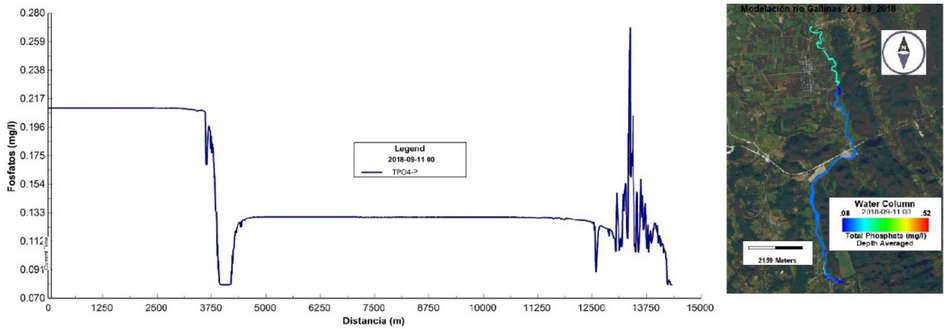


Figura 3. Simulación para fosfatos en época de lluvias.

Simulación para Nitrógeno Amoniacal. En la Figura 4 se observa que el nitrógeno amoniacal en el día cero y al inicio del tramo de estudio tiene concentraciones bajas del orden de 0.1mg/L hasta aproximadamente los 4 km, luego aumenta 0.2 mg/L, manteniendo una constante hasta casi finalizar el trayecto. El incremento puede ser porque en esta parte se encuentra la aportación más importante que es el río Tamasopo, cuerpo de agua que recibe aguas residuales domésticas e industriales. Por otra parte, se observa que la época de sequía obtuvo los valores más altos en concentración de NH_4, mostrando diferencias significativas en contraste con la campaña de lluvias (ver Figura 5), en donde el valor mayor es de 0.098 mg/L, lo cual se explica por un efecto de dilución producto de las lluvias. Sin embargo, en la temporada de sequía después de transcurrido los 9 días, el río logra asimilar aguas abajo parte del NH4, reduciendo nuevamente al valor inicial. Sierra (2011) afirma que en ambientes acuáticos sin contaminar las concentraciones generalmente son <0.1mg/L y las concentraciones medidas en aguas superficiales son <0.2mg/L, pero pueden alcanzar hasta 2 y 3 mg/L.

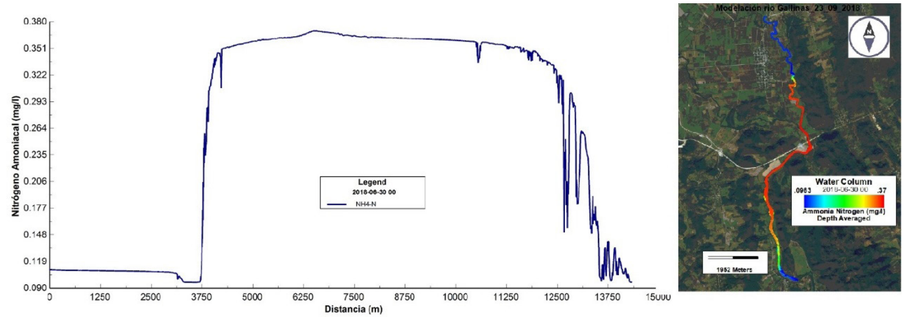


Figura 4. Simulación para nitrógeno amoniacal en época de secas.

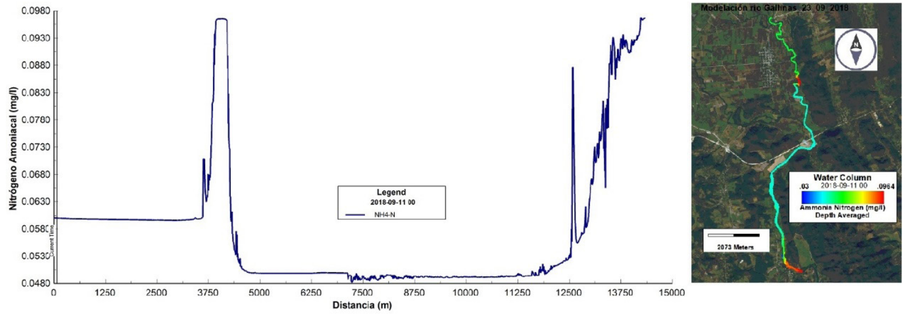


Figura 5. Simulación para nitrógeno amoniacal en época de lluvias.

Simulación para Demanda química de oxígeno (DQO). Las concentraciones de contenido de materia orgánica (DQO) con mayor nivel de concentración en la época de secas fue de 82 mg/L, resultado que se presenta al inicio del sector de estudio, luego conforme avanza tiempo y espacio este tiende a disminuir, manteniendo un intervalo de valores casi constante (65 mg/L) hasta los 10 km; posteriormente, el río empieza a recuperarse y las concentraciones de DQO fluctúan de manera más variada (ver Figura 6), logrando depurar más de la mitad de contenido de materia orgánica presente, llegando a valores por debajo de 20 mg/L al completar los 15 Km. En la Figura 7 se representan los valores resultantes para la época de lluvias, se puede observar que la DQO al inicio fue de 75 mg/L (bajo 7 mg/L), sin embargo, las concentraciones después de los 4 km incrementaron con respecto a la época de secas (125 mg/L), lo cual puede deberse a la descarga del río Tamasopo, que para esta época también aumenta su nivel. De todas formas, el río en época de lluvias también tiene una buena capacidad de recuperación y alcanza valores similares a la época de secas. Este fenómeno de asimilación es posible aguas abajo, debido a que el agua se expone a procesos de reaireación gracias a la presencia de cascadas que facilitan la oxigenación y autodepuración. De acuerdo con los criterios de los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a aguas y bienes Nacionales de México,los resultados obtenidos se encuentran dentro de los límites permisibles, puesto que el mayor valor descrito dentro de la NOM-001-SEMARNAT-1996 es de 200 mg/L en aguas para uso en riego agrícola, para el uso público es máximo de 150 mg/L, y para la protección de la vida acuática máximo de 60 mg/L, por lo tanto, los resultados están dentro de estos rangos, lo que permite a su vez que el río cuente con condiciones óptimas para los usos mencionados.

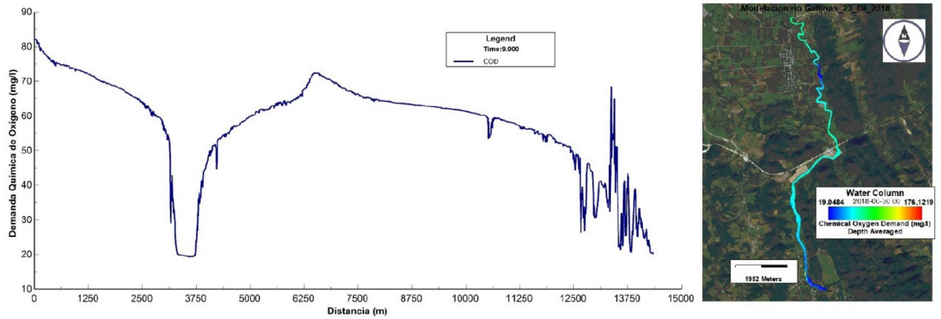


Figura 6. Simulación para demanda química de oxígeno en época de secas.

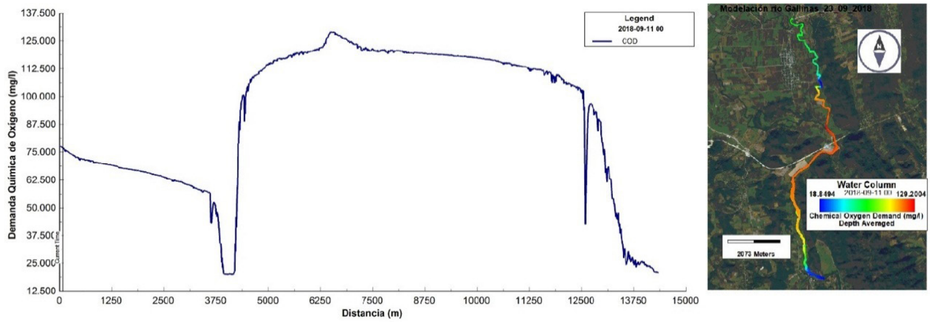


Figura 7. Simulación para demanda química de oxígeno en época de lluvias.

Simulación para Coliformes Fecales (CF). Es un término que se designa principalmente a los órdenes de bacterias *Escherichia y Klebsiella* spp, las cuales son indicadoras por excelencia de contaminación fecal del agua por heces de origen humano (Mejia, 2005). El parámetro de CF para la época de secas presentó 3 valores importantes al inicio, mediados y final del tramo, los cuales oscilan entre los 14 NMP/100 ml y 22 NMP/100 ml (ver Figura 8), mientras que para la época de lluvias en la parte media se alcanzó un valor mayor o igual a 2.400 NMP/100 ml, coincidiendo con la ubicación de la aportación del río Tamasopo, que es la más importante. Cabe notar que aguas abajo y en esta misma época, el río responde favorablemente, reduciendo en gran parte la presencia CF (ver Figura 9). No obstante, se debe tener en cuenta que el agua no es apta para consumo humano, puesto que la Norma Oficial Mexicana NOM-127 establece que debe existir ausencia total de estos organismos patógenos. Considerando que el río puede recuperarse, se infiere que estas aguas son aptas para la recreación con contacto directo, ya que la NOM-003-1997 señala que el límite máximo permisible para contar con este beneficio es 240 NMP/100 ml.

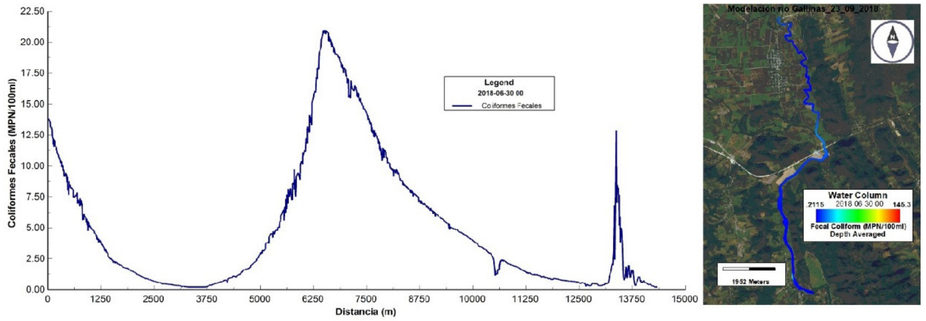


Figura 8. Simulación para Coliformes Fecales en época de secas.

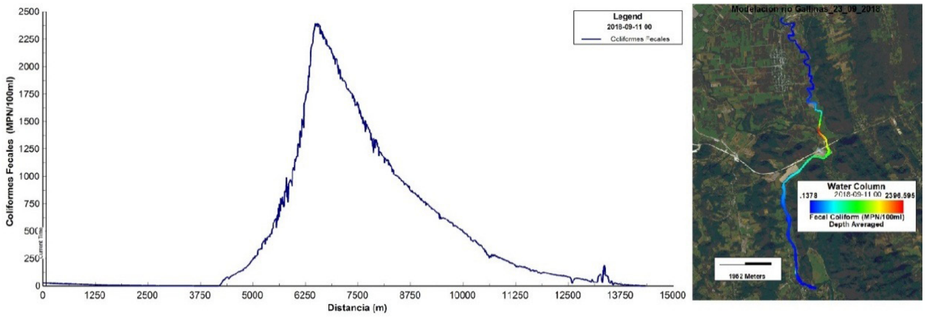


Figura 9. Simulación para Coliformes Fecales en época de lluvias.

Conclusiones

Las situaciones más críticas se evidenciaron en la zona centro del tramo simulado, lo anterior porque ahí confluye una de las aportaciones más importantes que es el río Tamasopo, el cual es receptor de aguas residuales domésticas e industriales. De los parámetros analizados, se concluye que el río Gallinas en cuanto a fosfatos en tiempo de lluvias se encuentra contaminado ya que sobrepasa los valores óptimos (0.1 mg/L) lo que haría que el río tienda a presentar problemas de eutrofización posteriormente. En cuanto a la presencia de nitrógeno amoniacal el río Gallinas en período de secas está contaminado, este contaminante podría afectar en la vida acuática, ya que para su protección máximo debe existir hasta 0.06 mg/L. Para DQO se observó un comportamiento favorable ya que a medida que avanza en tiempo y espacio el río recupera oxígeno pues se observó que la demanda decrece aguas abajo donde los asentamientos humanos son menos representativos, en cuanto a la variable microbiológica se encontró un valor que sobrepasa los límites (≥2400 NMP/100 ml), sin embargo y como se pudo evidenciar, el río tuvo la capacidad de depurar en gran parte la presencia de coliformes fecales, logrando llegar a valores entre los 250NMP/100 ml después de transcurridos los 15 días en la época de lluvias. Así que, el río Gallinas cuenta con una capacidad de autodepuración óptima a medida que se ve expuesto a procesos de reaireación. No obstante, es importante tener en cuenta que el tratamiento adecuado de los efluentes reducirá significativamente la problemática de contaminación por coliformes fecales, lo cual señala que es estrictamente necesario que las plantas de aguas residuales municipales aledañas a la zona de estudio cumplan con sus funciones, ya que actualmente ninguna se encuentra operando.

En cuanto al modelo numérico EFDC Explorer se evidencio que el modelo se ajusta a las condiciones propias del río, siendo un cuerpo de agua pequeño tal como se observó en los resultados. Demostrando que EFDC logra reproducir datos hasta en estos casos, puesto que está diseñado para generar cuadriculas curvilíneas que permiten un acercamiento más detallado a las condiciones reales, ya sean áreas grandes o pequeñas. Por otro lado, cabe señalar que la interfaz que proporciona *Dynamic Solitions International* (DSI) facilita el ingreso y ajuste rápido de las condiciones iniciales, proporcionando a su vez consejos emergentes para orientar la selección de entradas adecuadas o en su defecto mostrar los errores que puedan surgir. En cuanto al tiempo de procesamiento depende sobre todo del detalle con el que se desee generar los resultados, de las bondades del modelo aplicado, también está la generación de estadísticas automáticas y gráficos al final de la ejecución de la simulación.

Referencias

Comisión Estatal del Agua. (Julio de 2016). Estudio técnico para la reserva de aguas superficiales de la cuenca del río Pánuco para el estado de San Luis Potosí. Recuperado de https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/estudio-tecnico-para-la-reserva-de-aguas-superficiales-de-la-cuenca-del-rio-o-panuco-para-el-estado-de-san-luis-potosi

CONAGUA. (2018). Programa Hídrico Estatal 2014-2018 del Estado de San Luis Potosí. San Luis Potosí.

García, H. (2008). *Modelación de la calidad del agua en corrientes naturales mediante sistemas no lineales acoplados* (tesis de maestría). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. Recuperado https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/3809

Hernandez, J. y Martinez, D. (2016). *Modelación hidrodinámica y de la calidad del agua para la evaluación ambiental de vertimientos generados a la ciénaga Mesolandia, Atlantico- Colombia* (tesis de pregrado). Universidad de la Costa, Barranquilla, Colombia. Recuperado de http://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/644/1118848009%20-%201143129210.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Mejía, R. (2005). *Análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local de las tecnologías apropiadas para su desinfección a escala domicialiaria, en la microcuenca El Limón, San Jerónimo, Honduras* (tesis de maestría). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. Recuperado de http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0602e/A0602e.pdf

Peña, M., Ducci, J. y Zamora, V. (2013). *Tratamiento de aguas residuales en México.* México: Banco Interamericano de Desarrollo.

Sierra, C. (2011). *Calidad del Agua evaluación y diagnóstico.* Medelllín, Colombia: Universidad de Medellín.

Torres-Bejarano, F., Padilla, J., Rodriguéz, C., Ramírez, H. y Cantero, R. (2016). La modelación hidrodinámica para la gestión hídrica del embalse del Guájaro, Colombia. *Revista Internacional Métodos numéricos para cálculo y diseño en ingeniría, 32*(3), 163-172.

United States Environmental Protection Agency. (2007). The Environmental Fluid Dynamics Code Theory and Computation Volume 3: Water Quality Module. Recuperado de https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-01/documents/efdc_water_quality_manual.pdf

Wang, Q., Li, S., Jia, P., Qi, C. & Ding, F. (2013). A Review of Surface Water Quality Models. *The ScientificWorld Journal*, 1-7. doi: 10.1155/2013/231768

Efectos de la Relación Carbono/Nitrógeno C/N en la operación de un reactor aerobio de lecho fluidizado en la remoción de Nitrógeno

Paula Andrea Montenegro Chaucanes[74]
Tsunao Matsumoto[75]
Milton Dall'Aglio Sobrinho[76]
Diego Javier Pérez Ortega[77]

Resumen

El presente estudio muestra el funcionamiento de los procesos de oxidación de materia orgánica en conjunto con los procesos simultáneos de nitrificación y desnitrificación, dentro de un reactor aerobio de lecho fluidizado escala piloto de tubos concéntricos con la adición de una tercera cámara, para generar condiciones anóxicas (necesarias para garantizar el proceso de desnitrificación). Los efectos de la relación C/N fueron estudiados durante el funcionamiento de este sistema, encontrando que las mayores eficiencias de remoción de nitrógeno presentadas, fueron las superiores a diez, teniendo la máxima remoción de nitrógeno para la relación C/N de 17. El tiempo de retención hidráulica alcanzado en la operación de este reactor fue de 3,16 ± 2,27 días. El modo de operación del reactor fue continuo durante un periodo de 140 días. Las eficiencias medias de remoción de DQO y el Nitrógeno total alcanzaron el 80 % y el 4 % respectivamente durante toda la operación.

Palabras clave: desnitrificación, lecho fluidizado, nitrificación, reactor aerobio, relación C/N.

[74] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: pmontenegroc@umariana.edu.co

[75] Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Estatal Paulista UNESP. Brasil.

[76] Programa de Ingeniería Industrial, Universidad Cooperativa de Colombia. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia.

[77] Ilha Solteira – SP. Brasil.

Effects of the Carbon/Nitrogen C/N Ratio in the Operation of a Fluidized Bed Aerobic Reactor during the Nitrogen Removal

Abstract

The present study shows the operation of the oxidation processes of organic matter in concert with the simultaneous processes of nitrification and denitrification within a fluidized bed aerobic reactor pilot scale of concentric tubes with the addition of a third chamber to generate anoxic conditions (necessary to ensure the denitrification process). The effects of the C/N ratio were studied during the operation of this system, finding that the highest nitrogen removal efficiencies presented were greater than ten, with the maximum nitrogen removal for the C/N ratio of 17. The time of hydraulic retention achieved in the operation of this reactor was 3.16 ± 2.27 days. The mode of operation of the reactor was continuous over a period of 140 days. The average removal efficiencies of COD and Total Nitrogen reached 80% and 44% respectively during the entire operation.

Key words: Denitrification, fluidized bed, Nitrification, Aerobic reactor, C/N ratio

Efeitos da relação carbono / nitrogênio C/N na operação de um reator aeróbico de leito fluidizado durante a remoção de nitrogênio

Resumo

O presente estudo mostra a operação dos processos de oxidação da matéria orgânica em conjunto com os processos simultâneos de nitrificação e desnitrificação a escala piloto de um reator aeróbio de leito fluidizado de tubos concêntricos, com a adição de uma terceira câmara para gerar condições anóxicas e assim garantir o processo de desnitrificação. Os efeitos da relação C/N foram estudados durante a operação deste sistema, descobrindo que as maiores eficiências de remoção de nitrogênio apresentadas foram maiores que 10, com a remoção máxima de nitrogênio para a relação C/N de 17. O tempo da retenção hidráulica alcançada na operação deste reator foi de 3,16 ± 2,27 dias. O modo de operação do reator foi contínuo durante um período de 140 dias. As eficiências médias de remoção de DQO e Nitrogênio total atingiram 80% e 44%, respectivamente, durante toda a operação.

Palavras-chave: desnitrificação, leito fluidizado, nitrificação, Reator aeróbico, relação C/N.

Introducción

El agua residual doméstica en general está compuesta por un 99 % de agua, el restante contiene una abundancia de compuestos nitrogenados, compuestos carbonados y de lípidos en menores cantidades (Bungay y Bungay, 2009), los cuales deben ser retirados antes de su vertimiento en los cuerpos de agua para evitar el consumo de oxígeno disuelto, problemas de toxicidad acuática y la eutrofización (Dodds, 2006; Kim et al., 2005).

En las aguas residuales, la remoción biológica convencional del nitrógeno envuelve la combinación de los procesos de nitrificación y desnitrificación, el primero hace referencia a la conversión biológica de amonio a nitrato, el cual es un proceso estrictamente aerobio, llevado a cabo por bacterias autotróficas, mientras el segundo ocurre en condiciones anóxicas, donde el nitrato es reducido a nitrógeno gaseoso por bacterias heterótrofas (U.S. Evironmental Protection Agency [EPA], 1993; Water Environmental Federation [WEF], 2016).

La nitrificación es efectuada principalmente por bacterias autótrofas que utilizan como fuente de energía iones inorgánicos (organismos quimiolitotrofos), estos organismos son estrictamente aerobios. Según Henze, Harremoes & Jansen (1995) y WEF (2016) se ha calculado que se requiere 4,57 mg de O2 por mg de NH4 oxidado y transformado a óxidos de nitrógeno NOx. La producción de biomasa es el resultado de la oxidación de amonio y reducción de dióxido de carbono, típicamente se requieren de 6 a 9 días para la producción de 0,2 mg SSV por 1,0 de amonio removido. El crecimiento de las bacterias autótrofas es generalmente tres veces más lento que el de las bacterias heterótrofas (WEF, 2016).

La desnitrificación, por su parte, es la reducción no asimilatoria de las formas oxidadas de nitrógeno (NO_2^- y NO_3^-) en nitrógeno molecular. Este proceso se lleva a cabo por bacterias aerobias facultativas que al estar en ausencia de O2 y en presencia de nitratos o de nitritos (medio anóxico), estos microorganismos son capaces de cambiar su metabolismo y de utilizar los óxidos de nitrógeno (NOx) como aceptores finales de electrones (Mitchell, 1974; Madigan et al., 2009). El proceso de desnitrificación es llevado a cabo por organismos heterótrofos siempre que se disponga de una fuente de carbono en el medio anóxico (Stevens, Drysdale & Bux, 2002).

Teniendo en cuenta lo anterior y con el propósito de llevar acabo un proceso simultáneo de nitrificación y desnitrificación, es necesario permitir las condiciones requeridas para el desarrollo de ambos tipos de microorganismos, autótrofos y heterótrofos, en un mismo ambiente. Esto implica la generación de condiciones aerobias y anóxicas en forma conjunta, como también la disposición adecuada de nutrientes y fuente de carbono en las proporciones requeridas, a fin de conseguir el crecimiento de ambos grupos de organismos por igual, teniendo en cuenta que la velocidad de producción de biomasa de los organismos autótrofos es más lenta que la de los heterótrofos, por lo cual, es importante controlar la relación óptima C:N para que se lleven a cabo las reacciones de nitrificación y desnitrificación simultáneamente.

Para conseguir ambos ambientes de reacción (aerobio y anóxico), se ha planteado trabajar en un reactor aerobio de lecho fluidizado de tubos concéntricos (con flujos ascendente y descendente para cada tubo respectivamente), aprovechando la alta tasa de transferencia de oxígeno que este tipo de reactor posee, entre otras más ventajas (Li et al., 2008), para así garantizar el proceso de nitrificación en la región aerobia. En cuanto a la región anóxica en este mismo reactor se ha propuesto adicionar un tubo concéntrico externo que impida la entrada y circulación de burbujas de aire, generando la condición requerida para que el proceso de desnitrificación se desarrolle de forma simultánea dentro del reactor.

Dentro de los tubos concéntricos recircula un fluido trifásico, el cual es la clave del funcionamiento de este tipo de reactores. En el fondo del reactor es inyectado aire para generar la fuerza motriz de dicha recirculación, debido a la diferencia de presión del fluido entre los tubos de flujo ascendente y descendente. La adición de partículas inertes con diámetros inferiores a 2 mm (la fase sólida del fluido), como arena, carbón activado, entre otros, sirven como medio de soporte de los microrganismos responsables de llevar a cabo los procesos biológicos del tratamiento del agua residual. El uso de partículas pequeñas como medio de soporte puede incrementar el área superficial del reactor hasta valores de 2.000–4.000 m^2/m^3 del volumen total del reactor (Van Loosdrecht, Van Benthum & Heijnen, 2000), aumentado así la capacidad de concentración de microrganismos en un reactor compacto, además permiten tratar cargas volumétricas elevadas a bajos tiempos de retención hidráulica.

La literatura no reporta muchos trabajos en los que se haya usado un reactor de lecho fluidizado con una configuración de tubos concéntricos como la propuesta. Van Benthum, Hoogen, Lans, Loosdrecht & Heijnen (1999) usaron una configuración igual, y alcanzaron una eficiencia de remoción de nitrógeno del 95 %. Como referencia de comparación en cuento a remoción de NT, fueron tomados en cuenta otros reactores aerobios de lecho fluidizado, Gebara (2006) reportó una eficiencia del 72 %; Zhang y Wei (2013) alcanzaron una eficiencia de 76,3 %; Correa (2012) alcanzó eficiencias del 38, 40 y 54 % para tres reactores en condiciones diferentes.

Sin embargo, cabe mencionar que la relación C:N no fue objeto de análisis en los trabajos mencionados, y que se ha analizado por separado para procesos de nitrificación o para procesos de desnitrificación. Sin embargo, para procesos simultáneos en la remoción de nitrógeno de las aguas residuales, los reportes son escasos.

El objeto de esta investigación es evaluar el desempeño del reactor de lecho fluidizado con tercera cámara, abordando dos condiciones hidráulicas diferentes y analizando la relación C:N y su influencia en la remoción de nitrógeno como un parámetro de operación para este tipo de reactor, con procesos simultáneos de nitrificación y desnitrificación para la remoción de nitrógeno. Se espera igualmente presentar este reactor como una estrategia favorable en el tratamiento de agua residual doméstica para la remoción de materia orgánica y nitrógeno.

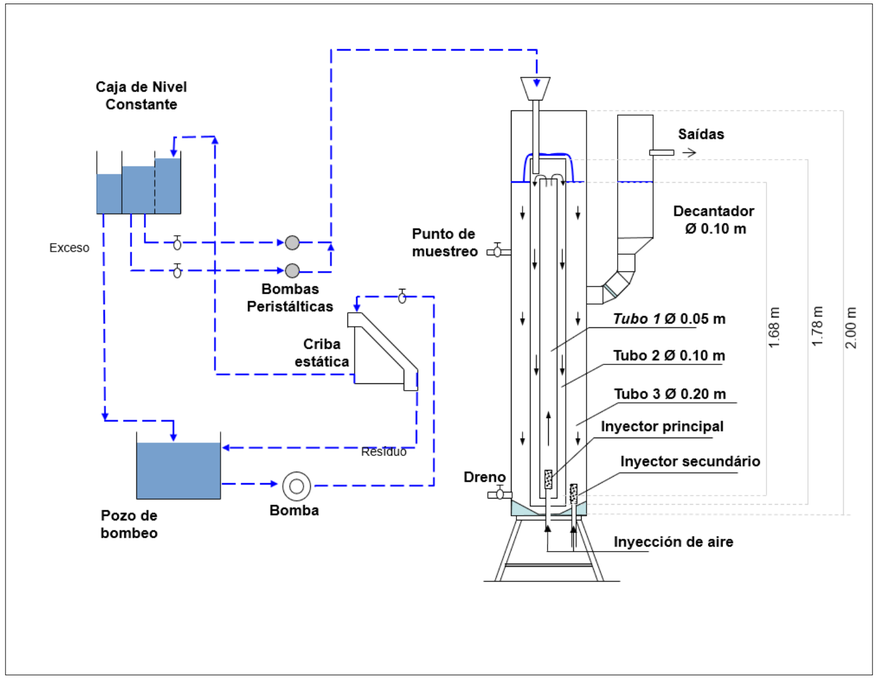


Figura 1. Esquema de funcionamiento del reactor aerobio de lecho fluidizado con tercera cámara.

Materiales y Métodos

La Figura 1 indica el esquema de funcionamiento del experimento. El reactor fue construido en PVC. Los diámetros de los tubos concéntricos fueron 0.05, 0.10 y 0.20 m. La altura total del reactor fue 2.00 m para un volumen útil de 0.055 m^3 (55 L). Las partículas soporte usadas para este experimento fueron partículas de tereftalato de polietileno (PET) triturado, de diámetros entre 0.85 a 1.12 mm, densidad específica de 390 kg m^{-3} y área superficial específica de 13.59 m^2g^{-1}.

El reactor fue aireado continuamente mediante un difusor de aire, usando una piedra porosa de vidrio en el fondo del reactor conectado a un compresor de aire, el caudal aplicado durante la operación fue de 400 L h^{-1}, el cual fue controlado por un rotámetro. Adicional a este difusor, el reactor contó con una inyección de aire ubicada en el fondo del reactor en el tubo 3, con el fin de ser usado para resuspender partículas que se encuentren sedimentadas.

El afluente usado fue agua residual doméstica (de la ciudad de Ilha Solteira – SP, Brasil) después de pasar por una criba estática. La alimentación del reactor se realizó mediante una bomba peristáltica con un caudal de 0.05 L s^{-1}, controlado por medio de un inversor de frecuencia y un tiempo de retención hidráulica de 0,5 horas. La DQO del afluente se mantuvo entre 500 y 700 mg L^{-1}, un pH fluctuando entre 7.2 y 7.6 y una temperatura oscilando entre los 15 a 30 °C, debido a las condiciones climáticas de la región.

Los puntos de muestreo fueron en la entrada y la salida del reactor para los parámetros de DQO, Nitrógeno Total, Nitrógeno amoniacal como NH_3-N y Nitrato. El oxígeno disuelto fue monitoreado en el afluente y efluente, en la parte superior del tubo de flujo ascendente y en la altura media de la cámara del tubo 3 (externo), usando un oxímetro (*YSI Incorporated* ® modelo 55). Los métodos de análisis para estos parámetros fueron el método colorimétrico (flujo cerrado) para DQO y por método colorimétrico con Kit (HACH ®) para nitrógeno total, amoniaco y nitrato, según lo indicado en los Métodos Estándar para el Análisis de Agua y Agua residual (1992).

Durante la operación, fueron aplicadas tres relaciones de caudal diferentes para cada una de las cámaras, las cuales fueron controladas cambiando la altura en la salida del reactor, lo cual indujo a una variación en la altura del nivel del agua residual en el reactor. El tiempo de retención celular del reactor fue aproximadamente 3.5 días.

Operación del reactor

El primer periodo de operación del reactor fue denominado como tiempo de adaptación de los microrganismos, en donde el reactor fue alimentado con el agua residual y, además, fueron añadidas de forma gradual las partículas soporte. Semanalmente fueron añadidas 325 g hasta alcanzar 1.300 g. Para el monitoreo de este periodo de adaptación fueron realizados análisis de DQO con el fin de identificar la estabilidad en el sistema. Este periodo tuvo una duración de 40 días.

Una vez se alcanzó la estabilización del reactor, éste operó de forma continua durante 100 días; el periodo de operación se dividió en dos etapas, en las cuales se aplicó diferentes relaciones de caudal para cada una de las cámaras, afectando así la recirculación del sistema (ver Tabla 1).

Tabla 1. *Relación de caudales para cada cámara*

Altura del nivel de agua (m)	Relaciones de caudal (Tubo1:Tubo2:Tubo3)	Relación
1.76	5.5 : 4.5 : 1.0	1
1.79	5.0 : 4.0 : 1.0	Transición
1.81	4.8 : 3.8 : 1.0	2

Nota: La relación de Transición fue usada durante un tiempo corto (una semana), para evitar desestabilizar el sistema entre una relación y otra.

Resultados y Discusión

Las concentraciones de OD para el afluente, efluente, y las cámaras aerobia y anóxica pueden observarse en la Figura 2. El afluente y efluente presentaron concentraciones de 0.22 ± 0.24 mgO_2L^{-1} y 0.79 ± 0.64 mgO_2L^{-1}

respectivamente, indicando así que, a pesar de la oxigenación aplicada en el reactor, existe alta demanda del gas por oxidación de materia orgánica y oxidación de amonio en todo el sistema.

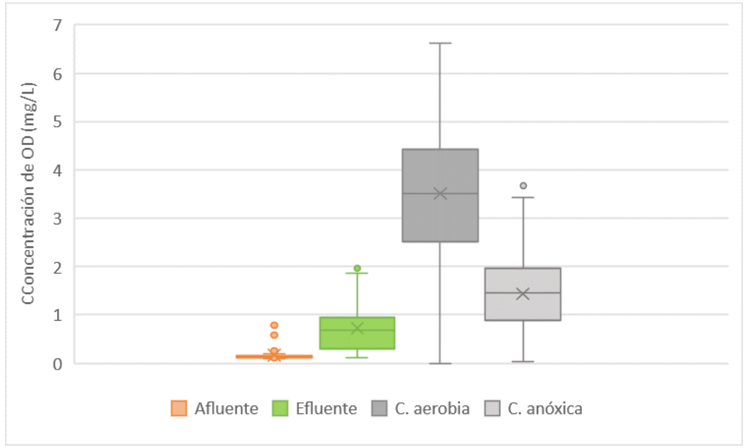


Figura 2. Concentración del OD en diferentes puntos del reactor.

La cámara aerobia presentó una concentración de 3.57 ± 1.24 mgO_2L^{-1}, lo cual evidencia que el caudal de aire de 400 $L.h^{-1}$ es suficiente para transferir la cantidad de oxígeno necesario para permitir los procesos de oxidación de materia orgánica y de nitrificación, siendo este último el más exigente en cuanto a la cantidad de oxígeno disponible, requiriendo al menos 2 $mg.L^{-1}$ (WEF, 2016). En la cámara anóxica esta concentración fue de 1.41 ± 0.78 mgO_2L^{-1}, concentración superior a lo que se esperaba para una zona de reacción anóxica, ya que las condiciones necesarias para forzar a las bacterias facultativas a quebrar las moléculas de nitrógeno para usar el oxígeno es menor a 0.5 $mg.L^{-1}$ (WEF, 2016). Sin embargo, aunque menos frecuentes, también existen algunos microorganismos desnitrificantes autótrofos (como *Thiobacillus denitrificans* y *Micrococcusdenitrificans*), entre los cuales la desnitrificación es más lenta (Kynes & Knowles, 1982).

La Figura 3 ilustra las cargas volumétricas de DQO del afluente y efluente y la eficiencia de remoción en función del tiempo.

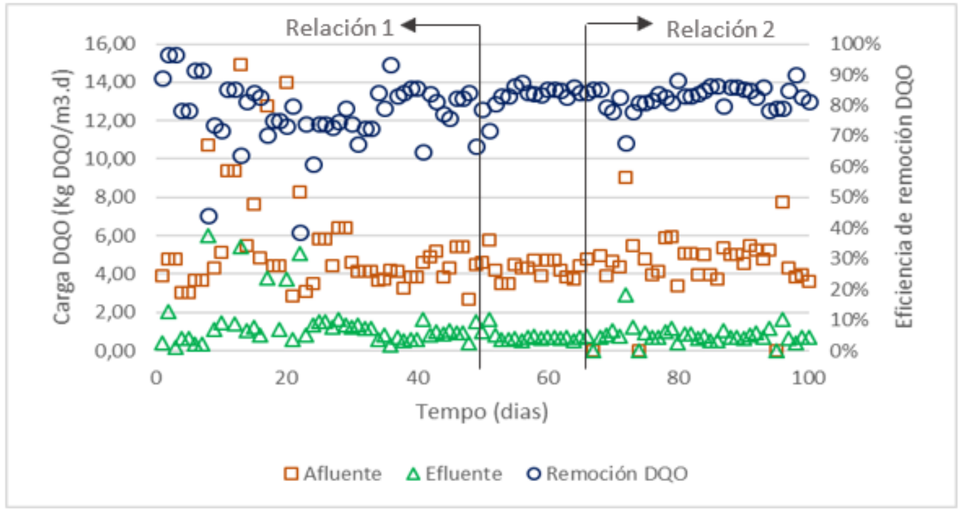


Figura 3. Remoción de la carga orgánica DQO.

El afluente presentó una carga de 4.65 ± 2.22 Kg DQO m^{-3} d^{-1}. El sistema consiguió remover una carga de 3.69 ± 1.44, lo cual es comparable con otros reactores reportados en la literatura. Zhang y Wei (2013) reportaron una carga removida de 0.12 kg DQO m^{-3} d^{-1} en un reactor aerobio de lecho fluidizado para un TRH de 16 horas. Por otra parte, Fdez-Polanco (1994) reportó una carga removida de 1.2 kg DQO m^{-3} d^{-1} en un reactor piloto de lecho fluidizado anaerobio–aerobio para la remoción simultánea de carbono y nitrógeno de agua residual doméstica. El reactor de estudio alcanzó una eficiencia de remoción de 80,5 ± 9,6 %, lo cual también coincide con eficiencias reportadas en la literatura (Fdez-Polanco, 1994). Gebara (2006) trabajó con dos reactores de lecho fluidizado en el tratamiento de agua residual doméstica, alcanzando una eficiencia de remoción de DQO del 89 % para ambos reactores para un TRH de 3 horas, mientras que, Correia (2012) consiguió una eficiencia del 90 % para un reactor de lecho fluidizado, variando la concentración del material soporte.

El comportamiento que presenta esta variable parece estar ligada a la carga de entrada, identificando que la eficiencia se torna estable cuando la carga a la entrada del sistema no presenta variaciones bruscas. También fue posible evidenciar que la relación de caudales 2 permitió eficiencias de remoción más estables para la carga de DQO.

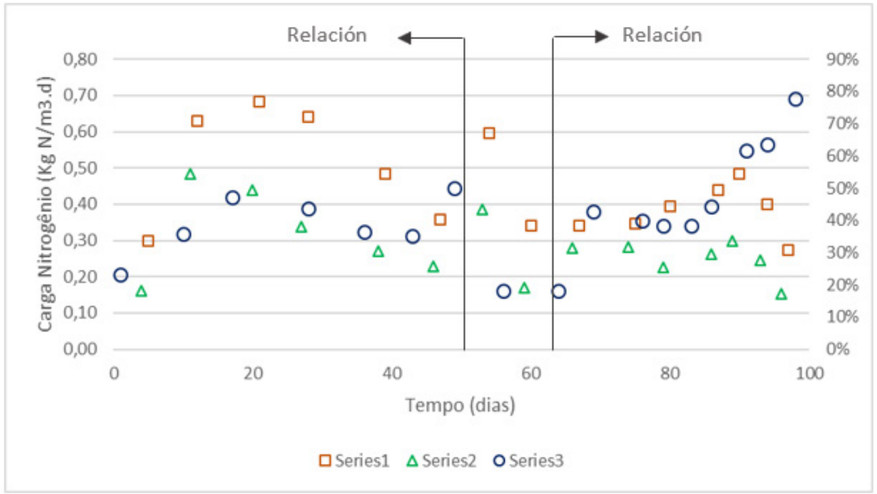


Figura 4. Remoción del nitrógeno total.

En cuanto al nitrógeno, la carga volumétrica en el afluente fue de 0.47 ± 0.23 kg NT m^{-3} d^{-1}, removiendo una carga de 0.18 ± 0.17 kg NT m^{-3} d^{-1}, alcanzando una eficiencia de remoción del 42.27 ± 17 %, valor que se encuentra por debajo del reportado por van Benthum et al. (1999), en su estudio alcanzaron una remoción de NT del 95 % en un reactor de configuración similar al estudiado. Los autores enfatizan en la disminución de la velocidad en la extensión (los autores llaman a la cámara 3).

Otros reportes de remoción de nitrógeno evidenciaron una eficiencia del 76,3 %, para un TRH fue de 16 h (Zhang y Wei, 2013). De la misma forma, fue obtenida una remoción del 72 % para un reactor de lecho fluidizado con un TRH de 3 horas, el cual fue reportado por Gebara (2006). Correia (2012) reportó eficiencias de remoción de NT del 38, 40 y 54 % para diferentes concentraciones de medio de soporte. Comparando la eficiencia de remoción de nitrógeno alcanzada con las reportadas en el estudio de otro tipo de reactores, se tiene que un reactor de lecho móvil evidenció 46 y 50 % para TRH de 4 a 12 horas (Zinatizadeh y Ghaytooli, 2015). Un tratamiento convencional de lodos activados reportó eficiencias del 50 % para una planta de tratamiento (Nourmohammadi et al., 2013).

En cuanto al efecto de la aplicación de las dos relaciones hidráulicas de caudales, es posible evidenciar en la Figura 4 que, el comportamiento de la remoción de nitrógeno para la relación de caudales 1 tuvo una tendencia creciente, la eficiencia de remoción máxima alcanzada operando en esta condición hidráulica fue de 50 %. El comportamiento de la eficiencia de remoción operando en la relación 2 fue igualmente creciente, sin embargo, consiguió alcanzar una eficiencia de remoción máxima del 78 %, lo cual puede estar relacionado con el hecho de que existe mayor oxigenación del agua residual durante la aplicación de la relación 2, debido a la mayor recirculación del flujo dentro del reactor.

El análisis de la relación de C:N fue realizado teniendo en cuenta las cargas orgánicas en términos de DQO y nitrógenada en términos de NT a la entrada del reactor, como también a la salida del mismo. La Figura 5 indica el comportamiento de las cargas mencionadas en el afluente y efluente a través del tiempo.

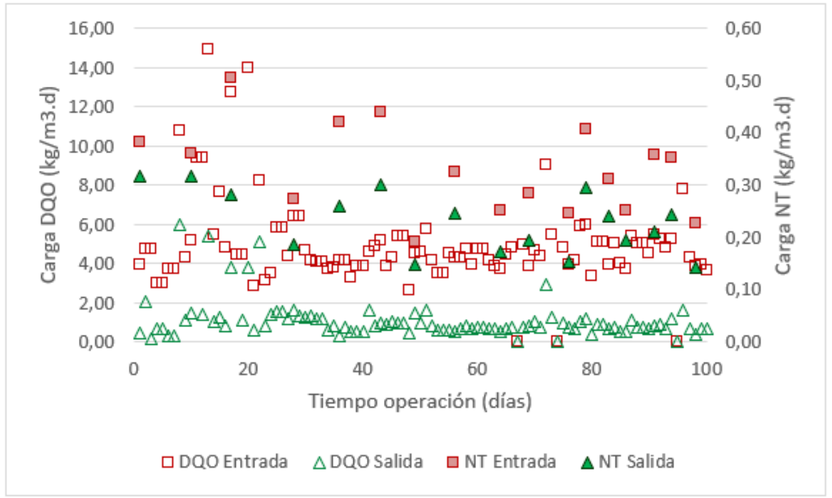


Figura 5. Comportamiento de las cargas orgánica y nitrogenada en el afluente y efluente durante el tiempo de operación del reactor.

Como se evidencia en la Figura 5, el comportamiento de la carga orgánica en el afluente presentó una tendencia más constante con respecto a la carga de nitrógeno, que presentó mayores fluctuaciones. La carga media en la entrada fue de 4.65 ± 2.22 kg DQO m^{-3} d^{-1}, mientras la carga media de nitrógeno fue de 0.47 ± 0.23 kg NT m^{-3} d^{-1}, para una relación media C:N de 10,5 ± 3,78 kg DQO/kg N durante toda la operación. Por su parte, el efluente presentó una carga orgánica media de 1,0 ± 3,78 kg DQO m^{-3} d^{-1}, y de 0,28 ± 0,22 kg NT m^{-3} d^{-1} para el nitrógeno. La relación media C:N en la salida del reactor fue de 1,0 ± 2,46 kg DQO/kg N. El análisis de cargas medias permite identificar que el consumo de materia orgánica es más elevado respecto al consumo de nitrógeno en el sistema, lo cual puede presentarse porque el crecimiento de microorganismos heterótrofos es mas elevado comparado con el grupo de microorganismos autótrofos, encargados de la nitrificación. El cambio en la relación C:N del afluente al efluente evidencia el alto consumo de materia orgánica durante todo el proceso, confirmando así la mayor actividad heterotrófica.

El análisis del comportamiento de la relación C:N durante el tiempo de operación del reactor puede ser detallado en la Figura 6, en la cual se identifica que a pesar del incremento gradual de la relación C:N en el afluente, el cual no es una variable de control del proceso, la relación C:N en la salida se mantuvo constante, presentando un crecimiento imperceptible. Lo anterior corrobora el consumo de materia orgánica por encima de la oxidación y remoción de nitrógeno por el consorcio de bacterias presentes en el reactor.

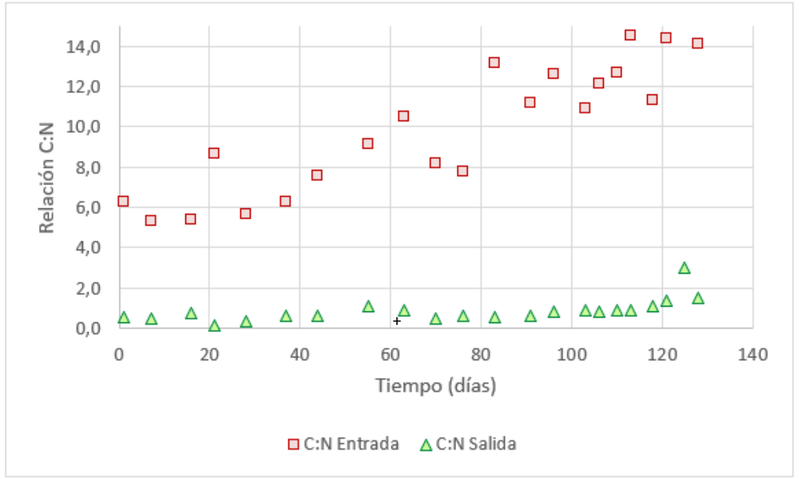


Figura 6. Comportamiento de la relación C:N en el afluente y efluente durante el tiempo de operación del reactor.

Otro análisis realizado para identificar el efecto de la relación C:N en el proceso simultáneo de nitrificación–desnitrificación en el reactor, fue la caracterización de la eficiencia de remoción de nitrógeno teniendo en cuenta esta relación (ver Figura 7).

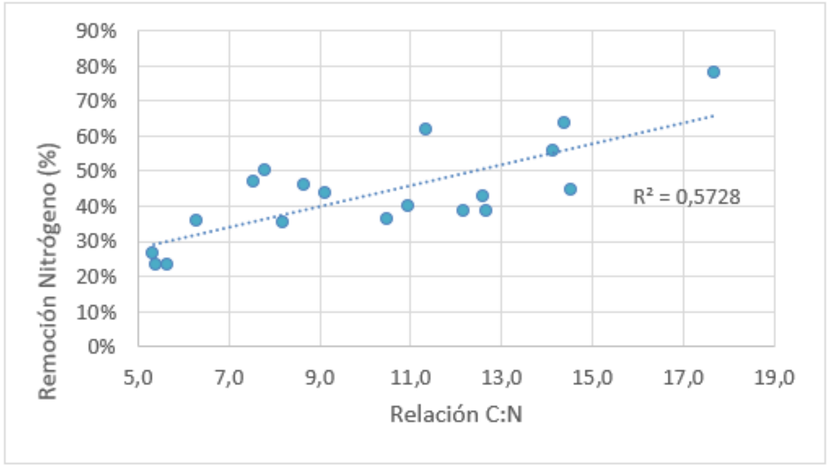


Figura 7. Comportamiento de la relación C:N en el afluente y efluente durante el tiempo de operación.

La Figura 7 permite identificar que, la mayor remoción de nitrógeno, cercana al 80 %, corresponde a la mayor relación C:N presente durante la operación correspondiente a 17,7 kg DQO/kg N. Lo anterior indica que el requerimiento de sustrato orgánico es mayor para el proceso de remoción de nitrógeno durante los procesos simultáneos de nitrificación–desnitrificación, dado que el consumo de carbono es realizado por el grupo de organismos heterótrofos, se puede inferir que esta comunidad de organismos determina la remoción de nitrógeno en este tipo de reactores, a pesar del limitante en la velocidad de crecimiento que presentan las bacterias autótrofas responsables del proceso de nitrificación, paso obligatorio para llevarse a cabo la desnitrificación. Es importante también mencionar que existe un grupo de bacterias nitrificantes heterótrofas que pertenecen a los géneros *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Nocardia* y *Streptomyces* (Hynes & Knowles, 1982).

Conclusiones

Con los resultados obtenidos se puede concluir que en términos de DQO y NT, la relación media C:N que predominó durante el periodo de operación del reactor fue 10,5 kg DQO/kg NT.

La relación C:N que benefició la eficiencia de remoción de nitrógeno cerca del 80 % fue 17,7 kg DQO/kg NT. Es posible evidenciar que el consumo de substrato orgánico presentó mayor demanda con respecto al nitrógeno durante la operación del reactor, confirmando una actividad mayor por parte de microorganismos heterótrofos sobre los autótrofos durante el proceso de remoción de nitrógeno.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Estatal Paulista – UNESP, por el recurso humano y la estructura brindada a la Fundação de Ensino, Pesquisa e Extensão de Ilha Solteira – FEPISA, por haber suministrado los recursos necesarios para los insumos operacionales de este trabajo de investigación, y a la Cordinação de Aperfeiçoamento de Pessoal de nivel Superior – CAPES, por la beca otorgada.

Referencias

Bungay, M. & Bungay, H. (2009). Fundamental Concepts for Environmental Processes. En L. Wang., N. Pereira y Y. Hung (Eds.). *Biological Treatment Processes* (pp. 1-27). New York: Humana Press.

Dodds, W. (2006). Eutrophication and trophic state in rivers and streams. *Limnology and Oceanography, 51*(1-2), 671-680. doi: 10.4319/lo.2006.51.1_part_2.0671

Gebara, D. (2006) *Desempenho de um reator aeróbio de leito fluidizado no tratamento de esgoto sanitário* (tesis doctoral). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil. Recuperado de file:///C:/Users/UMARIANA/Downloads/DoutoradoGebara2006.pdf

Henze, M., Harremoes, P. & Jansen, C. (2002). *Wastewater Treatment (biological and chemical processes*. Berlín: Springer-Verlag.

Hynes, R. & Knowles, R. (1982). Effect of acetylene on autotrophic and heterotrophic nitrification. *Canadian Journal of Microbiology, 28*(3), 334-340. doi: 10.1139/m82-049

Kim, J., Park, K., Cho, K., Nam, S., Park, T. & Bajpai, R. (2005). Aerobic nitrification–denitrification by heterotrophic Bacillus strains. *Bioresource Technology, 96*(17), 1.897-1.906. doi: 10.1016/j.biortech.2005.01.040

Li, Y., He, Y., Ohandja, D., Ji, J., Li, J. & Zhou, T. (2008) Simultaneous nitrification-denitrification achieved by an innovative internal-loop airlift MBR: comparative study. *Bioresource Technology, 99*(13), 5.867–5.872.

Madigan, M. T., Martinko, J. M., Barrachina, C., Berlanga, M., Gonzalo, M., Diaz, C.,…Ruiz, F. (2009). *Brock: Biologia de los microorganismos.* Madrid: Pearson Addison Wesley.

Mitchell, R. (1974). *Introduction to environmental microbiology*. New Jersey: Prentice Hall International Inc.

Stevens, W., Drysdale, G. & Bux, F. (2002). Evaluation of nitrification by heterotrophic bacteria in biological nutrient removal processes: Research in action. *South African journal of science, 98*(5-6), 222-224.

U.S. Evironmental Protection Agency (EPA). (1993). *Process Design Manual: Nitrogen Control*. Washington: United States Environmental Protection Agency, D.C. EPA/625/R-93/010.

Van Benthum, W., Hoogen, J., Lans, R., Loosdrecht, M. & Heijnen, J. (1999). The biofilm airlift suspension extension reactor. Part I: Design and two-phase hydrodynamics. *Chemical Engineering Science, 54* (12), 1.909 – 1.924. doi: 10.1016/S0009-2509(99)00034-2

Van Loosdrecht, M., Van Benthum W. & Heijnen, J. (2000). Integration of nitrification and denitrification in biofilm airlift suspension reactors. *Water Science and Tecnology, 41*(4), 97–103. doi: 10.2166/wst.2000.0432

Water Environmental Federation. (WEF). (2016). *Operation of Water Resource Recovery Facilities, Manual of Practice No. 11* (7.ª ed.). McWraw-Hill Education.

Evaluación espacial de las Condiciones Limnológicas del Reservatorio Itupararanga, Cuenca del Alto Sorocaba (Sp), Brasil

Santiago Gómez Herrera[79]
Daniele Frascareli[80]
Cláudia Hitomi Watanabe[81]
André Henrique Rosa[82]

Resumen

La crisis hídrica en los reservatorios artificiales tiene influencia directa en la disponibilidad de la cantidad y calidad de agua para el abastecimiento público; estos reflejan, además, los impactos de las actividades antrópicas, pues integran las consecuencias de la ocupación del suelo en torno de su cuenca de drenaje. Esta investigación tuvo como objetivo, evaluar la heterogeneidad espacial de las condiciones limnológicas del reservorio Itupararanga (SP, Brasil) en contraste con la resolución CONAMA No. 357/2015. Se realizó una colecta de agua superficial en la estación lluviosa (marzo) del año 2018 en siete puntos, donde se evaluó: Transparencia del agua, temperatura, oxígeno disuelto, pH, sólidos (suspendidos, disueltos y totales), turbidez, potencial redox, carbono total y disuelto, DBO y clorofila-a. Los resultados demostraron que la DBO no estaba en conformidad con las especificaciones CONAMA, y los otros parámetros estuvieron dentro de los límites establecidos para aguas dulces clase 2. A través de un análisis de componentes principales, fue comprobada la heterogeneidad espacial en la dirección del flujo del agua, en concordancia con la compartimentalización teórica de estos cuerpos de agua. De esta manera, las medidas de preservación y monitoreo deben ser tomadas, a fin de mitigar los avances de las actividades potencialmente impactantes.

Palabras clave: calidad del agua, heterogeneidad, reservatorio.

[79] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: sgh525@hotmail.com

[80] Instituto de Ciencia y Tecnología, Universidad Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP). Brasil, Sorocaba.

[81] Instituto de Ciencia y Tecnología, Universidad Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP). Brasil, Sorocaba.

[82] Instituto de Ciencia y Tecnología, Universidad Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP). Brasil, Sorocaba.

Spatial Assessment of Limnological Conditions in Itupararanga Reservoir, High Sorocaba Basin (Sp), Brazil

Abstract

The water crisis in artificial reservoirs has a direct influence on the availability of water in quantity and quality for public supply; also, these reflect the impacts of anthropogenic activities, cause integrate the consequences of land occupation around their drainage basin. The aim of this research was to assess the spatial heterogeneity of the limnological conditions in the Itupararanga reservoir (SP, Brazil) in contrast to the CONAMA resolution # 357/2015. A sampling of surface water was carried out in the rainy season

(March) of 2018 in seven points where Water transparency, temperature, dissolved oxygen, pH, solids (suspended, dissolved and total), turbidity, redox potential, total and dissolved carbon, BOD and chlorophyll-a were evaluated. The results showed that the BOD was not in compliance with the CONAMA specifications; the other parameters were within the limits established for class 2 freshwaters. Through a principal component analysis, the spatial heterogeneity was recognized in the water flow direction, in accordance with the theoretical compartmentalization of these water bodies. Thus, preservation and monitoring measures must be taken in order to mitigate the progress of potentially shocking activities.

Key words: water quality, heterogeneity, reservoir.

Avaliação espacial das Condições Limnológicas do Reservatório Itupararanga, Bacia do Alto Sorocaba (Sp), Brasil

Resumo

A crise hídrica nos reservatórios artificiais tem influência direta na disponibilidade em quantidade e qualidade de água para o abastecimento público, além de que os reservatórios são excelentes detectores de impactos das atividades antrópicas, pois integram as consequências da ocupação do solo em torno da sua bacia de drenagem. Esta pesquisa teve como objetivo, avaliar a heterogeneidade espacial das condições limnológicas do reservatório de Itupararanga (SP) em contraste com a resolução CONAMA # 357/2005. Realizou-se uma coleta de água superficial na estação chuvosa (março) do ano 2018 em sete pontos amostrais onde avaliou-se a transparência da água, temperatura, oxigênio dissolvido, pH, condutividade elétrica, alcalinidade, turbidez, potencial redox, carbono total e dissolvido, sólidos (suspensos, dissolvidos e totais), DBO e Clorofila-a. Os resultados demostraram que a DBO não esteve em conformidade com as especificações CONAMA para um ponto e os demais parâmetros estiverem dentro dos limites estabelecidos para águas doces de Classe 2. Através da análise de componentes principais, foi comprovada a heterogeneidade espacial na direção do fluxo de água, em concordância com a compartimentalização teórica destes corpos de água. Assim, devem ser tomadas medidas de preservação e monitoramento, a fim de mitigar os avanços das atividades potencialmente impactantes.

Palavras-chave: Qualidade da água, heterogeneidade, reservatório.

Introducción

Las intervenciones en el ciclo natural a través del represamiento de los ríos son generalmente realizadas para obtener beneficios para la población, principalmente, para la generación de energía eléctrica, así como para la irrigación de la tierra, el control de inundaciones, recreación, abastecimiento de agua potable y la mejora en la navegación (Cunha, Calijuri y Lamparelli, 2013). Además de esto, los reservatorios artificiales son considerados ecosistemas acuáticos de importancia estratégica, pues proporcionan una base teórica limnológica y ecológica. Sin embargo, su funcionamiento puede interferir en la calidad del agua, en los mecanismos de funcionamiento y en la sucesión de las comunidades acuáticas (Tundisi y Matsumara-Tundisi, 2011).

En Brasil, los reservatorios tienen gran importancia debido a los servicios ambientales que estos ecosistemas prestan, específicamente, en la generación de energía eléctrica (Taniwaki et al., 2013). Entendiendo que Brasil es uno de los países con la mayor capacidad instalada de energía hidroeléctrica y el tercer país mayor generador del mundo de este tipo de energía (BP Statistical, 2017). Por tanto, la utilización de estos ambientes debe enfocarse en una gestión a largo plazo, que busque un equilibrio entre la eficiencia de los servicios que ofrecen y su calidad ambiental.

Lamentablemente, no es la realidad de estos ambientes, ya que presentan grados de degradación ambiental, causados por la propia construcción de este tipo de infraestructura, junto a sus múltiples usos. Por lo tanto, muchas veces la degradación ambiental excede sus beneficios; se ha evaluado que la restauración de la calidad natural del agua de un ecosistema acuático puede considerarse irreversible (Chapman, 1996). Entre los diversos impactos generados, la eutrofización, y los tipos de uso y ocupación del suelo en la cuenca hidrográfica son las variables que a menudo se han asociado con la pérdida de la calidad del agua y la biodiversidad (De Souza, Dos Santos, Urso-Guimarães y Calijuri, 2012; Frascareli et al., 2018).

El reservorio de Itupararanga es un reservorio subtropical, que tiene importancia conocida porque esta ubicado en una de las regiones de mayor crecimiento económico y poblacional del Estado de São Paulo y porque abastece aproximadamente a un millón de personas (Conceição, Sardinha, Godoy, Fernandes & Pedrazzi, 2015). En la actualidad, presenta evidentes problemas de polución que pueden tener orígenes puntuales, como es el caso del vertido de efluentes domésticos e industriales o vertimientos difusos, como es el caso de los residuos de la agricultura (Cardoso-Silva et al., 2014, Pompêo et al., 2015, Frascareli et al., 2018), lo cual genera la entrada de altas cargas de nutrientes y metales que tienen efectos tóxicos (U.S. Environmental Protection Agency, 2016) y que pueden comprometer sus múltiples usos.

Los reservatorios de agua son complejos sistemas intermedios entre ríos y lagos, cuya evolución depende de la heterogeneidad espacial y temporal (Tundisi, 1994). La heterogeneidad dentro de estos ecosistemas acuáticos tiene relación directa con el tiempo de residencia del agua y la entrada de material alóctono, que promueven el surgimiento de diferentes regiones horizontales, en el sentido río-represa, denominadas: región lótica de transición y región léntica (Thornton, Kimmel & Payne, 1990; Thoma, Bini, De Souza, Kita & Monteiro, 1999). Lo anterior, es relevante entender, para determinar la capacidad de autopurificación conocida de estos sistemas (Wei et al., 2009, Gao et al., 2016) y el nivel de presiones que puede estar sufriendo el cuerpo de agua en el marco de un frágil equilibrio ecológico.

En este sentido, es entendido que el uso de recursos hídricos, en el marco de una gestión integral del agua, es un gran desafío tanto político como científico-técnico. Por lo tanto, son necesarios estudios ambientales que contribuyan con la generación de conocimiento científico adicional, con el fin de minimizar los impactos a ese ecosistema y, así, evitar las pérdidas económicas en la recuperación del mismo. Para ello, esta investigación tuvo como objetivo evaluar la heterogeneidad espacial de las condiciones limnológicas del reservorio Itupararanga, con base en la compartimentación teórica de los reservorios (Thornton et al., 1990).

Metodología

Área de estudio

El reservorio de Itupararanga está localizado en el Estado de São Paulo (Brasil), cuenca superior del río Sorocaba. Este recibe las aguas de los ríos Sorocabuçu, Sorocamirim y Una, que se juntan para formar el reservatorio de Itupararanga y posteriormente para formar aguas abajo el río Sorocaba (Smith & Petrere, 2001). La represa fue construida en 1912 con una longitud de 26 km y un área aproximada de 936 km^2 (Bottino, Calijuri & Murphy, 2013), para suministrar energía a municipios, como Ibiuna, Piedad, São Roque, Mairinque, Aluminio y Votorantim (De Freitas, 2008; Taniwaki et al., 2013), por medio de una represa que posee un área de 29,9 km^2, profundidad media de 7,8 m, y caudal máximo de salida de 39,12 $m^3 s^{-1}$ (Santana, 2013). Sus condiciones climáticas están asociadas a un clima Cwb, según la clasificación de Köppen, con verano lluvioso e invierno seco. La precipitación media anual es aproximadamente de 1.599 mm, la temperatura media anual es de 21 °C y una velocidad media del viento 0,66 m s^{-1} (Instituto Nacional de Meteorologia [INMET], 2017).

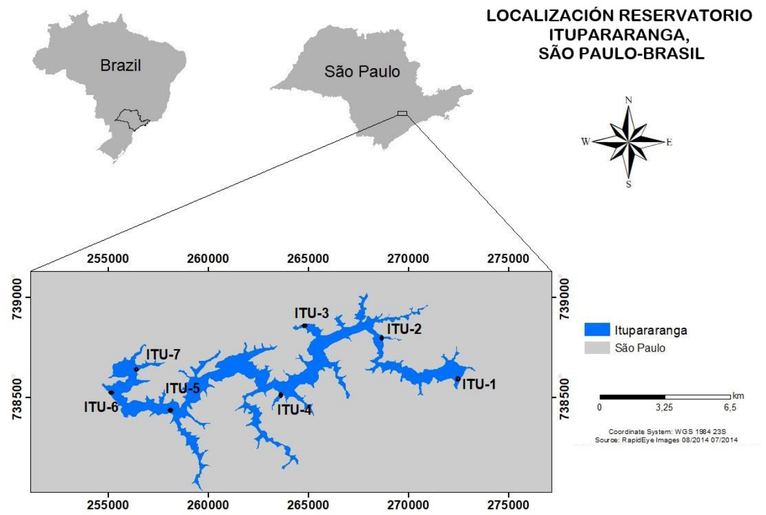


Figura 1. Unidad hidrográfica y puntos de muestreo de los tributarios del reservatorio Itupararanga.

En 1998 el reservatorio fue declarado como Área de Preservación Ambiental (APA). por medio de la Ley Estadual nº 10.100 y fue regulada en 2003 por la Ley Estadual nº 11.579 (Secretaría de Infraestrutura e Meio Ambiente, 2007; Taniwaki et al., 2013b). A pesar de ello, hay evidencias de reducción de la cobertura vegetal nativa y aumento del uso de la tierra ligado a actividades agrícolas intensivas en grandes plantaciones y pequeñas propiedades rurales, así como también, a la ocupación urbana; que actualmente alteran la calidad del agua y comprometen los **múltiples** usos proporcionados por el reservatorio (Conceição, De Souza, Beltran, Pereira & Angelucci, 2011; Taniwaki et al., 2013; Frascareli et al., 2015).

Análisis físico-químicos de las muestras de agua superficial

Se realizó una colecta en el mes de marzo (2018), considerado un período lluvioso. Para la caracterización de la escala espacial fueron seleccionados 7 puntos, distribuidos horizontalmente en el depósito, con diferentes niveles de intervención antropogénica, en donde se analizaron muestras de agua superficial (ver Tabla 1). Para colectar las muestras se prepararon previamente recipientes de polietileno de alta densidad.

Tabla 1. *Coordenadas geográficas UTM y condiciones de los puntos de estudio*

Punto de coleta	Coordenadas UTM (Lat/ Long)	Condiciones
ITU-1	7385956.73 – 272381.63	Unión de los ríos formadores – Vegetación natural predominante
ITU-2	7387956.60 - 268931.10	Cultivos temporales en las márgenes del reservatorio
ITU-3	7388441.24 - 264454.23	Vegetación Natural – Cultivos temporales
ITU-4	7385045.08 - 263553.55	Presencia de condominios residenciales
ITU-5	7384336.81 - 257669.77	Presencia de condominios residenciales – Cultivos temporales
ITU-6	7385070.05 - 255397.27	Presencia de condominios residenciales – Cultivos temporales
ITU-7	7386285.79 - 256335.60	Próximo a la represa– Culturas temporales

Fueron medidas *in situ* la transparencia del agua (TA) a través del disco Secchi. La temperatura (T°), el pH, el Oxígeno Disuelto (OD), la Conductividad Eléctrica (CE), la Turbidez (TUR) y el Potencial de Óxido-Reducción (PR) se midieron por medio de la sonda multiparámetros Horiba U-50 previamente calibrada. En el laboratorio, la alcalinidad (ALC) fue determinada por el método de titulación (Water Environment Federation, 1992). Los sólidos totales (ST), sólidos disueltos (SD) y sólidos suspendidos (SS) fueron determinados por el método gravimétrico (Wetzel & Likens, 2000). Para los ST, una alícuota de 200 ml de agua bruta fue seca en un beaker, previamente higienizado y pesado, a 100 °C en estufa y una vez seco nuevamente pesado; para los SS, se filtró a través de filtros Whatman GF/C 47 mmØ para realizar una evaluación por diferencia de peso.

De la misma forma, para la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), las muestras fueron recolectadas en frascos de vidrio ámbar herméticos para 4 de los puntos en duplicado y se utilizó la metodología Standard Methods 5210B, con la ayuda de un oxímetro calibrado ALFAKIT AT- 150. La determinación de la Clorofila-a (CL-a) fue realizada de acuerdo con Wetzel & Likens (2000), utilizando como solvente acetona alcalinizada 90 % y las absorbancias en un espectrofotómetro FEMTO-700plus, aplicadas en la ecuación establecida por Lorenzen (1967).

Para realizar la cuantificación del Carbono Orgánico Total (TOC) y Carbono Orgánico disuelto (DOC), se recogieron 60 ml de agua en los 7 puntos seleccionados en frascos de vidrio ámbar y preservados con ácido fosfórico concentrado. Para su análisis, se utilizó el Analytik Jena modelo Multi N/C 3100 en los laboratorios de la Unesp-Sorocaba.

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados por técnicas de estadística descriptiva univariadas (media, desviación, etc.) y por técnicas estadísticas multivariadas. Se utilizó estandarización por el método de las puntuaciones Z (Gotelli y Ellison, 2011) para efectuar los análisis estadísticos multivariados. El ACP (Análisis de componentes principales) se aplicó sobre una matriz de correlaciones (Legendre & Legendre, 1998) para evaluar la heterogeneidad espacial de las variables. El análisis de datos fue realizado por medio del software PAST 3.0 (Hammer, Harper & Ryan, 2001).

Resultados y Discusión

Condiciones limnológicas

Los resultados compilados para los parámetros físico-químicos evaluados se presentan en la Tabla 3. Para el mes de estudio se presentó una precipitación media de 203,1 mm y una temperatura media de 25,2 °C, con una temperatura media máxima de 32,6 °C (INMET, 2017). La variación de la temperatura del agua fue baja en función de la desviación estándar, donde se encontraron diferencias en el rango de 27,1 a 28,2 °C. Cabe aclarar que la temperatura es un factor determinante en la conducción de reacciones que afectan procesos químicos, físicos y biológicos en los cuerpos de agua. Por lo tanto, tiene una enorme influencia en la actividad biológica y en el crecimiento de organismos acuáticos (Fernandes & Calijuri, 2011).

La profundidad disco de Secchi en los puntos muestreados variaron de 0,71 a 1,05 m, donde el punto ITU-7 fue el punto con la mayor zona eufótica, y los puntos ITU-1 e ITU-4 presentaron la menor transparencia, a pesar de no ser los más bajos; que se justifica en los ST, SS y SD, ya que estos puntos presentan valores elevados. Para los SD se observó valores inferiores a lo recomendado en la legislación ambiental vigente en Brasil, que también están de acuerdo con estudios anteriores, donde encontraron en periodos de lluvia, un aumento del escurrimiento superficial en la cuenca, reflejada en las concentraciones más altas de sólidos en agua (Bottino et al., 2013; Bucci y De Oliveira, 2014; Frascareli et al., 2015). Específicamente para ITU-1 puede estar asociada con la entrada de los ríos formadores al reservatorio que arrastran material y para ITU-4 procesos de erosión laminar que influencian la presencia de sólidos en suspensión. Investigaciones sobre la biodiversidad en la zona demostraron que éste solo presenta el 38 % de fragmentos de vegetación nativa (BEU et al., 2011) y en la zona de transición un cambio del uso de suelo con el 2,1 % de suelo expuesto, el 8,6 % de uso agrícola y el 21,9 % de uso urbano (Frascareli et al., 2015).

Tabla 2. Valores de las variables limnológicas de las muestras de agua superficiales en el reservatorio Itupararanga.

Punto	TA (m)	T (°C)	OD (mg/L)	pH	CE (µS/cm)	TUR (NTU)	PR	ALC - CaCO3 (mg/L)	ST (mg/L)	SS (mg/L)	SD (mg/L)	COT (mg/L)	COD (mg/L)	DBO (mg/L)	Cl-a (µg/L)
ITU-1	0,71	27,71	8,90	8,86	82,00	12,40	97,00	28,25	68,20	1,98	66,23	10,43	8,17	6,60	11,36
ITU-2	0,87	28,23	8,10	8,80	77,00	16,00	85,00	24,75	62,80	0,58	62,22	10,53	6,85	-	5,35
ITU-3	0,87	27,64	9,70	8,41	74,00	15,00	110,00	25,75	60,20	1,92	58,27	6,04	4,50	4,56	5,88
ITU-4	0,71	27,36	8,50	8,70	76,00	16,70	98,00	26,25	61,10	2,72	58,38	7,96	4,73	-	4,81
ITU-5	0,91	27,32	7,80	8,20	75,00	18,30	30,00	27,25	57,20	1,50	55,70	9,86	8,20	4,45	8,02
ITU-6	0,82	27,06	7,70	7,98	73,00	17,50	53,00	22,75	55,90	0,75	55,15	9,50	8,77	-	6,01
ITU-7	1,05	27,19	6,20	7,34	73,00	6,40	199,00	28,25	57,60	1,80	55,80	9,10	8,70	2,83	10,02
x̄	0,85	27,50	8,13	8,33	75,71	14,61	96,00	26,18	60,43	1,61	58,82	9,06	7,13	4,61	7,35
DP	0,09	0,31	0,78	0,42	2,24	2,98	34,29	1,51	3,09	0,57	3,09	1,18	1,52	1,00	2,10
CV	10,17	1,12	9,54	5,01	2,96	20,39	35,71	5,77	5,11	35,49	5,25	12,99	21,28	21,60	28,57

x̄: Media; DP: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación; TA: Transparencia del agua; T: Temperatura; OD: Oxígeno disuelto; CE: Conductividad eléctrica; TUR: Turbidez; PR: Potencial Oxido-Reducción; ALC: Alcalinidad; ST: Sólidos totales; SS: Sólidos suspendidos; SD: Sólidos disueltos; COT: Carbono orgánico total; COD: Carbón orgánico disuelto; DBO: Demanda biológica de oxígeno; Cl-a: Clorofila-*a*.

De igual forma, la turbidez no excedió los límites recomendados por la legislación brasileña, pero se tiene en cuenta que los resultados son mayores en contraste con los encontrados para la estación seca (Pompêo et al., 2015), debido al aumento de las lluvias. Además, Pompêo et al. (2015) coinciden en que los valores más altos están relacionados con los puntos con mayor cambio en el uso de la tierra y donde hay prácticas agrícolas intensivas (ITU-4, ITU-5 e ITU-6).

El pH estaba dentro del rango de 8,9 a 7,3, con tendencia a disminuir del punto ITU-1 hasta alcanzar su menor valor en el punto ITU-7. Autores como Taniwaki et al. (2013) y Pedrazi et al. (2013) confirman la presencia, en la estación lluviosa, de picos en las concentraciones de fósforo total y nitrógeno total, ligados a la descarga de efluentes con alta carga contaminante en los puntos de llegada de los ríos de formación, principalmente de los afluentes de los ríos Una, Sorocabuçu y Sorocamirim , como también de la quebrada Paruru, que influyen directamente en las tasas de fotosíntesis del ecosistema, ocasionando la variación del pH del agua y tornándose alcalino como consecuencia de la disminución de las concentraciones de dióxido de carbono en el agua (Wetzel, 2001; Palma et al. 2015; Fernandes & Calijuri, 2011). En concordancia, la concentración de clorofila-a se encuentra en niveles aceptables (Conselho Nacional do Meio Ambiente [CONAMA], 2005), indicando valores altos para los puntos ITU-1, asociada a la alta carga de nutrientes que tienen fuerte relación con este parámetro (De Moraes, Da Conceicao, De Souza, Moschini-Carlos y Pompeo, 2013), incluso con altas cargas de SS, por lo cual es considerado el tramo con mayor grado de eutrofización (Frascareli et al., 2015). Además, el punto ITU-7 presenta un valor significativo para este parámetro a causa de su alta transparencia y entrada de luz, que favorece igualmente los procesos fotosintéticos.

Concomitantemente, los resultados obtenidos para el OD no superan los 5 mg L^{-1}, por lo tanto, los valores están dentro de las estipulaciones de la legislación brasileña para cuerpos de agua de clase II (CONAMA, 2005). Es importante especificar, dadas las condiciones de temperatura y nutrientes mencionadas, que la actividad fotosintética aumenta proporcionalmente los niveles crecientes de producción de oxígeno; como lo determinó también De Moraes et al. (2013), para un período lluvioso en contraste con un período seco. Cabe mencionar en este punto, que los valores del Potencial Redox concuerdan con los valores de OD, por lo tanto, hay un ambiente oxidante, asociado a condiciones de calidad aceptables.

En relación al parámetro DBO_5, 3 de las 4 concentraciones fueron inferiores a los límites exigidos por la Resolución CONAMA 357 (2005), aunque para el punto 1 se presentó un valor superior al límite permitido por la legislación (5 mg/L O_2). Esto representa una carga orgánica importante en ese punto, que comúnmente está asociada a los residuos de origen principalmente orgánico (Beló, Mathias y Ubirajara, 2018), es decir, efluentes domésticos e industriales que llegan por lixiviación a la cuenca hidrográfica (Rocha, 2004). Salles et al., (2008) verificaron la ocurrencia de impactos, clasificados como moderados-altos en barrios con alta densidad poblacional, con crecimiento desordenado y sin servicios municipales adecuados en las ciudades circundantes del embalse, por ejemplo, en ciudades como Ibiuna, Cotia y São Roque el 64 %, 65 % y 30 % (Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento [SNIS], 2016) respectivamente, de las aguas residuales no se tratan y se disponen en los ríos formadores, lo cual contribuye al aumento de la trofía (Frascareli et al., 2015).

En referencia a la CE, los puntos evaluados variaron entre 73 a 82 µS cm^{-1}. Se puede apreciar que el punto ITU-1 tuvo el mayor valor asociado a la mayor carga de aguas residuales recibidas de la ciudad de Ibiúna a través de los ríos formadores (Pompêo et al., 2015) o lixiviación de contaminantes. Lo que se refleja en los valores encontrados para COT, siendo más altos que los encontrados por Bottino et al. (2013) en la misma estación del año, infiriendo un agravamiento de la situación. En contraste con otros reservorios en Brasil, la conductividad eléctrica del depósito de Itupararanga fue inferior a los valores registrados por Pavodesi-Fonseca et al. (2009) en el reservatorio Paranoá-GO (> 90 µS.cm-1), Wengrat y Bicudo (2011) en el reservatorio Rio Grande-SP (141,5 µS.cm-1) y Wunderlich et al. (2015) en los reservatorios del Estado de São Paulo: Barra Bonita (315 µS.cm-1), Bariri (280 µS.cm-1) y Promessão (220 µS.cm-1).

Los valores de la alcalinidad en el depósito presentan homogeneidad horizontal (CV <30 %), y pueden ser considerados intermediarios, indicando que el depósito posee cierta característica tampón, manteniendo el pH estable para pequeñas adiciones del ion H+. Es posible clasificar sus aguas en cuanto a la dureza, de suave a blanda (<50 mg/L de $CaCO_3$) (Von Sperling, 2005).

Análisis Estadístico

En teoría, como se mencionó al principio, los reservatorios artificiales generan una compartimentalización espacial horizontal en la dirección del flujo de agua, esto ocurre debido a la reducción de la velocidad del agua. Así, la entrada del reservatorio tiene una característica lótica (como un río), el área de represa presenta una característica léntica, de lago, y la región central presenta una característica intermedia de léntica y lótica, considerada una región de transición (Thornton et al., 1990).

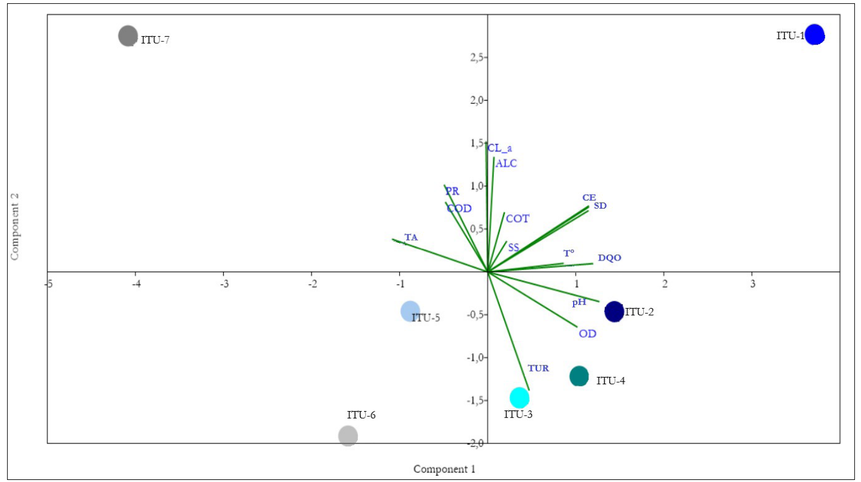


Figura 2. Análisis de componentes principales (ACP) de los parámetros analizados del reservatorio Itupararanga.

A través del ACP fue posible identificar una heterogeneidad espacial horizontal en el depósito de Itupararanga. El punto ITU-1, en la sección derecha superior del componente 1, indicó la influencia de los parámetros Sólidos Totales (ST: 0,87), Sólidos disueltos (SD: 0,86), Conductividad Eléctrica (CE: 0,87) y la Demanda Biológica de Oxigeno (DBO: 0,90). Estos parámetros están asociados a la ubicación del punto ITU-1 en la entrada del reservatorio con la influencia de los ríos formadores, velocidad del agua, arrastre de material sólido, presencia de contaminantes, mayor presencia de algas, entre otros; que indican una coherencia de los resultados.

Es importante mencionar que en los puntos ITU-3 e ITU-4, con marcado cambio del uso del suelo, se presenta una correlación con el parámetro de turbidez (TUR: -0,82). Los puntos ITU-5, ITU-6 y ITU-7 situados cerca de la represa, tuvieron Transparencia del agua (TA: -0,81), esta región tiene una alta tasa de sedimentación de material orgánico y otros compuestos, relación que fue indicada en la ACP.

Esta compartimentación teórica propuesta por Thornton et al. (1990) fue evidenciada en ACP, donde claramente se observa el punto ITU-1 a la extrema derecha, en la región central del gráfico los puntos ITU-2, ITU-3, ITU-3, ITU-4, ITU-5, a la izquierda los puntos ITU-6, ITU-7 (extrema izquierda). Por lo tanto, a medida que el flujo de agua se aproxima a la represa se presenta una reducción de la velocidad de agua y los compartimentos teóricos lóticos, transición y lénticos son formados, éstos limitan algunas dinámicas ecológicas en estos ambientes.

Conclusión

El reservatorio Itupararanga indicó heterogeneidad espacial horizontal para las variables analizadas en el período de muestreo, condición esperada y comprobada. Sin embargo, algunos parámetros estuvieron en desacuerdo con la legislación actual brasileña, lo cual puede acarrear daños en este ecosistema. Por lo tanto, se sugiere un monitoreo periódico de este ambiente, cuya importancia social y económica en la región es conocida, además, diversos trabajos académicos-científicos se realizan con el propósito de reducir, así como, mitigar los impactos negativos.

Referencias

Beló, A., Mathias, A. & Ubirajara, C. (2018). Comparison of the physical, chemical and biological parameter magnitudes and cyanobacterial bloom in the Alagados reservoir of Ponta Grossa-PR. *Revista Ambiente & Água*, *13*(3), 28-39. doi: 10.4136/ambi-agua.2016

Bottino, F., Calijuri, M. & Murphy, K. (2013). Temporal and spatial variation of limnological variables and biomass of different macrophyte species in a Neotropical reservoir (São Paulo-Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensia*, *25*(4), 387-397.

BP Statistical. (2017). Review of World Energy. Recuperado de https://www.bp.com/content/dam/bp-country/de_ch/PDF/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf

Bucci, M. & De Oliveira, L. (2014). Índices de qualidade da água e de estado trófico na represa Dr. João Penido (Juiz de Fora, MG). *Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, *9*(1), 130-148. doi: 10.4136/ambi-agua.1290

Cardoso-Silva, S., Nishimura, P., Padial, P., Mariani, C., Moschini-Carlos, V. & Pompêo, M. (2014). Compartimentalização e qualidade da água: o caso da Represa Billings. *Bioikos*, *28*(1), 31-43.

Chapman, D. (1996). *Water Quality Assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring* (2.ª ed.). London: E&FN Spon.

Conceição, F., De Souza, D., Beltran, G., Pereira, M. & Angelucci, V. (2011). Rainwater chemical composition and annual atmospheric deposition at Alto Sorocaba Basin (SP). *Química Nova, 34*(4), 610-616. doi: 10.1590/S0100-40422011000400011

Conceição, F., Sardinha, D., Godoy, L., Fernandes, A., Pedrazzi, F. (2015). Influência sazonal no transporte específico de metais totais e dissolvidos nas águas fluviais da bacia do Alto Sorocaba (SP). *Geochimica Brasiliensis, 29*(1), 23-34. doi: 10.5327/Z0102-9800201500010003

Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. (2005). Resolução CONAMA No. 357/2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, Brasil. Recuperdo de http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO_CONAMA_n_357.pdf

Cunha, D., Calijuri, M. y Lamparelli, M. (2013). A trophic state index for tropical/subtropical reservoirs (TSI_{tsr}). *Ecological Engineering, 60*, 126-134. doi: 10.1016/j.ecoleng.2013.07.058

De Freitas, A. (2008). *Desenvolvimento de Método para Inferência de Características Físicas da Água associadas às variações espectrais. Caso de Estudo: Reservatório de Itupararanga/SP* (tesis doctoral). Universidade Estadual Paulista, Brasil. Recuperado de http://www2.fct.unesp.br/pos/cartografia/docs/teses/t_pereira_acf.pdf

De Moraes, F., Da Conceição, F., De Souza, D., Moschini-Carlos, V. & Pompêo, M. (2013). Spatial and temporal quality of water in the Itupararanga Reservoir, Alto Sorocaba Basin (SP), Brazil. *Journal of Water Resource and Protection*, *5*(1), 64-71. doi: 10.4236/jwarp.2013.51008

De Souza, F., Dos Santos, A., Urso-Guimarães, M. & Calijuri, M. (2012). Relationship between space distribution of the benthic macroinvertebrates community and trophic state in a Neotropical reservoir (Itupararanga, Brazil). *Biota Neotropica,* 12(4), pp. 114-124. doi: 10.1590/S1676-06032012000400012

Fernandes, D. & Calijuri, M. (2011). Seasonal variation of phytoplankton functional groups in the arms of a tropical reservoir with multiple uses (SP, Brazil). *Acta Botanica Brasilica*, *25*(4), 822-831. doi: 10.1590/S0102-33062011000400009

Frascareli, D., Cardoso, S., Soares, J., Rosa, A., Pompêo, M., López-Doval, J. & Moschini-Carlos, V. (2018). Spatial distribution, bioavailability, and toxicity of metals in surface sediments of tropical reservoirs, Brazil. *Environmental monitoring and assessment*, *190*(4), 2-15. doi: 10.1007/s10661-018-6515-8

Frascareli, D., De Souza, F., Cardoso, S. & Moschini, V. (2015). Heterogeneidade espacial e temporal de variáveis limnológicas no reservatório de Itupararanga associadas com o uso do solo na Bacia do Alto Sorocaba-SP. *Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, *10*(4), 770-781. doi: 10.4136/ambi-agua.1715

Gao, Q., Li, Y., Cheng, Q., Yu, M., Hu, B., Wang, Z. & Yu, Z. (2016). Analysis and assessment of the nutrients, biochemical indexes and heavy metals in the Three Gorges Reservoir, China, from 2008 to 2013. *Water research*, *92*(1), 262-274. doi: 10.1016/j.watres.2015.12.055

Hammer, Ø., Harper, D. & Ryan, P. (2001). Paleontological statistics software: package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, *4*(1), 1-9.

Instituto Nacional de Meteorologia. (INMET). (2017). Dados climáticos sobre temperatura do ar, precipitação e ventos. Recuperado de http://www.inmet.gov.br

Legendre, P. & Legendre, L. (1998*). Numerical ecology* (2.ª ed.). Ámsterdam: Elsevier Science

Lorenzen, C. (1967). Determination of chlorophyll and pheo-pigments: spectrophotometric equations 1. *Limnology and oceanography*, *12*(2), 343-346. doi: 10.4319/lo.1967.12.2.0343

Padovesi-Fonseca, C., Philomeno, M. & Andreoni-Batista, C. (2009). Limnological features after a flushing event in Paranoá Reservoir, central Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, *21*(3), 277-285.

Palma, P., Köck-Schulmeyer, M., Alvarenga, P., Ledo, L., de Alda, M. & Barceló, D. (2015). Occurrence and potential risk of currently used pesticides in sediments of the Alqueva reservoir (Guadiana Basin). *Environmental Science and Pollution Research*, *22*(10), 7.665-7.675. doi: 10.1007/s11356-015-4390-1

Pompêo, M., Gonçalves, P., Moschini-Carlos, V., Cardoso-Silva, S., de Lucia-Lobo, F., do Amaral-Meirinho, P., Bitencourt, M & Meirelles, S. (2015). Spatial horizontal heterogeneity of quality water in Rio Grande de reservoir, Billings Complex, São Paulo, Brasil. En M. Pompêo, V. Moschini-Carlos, P. Y. Nishimura, S. Cardoso-Silva & J. C. López-Doval (Eds.). *Ecology of reservoir and interfaces* (pp. 82–95). São Paulo: Institute of Biosciences.

Rocha, J. (2004). *Introdução à Química Ambiental*. Porto Alegre: Bookman.

Salles, M., Conceição, F., Angelucci, V., Sia, R., Pedrazzi, F., Carra, T., ...Navarro, G. (2008). Avaliação simplificada de impactos ambientais na bacia do Alto Sorocaba (SP). *Revista de estudos ambientais, 10*(1), 6-20.

Santana, A. (2013). *Variação sazonal e migração vertical da comunidade zooplantônica (exceto Rotífera) no reservatório de Itupararanga, Votorantim, São Paulo* (tesis de maestría). Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, Brasil. Recuperado de https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/1528/GIRON_Aline_Karen_Santana_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Secretaría de Infraestrutura e Meio Ambiente. (2007). Relatório de Qualidade Ambiental do Estado de São Paulo. Informações Referentes à 2005-2007. Recuperado de www.ambiente.sp.gov.br.

Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento - SNIS. (2016). Série histórica. Recuperado de http://app.cidades.gov.br

Smith, W. & Petrere, M. (2001). Peixes em represas: o caso de Itupararanga. *Ciência Hoje*, 29(170), 74-77.

Taniwaki, R., Rosa, A., Lima, R., Maruyama, C., Secchin, L., Calijuri, M. & Moschini-Carlos, V. (2013). A influência do uso e ocupação do solo na qualidade e genotoxicidade da água no reservatório de itupararanga, São Paulo, Brasil. *Interciência*, *38*(3), 164-170.

Thomaz, S., Bini, L., De Souza, M., Kita, K. & Monteiro, A. (1999). Aquatic macrophytes of Itaipu Reservoir, Brazil: survey of species and ecological considerations. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, *42*(1). doi: 10.1590/S1516-89131999000100003

Thornton, K., Kimmel, B. & Payne, F. (1990). *Reservoir limnology: ecological perspectives*. John Wiley & Sons.

Tundisi, J. & Matsumura-Tundisi, T. (2011). *Recursos hídricos no século XXI*. Brasil: Oficina de Textos.

Tundisi, J. (1994). Tropical South America: Present and perspectives. En R. Margalef (Ed.). *Limnology Now: A Paradigm of Planetary Problems* (pp. 353-242). Amsterdam: Elseiver Science.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2016). Table of Regulated Drinking Water Contaminants. Regulated drinking water contaminants. Washington. Recuperado de https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations

Von Sperling, M. (2005). *Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos* (3.ª ed.). Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais Ufmg

Water Environment Federation (1992). APHA. *Standard methods for the examination of water and wastewater* (18.ª ed.). Washington: American Public Health Association.

Wei, G., Yang, Z., Cui, B., Li, B., Chen, H., Bai, J. & Dong, S. (2009). Impact of dam construction on water quality and water self-purification capacity of the Lancang River, China. *Water resources management*, *23*(9), 1.763-1.780. doi: 10.1007/s11269-008-9351-8

Wengrat, S. & Bicudo, D. (2011). Spatial evaluation of water quality in an urban reservoir (Billings Complex, southeastern Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensia*, *23*(2), 200-216.

Wetzel, R. & Likens, G. (2000). *Limnological analyses* (3.ª ed.). New York: Springer-Verlag.

Wetzel, R. (2001). *Limnology*. San Diego: Academic Press.

Wunderlich, A., Silva, R., Zica, É., Rebelo, M., Parente, T & Vidal-Martínez, V. (2015). The influence of seasonality, fish size and reproductive status on EROD activity in Plagioscion squamosissimus: Implications for biomonitoring of tropical/subtropical reservoirs. *Ecological indicators*, 58, 267-276. doi: 10.1016/j.ecolind.2015.05.063

Análisis del riesgo ocupacional por exposición a monóxido de carbono en parqueaderos cerrados de centros comerciales de Villavicencio

Paola Andrea Epalza Vela[82]
Liyibeth Yisney Gutiérrez Alfonso[83]
Yury Tatiana Cárdenas Hernández[84]
Jenny Alexandra Triana Casallas[85]

Resumen

Esta investigación está enfocada a la determinación del riesgo de intoxicación por monóxido de carbono (CO), a la cual se encuentra expuesta la población permanente (trabajadores) de parqueaderos cerrados en centros comerciales de Villavicencio. La investigación se enmarca en una metodología cuantitativa y un método de medición de aire continuo y automático con muestra puntual, durante un periodo de dos meses, con el equipo autocalibrable Extech CO10. A partir de esto, se generó una base de datos en el software Microsoft Excel, donde se aplicó un tratamiento estadístico cuantitativo y descriptivo, generando así promedios de concentración para jornadas laborales de ocho horas y coeficientes de riesgo (CR) al cual se encuentra expuesta la población. Igualmente, se elaboró mapas de isoconcentraciones en el software ArcGis 10.2.2, el cual toma como base los CR y plantea una predicción de los mismos, asumiendo un comportamiento similar. Finalmente, se observó que el CR para el CC1S1 es aceptable, de acuerdo con los límites de exposición permisibles (PEL) establecidos por la OSHA (30 %) y críticos, bajo los estándares de la OMS, debido a que supera su umbral en 7.87 ppm; en cuanto a CC1S2 y CC2S1 se evidencia que el CR es aceptable, pues se encuentra dentro de los parámetros permitidos por las dos organizaciones.

Palabras clave: calidad del aire interior, espacios cerrados, monóxido de carbono, riesgo ocupacional.

Analysis of occupational risk from exposure to carbon monoxide in closed parking lots of shopping malls in Villavicencio

Abstract

This research is focused on the determination of the risk of carbon monoxide poisoning (CO), which the permanent population of closed parking lots in commercial malls of Villavicencio is exposed. This is part of a quantitative methodology and a method of continuous and automatic measurement with a point sample, during a period of two months with the self-calibrating Extech CO10 equipment.

From this, a database was generated in the Microsoft Excel software, where a quantitative and descriptive statistical treatment was applied, generating averages of concentration for 8-hour working days and risk factors to which the population is exposed. Likewise, maps of isoconcentrations were developed in the ArcGis 10.2.2 software, which takes as a basis the CRs and proposes a prediction of them, assuming a similar behavior. Finally, it was observed that the risk for CC1S1 is acceptable for the permissible limits established by OSHA and critics according to the WHO standards because it exceeds its threshold. As for CC1S2 and CC2S1, it is clear that the CR is acceptable because it is within the parameters allowed by the two organizations.

Key words: indoor air quality, closed spaces, Carbon monoxide, occupational risk.

Análise do risco ocupacional pelo exhibition ao monóxido de carbono em estacionamentos fechados de centros comerciais de Villavicencio

Resumo

Esta investigação é focalizada na determinação do risco a envenenar pelo monóxido de carbono (CO), a que é exposto a população permanente dos parqueaderos fechados em centros comerciais de Villavicencio. A metodologia usada é quantitativa com um método de medida contínua e automática do ar com amostra precisa, durante um período de 2 meses com o equipamento autocalibrable Extech CO10. Com a informação recolhida se gera uma base de dados no software Microsoft Excel, que tem um tratamento estatístico quantitativo e descritivo, gerando assim médias da concentração por dias labor de 8 horas e coeficientes do risco (CR) a que é exposto a população. Da mesma forma, foram elaborados os mapas dos iso- concentrações no software ArcGis 10.2.2, que toma como base os CRs e propõe uma previsão deles, assumindo um comportamento semelhante. Finalmente, observou-se que o risco para CC1S1 é aceitável para os limites permitidos estabelecidos pela OSHA e pelos críticos de acordo com os padrões da OMS, porque excede seu limite. Quanto ao CC1S2 e CC2S1, é claro que o CR é aceitável porque está dentro dos parâmetros permitidos pelas duas organizações.

Palavras-chave: qualidade do ar interno, espaços fechados, monóxido de carbono, risco ocupacional.

Introducción

El monóxido de carbono (CO) es un gas, y por sus características fisicoquímicas es llamado “el asesino silencioso”, cuando penetra al organismo se une a las enzimas del grupo Hem de la hemoglobina, desplazando el oxígeno de la misma y formando carboxihemoglobina. Los principales efectos crónicos por exposición a este gas son alteraciones cardiovasculares, por lo cual se incrementa la probabilidad de desarrollar hipertensión arterial sistémica, episodios de trombosis y neuropsicológicos, favoreciendo la aparición de un cuadro similar al párkinson (Téllez, Rodríguez y Fajardo, 2006).

Por otro lado, la condición de contaminación atmosférica no se limita a los impactos negativos asociados a ambientes urbanos externos, pues incluye problemáticas que se pueden originar en espacios cerrados (viviendas, oficinas, parqueaderos, medios de transporte, etc.) (Franco, 2012). “En términos generales, el nivel de concentración de un contaminante en un espacio interior es determinado por el equilibrio existente entre la generación del contaminante y su velocidad de eliminación” (Liébana y Hernández, 2001, p. 45.8). De acuerdo con la Conferencia Americana de Higienistas Industriales (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*-ACGIH), “los métodos de control del aire en interiores pueden dividirse en dos grupos principales: el control de la fuente de emisión y el control del ambiente a través de estrategias de ventilación y depuración del aire” (Liébana y Hernández, 2001, p. 45.8).

El ambiente interior en cualquier clase de edificio, incluidas viviendas, es el resultado de la interacción entre el sistema de la infraestructura, las técnicas de construcción, las fuentes de contaminación, los ocupantes del inmueble y los agentes externos (Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía, 2011). En Colombia cada año ocurren alrededor de 6.000 muertes por causa de la contaminación del aire, cerca del 20 % de estas muertes se encuentran asociadas a la exposición a altos niveles de contaminación del aire en ambientes cerrados (Sánchez-Triana, Ahmed y Awe,

[82] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás. Villavicencio, Colombia. Correo electrónico: paola.epalza@usantotomas.edu.co

[83] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás. Villavicencio, Colombia. Correo electrónico: liyibethgutierrez@usantotomas.edu.co

[84] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás. Villavicencio, Colombia.

[85] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás. Villavicencio, Colombia.

2006), esto indica que existe una relación directa entre la baja calidad del aire en interiores y enfermedades pulmonares, como el asma, las alergias, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y el cáncer de pulmón, además de otras dolencias generales (Carmona, 2009). Es por esta situación que el fenómeno de contaminación en interiores ha venido tomando especial relevancia para las autoridades ambientales y de salud pública de las ciudades.

Ahora bien, el parque automotor es el mejor representante de las fuentes generadoras de gases tóxicos, pues es el principal emisor de contaminantes, como hidrocarburos no quemados, compuestos orgánicos volátiles, dióxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y óxidos de carbono (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2014); a partir de esto, se infiere que las zonas de estacionamiento presentan elevadas concentraciones de dichos contaminantes, por lo cual, surge la necesidad de desarrollar estudios que identifiquen y determinen el riesgo al que se encuentra expuesta la población que trabaja en estos lugares. Por tal motivo, se plantea la presente investigación, la cual pretente determinar el CR al que se encuentra expuesta la población permanente en parqueaderos cerrados de centros comerciales de Villavicencio por exposición a CO.

Metodología

El análisis del riesgo ocupacional por exposición a monóxido de carbono en parqueaderos cerrados de centros comerciales de Villavicencio, se desarrolló por medio de una metodología cuantitativa, debido a que se determinó estadísticamente el coeficiente de riesgo al que se encuentra expuesta la población permanente; así mismo el monitoreo de la concentración se realizó a través del equipo autocalibrable Extech CO10. El método de medición de aire utilizado fue continuo y automático con muestreo puntal, puesto que se seleccionaron los días, las horas y la frecuencia de medición, de acuerdo al comportamiento observado en cada una de las áreas de estudio.

La selección de los centros comerciales se realizó de acuerdo a las características físicas y estructurales de los mismos (dos sótanos de estacionamiento y un número de celdas de parqueo similares) con el fin de generar un análisis comparativo entre ellos; posteriormente, se preseleccionaron los puntos para la toma de datos, esto a través del reconocimiento de la infraestructura del lugar, la distribución espacial por medio de los planos estructurales de los sótanos, las rutas de acceso tanto peatonales como vehiculares y la ubicación del personal de trabajo.

Área de estudio

Para el centro comercial CC1 se identificó que, en promedio 2.055 vehículos hacen uso de éste diariamente, de los cuales 587 son motocicletas y 1.468 autos. De la misma manera, se evidenció dos modalidades de trabajo: una rotativa (interactúan en los dos sótanos) y otra fija (ubicados en el punto de pago, acceso al parqueadero y zona de motocicletas). Así mismo, se observó que el sistema de ventilación que maneja el CC1 es por extracción y el único ingreso de ventilación natural es por el acceso vehicular. El sótano 1 (CC1S1) está compuesto por las zonas de estacionamiento exclusivo para el hotel, transporte de carga, motocicletas (empleados del CC y clientes), bicicletas, el área cerrada del hotel, la bodega del hipermercado, los cuartos de operación del sistema de extracción de aire y el lavadero de autos, por tal motivo fueron establecidos diez puntos de toma de muestra (ver Figura 15).

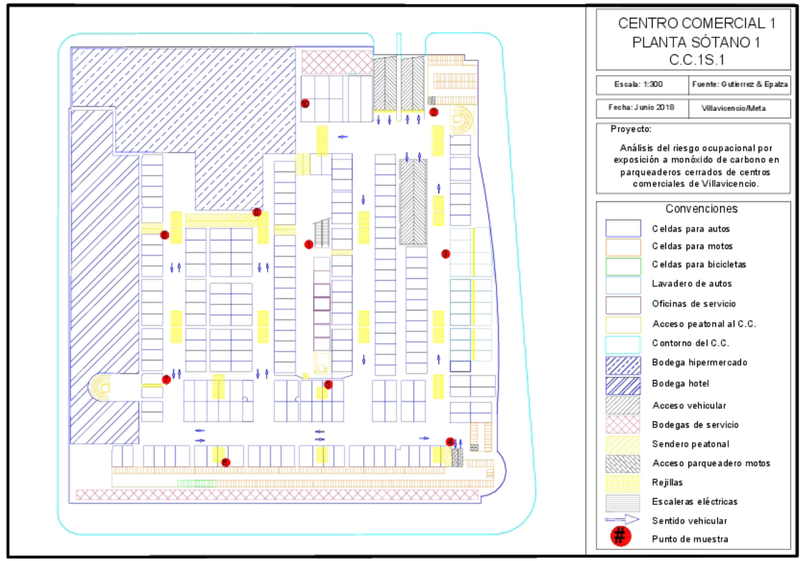


Figura 1. Plano estructural del centro comercial 1 sótano 1.

Respecto al sótano 2 (CC1S2), se encontró las zonas de estacionamiento privado para los administradores del centro comercial (automóviles), los autos de las empresas de renta, y el público en general. De igual forma, se encuentran las bodegas de los almacenes, hotel e hipermercado y los cuartos de descanso del personal de mantenimiento y aseo. Para este sótano se identificó diez puntos de toma de muestra (ver Figura 2), igual que para sótano 1, debido a que su tamaño y distribución es muy similar y este es usado por los clientes cuando el primero se encuentra ocupado en su totalidad, además ahí solo interactúa un guarda de seguridad fijo, un empleado de la administración del parqueadero y los encargados del mantenimiento del centro comercial, estos dos últimos de manera ocasional.

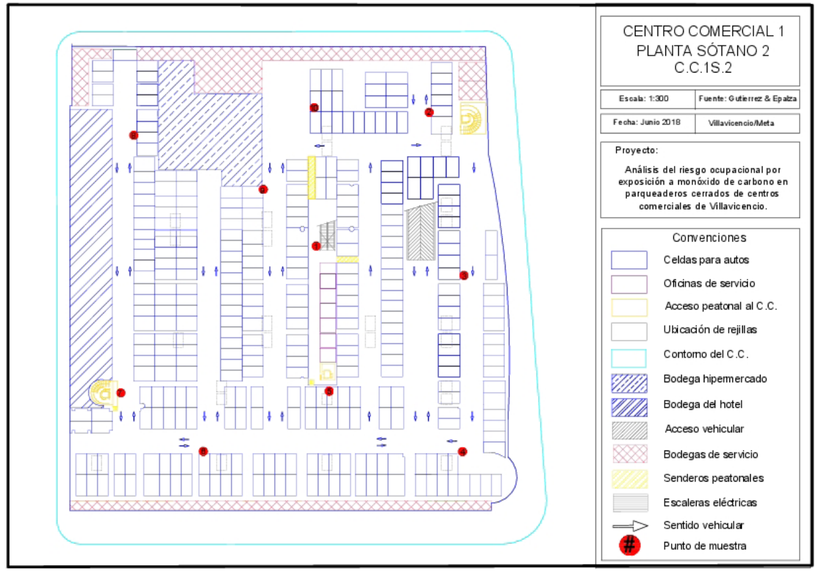


Figura 2. Plano estructural del centro comercial 1 sótano 2.

El centro comercial 2 en promedio diario posee un flujo de 2.598 vehículos, de los cuales alrededor de 1.745 son automóviles y 818 motocicletas, de igual manera, se observó que el establecimiento cuenta con dos modalidades de trabajo: rotativa donde los empleados interactúan en todas las plantas del CC y fija quienes permanecen en un solo punto durante toda su jornada laboral, principalmente en puntos de acceso vehicular y pago. Así mismo, se identificó que el centro comercial posee un buen ingreso de ventilación natural, ya que cuenta con 3 accesos vehiculares, además de pequeñas ventanas alrededor del mismo y un sistema de inyección de aire. Por otra parte, el establecimiento tiene la particularidad de que solo habilita el sótano 2 cuando es necesario, por tanto, la mayoría del tiempo permanece fuera de servicio, motivo por el cual no se realiza el estudio en esta planta.

Apartar del reconocimiento del lugar, se identificó que en el sótano 1 (CC2S1) se encuentran los depósitos de almacenamiento y recepción, el ingreso al sótano 2, el sistema de ventilación, una zona de autolavado y el área de parqueo de motos y bicicletas. Teniendo en cuenta lo anterior, para la distribución de los trabajadores y del área del establecimiento, se ubicaron 12 puntos de muestreo (ver Figura 3).

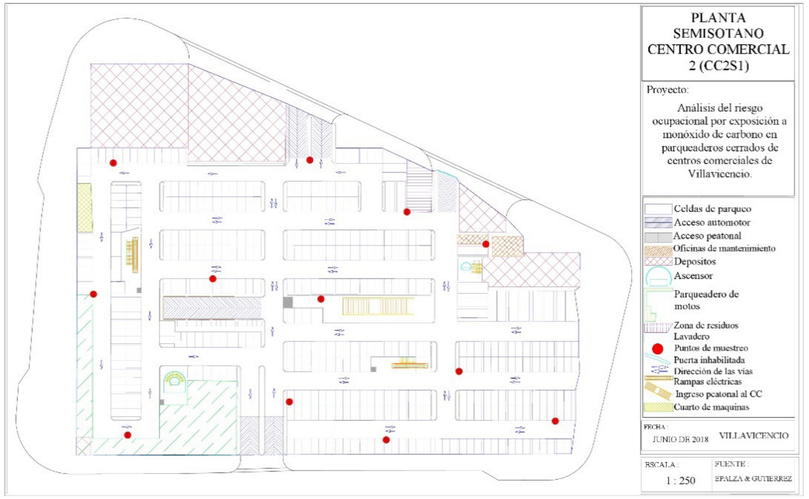


Figura 3. Plano estructural del centro comercial 2 sótano 1.

En cuanto al sótano 2 (CC2S2), fue posible identificar un sistema de ventilación, tres ingresos peatonales, un asesor para clientes, ya que todos los depósitos de mantenimiento, almacenamiento y recepción se encuentran en el sótano 1. A diferencia de dicho sótano, en sótano 2 se encuentran los depósitos de maquinaria y una zona de celdas de parqueo, que es usada para el almacenamiento de herramientas para épocas especiales del centro comercial. EL sótano 2 es mucho más pequeño que el sotano 1 (ver Figura 4) por tal motivo, se establece solo ocho puntos de muestreo.

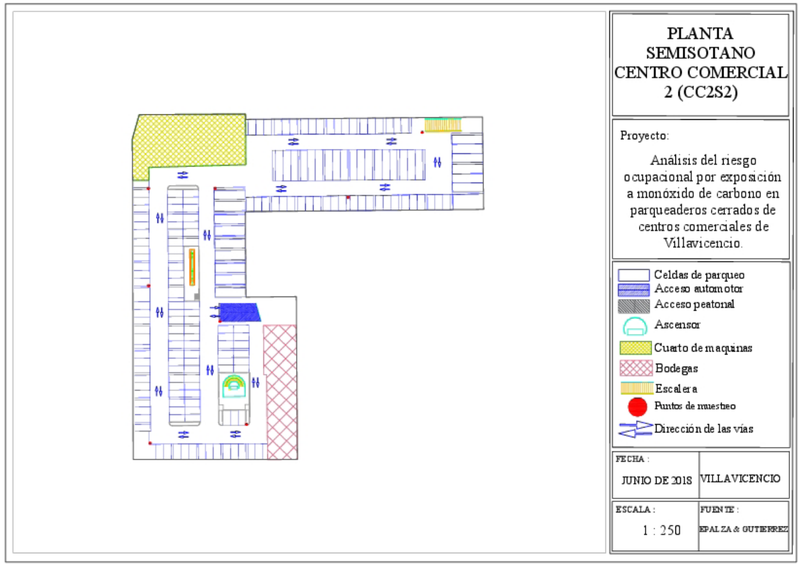


Figura 4. Plano estructural del centro comercial 2 sótano 2.

Cálculo de Riesgo y Mapa de Isoconcentraciones

La toma de la concentración de monóxido de carbono [CO] para cada uno de los puntos de medición se realizó durante una hora con intervalos de medición de 15 minutos, para un periodo de 2 meses en cada CC. Los datos de concentración obtenidos se transcribieron al software Microsoft Excel, donde se realizó el debido tratamiento estadístico, es decir, se calculó el comportamiento de los datos, permitiendo identificar los valores que se encuentran dentro y fuera del intervalo de confianza (esto por factores como la acumulación de vehículos ocasionales o el día sin carro y sin moto), representados en el diagrama de cajas. Igualmente, se determinó el promedio de concentración mediante la **Ecuación 1**, la cual relaciona el tiempo de exposición y la concentración obtenida en los días de estudio, con el fin de conocer el comportamiento de [CO] durante el día.

Ecuación 1. Cálculo del promedio de la concentración (Crowl & Louvar, 2002):

$$\overline{[CO]} = \frac{(C_1 * T_1) + (C_2 * T_2) + (C_3 * T_3) + \cdots + (C_n * T_n)}{T_{1+2+3+\cdots+n}}$$

Donde:

C: concentración del monóxido de carbono (ppm);

T: tiempo de exposición;

$\overline{[CO]}$: Promedio de las [CO] (ppm).

Seguidamente, se determinó el coeficiente de riesgo, y se compararon las concentraciones de los contaminantes con los PELs, tanto de la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional -OSHA- (siglas en inglés) como de la Organización Mundial de la Salud –OMS. (Ver Tabla 1), con el fin de conocer el grado de afectación al que se encuentra expuesta la población permanente de los parqueaderos de cada CC (ver **Ecuación 2**).

Tabla 1. *Valores permisibles establecidos por las organizaciones empleadas para el estudio*

Tiempo	OMS[1]	OSHA[2]
8 horas	10 ppm	35 ppm

Fuente: Obsrvatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucia, 2011; Bereguer & Solé, 1990.

$$Calculo\ de\ riesgo = \frac{Promedio\ de\ concentración\ de\ CO}{Valor\ máximo\ permisible\ de\ exposición}$$

El cálculo del coeficiente de riesgo por la exposición a monóxido de carbono se realizó a partir de los PELs de la OSHA y la OMS, debido a que en Colombia no se han reglamentado las concentraciones máximas para la emisión de contaminantes en interiores; así mismo, se identificó que la OMS establece estándares más estrictos, de acuerdo a esta, si la población presenta niveles superiores al 2,5 % de carboxihemoglobina, empezaría a manifestar afecciones en el sistema respiratorio y cardiovascular (Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía, 2011).

Por último, se generaron los mapas de isoconcentraciones para cada uno de los CC, a través del software ArcGIS 10.2.2, donde se representaron los CR obtenidos para cada uno de los puntos de muestreo, lo que permitió obtener un gráfico predictivo de mantener el comportamiento de las concentraciones. Dicho mapa hace parte de los insumos para la planificación de estrategias de mitigación y/o prevención de la contaminación del aire.

El mapa de isoconcentraciones se realiza a través de la herramienta de interpolación Kriging, la cual es un método determinístico que utiliza valores medidos, determina la suavidad de la superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersados; esta herramienta está basada en modelos estadísticos que incluyen la autocorrelación, es decir, las relaciones estadísticas entre los puntos medidos. Gracias a esto, las técnicas de estadística geográfica no solo tienen la capacidad de producir una superficie de predicción, sino que también proporcionan alguna medida de certeza o precisión de las predicciones (Environmental Systems Research Institute [ESRI], 2016).

Resultados

Promedio de concentración

De acuerdo con el tratamiento estadístico, se obtuvo para el CC1S1 un total de 3.600 datos, de los cuales el 1,1 % se encuentra fuera del intervalo de confianza (ver Figura 5), esto relacionado directamente con la acumulación esporádica de vehículos en los diferentes puntos de muestreo, de manera que, más del 95 % de los datos se encuentran dentro del intervalo de confianza. Los valores de concentraciones obtenidos giraron alrededor de 0 a 50 ppm, donde los registros mínimos se presentaron principalmente en el punto 1 (pago) y los máximos en el punto 4 (parqueadero de motos).

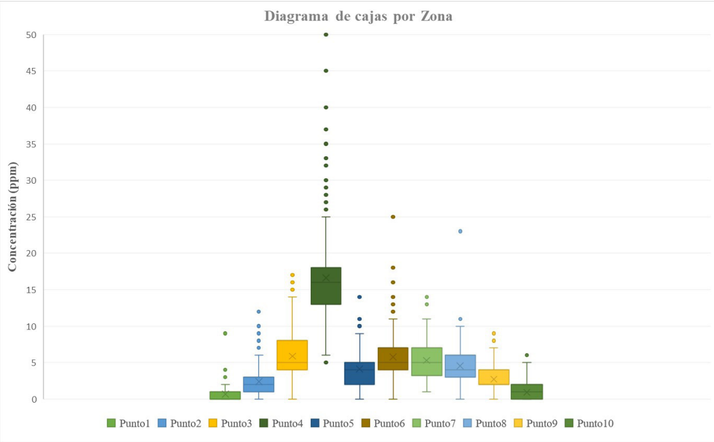


Figura 5. Diagrama de cajas por zona para el centro comercial 1 sótano 1.

Así mismo, se identificó que en los puntos 1(pago) y 10 (zona de carga) se registraron las [CO] más bajas, contrario a lo que sucede en las ubicaciones 3, 4, 6 y 7 (lavadero de autos, acceso a parqueadero de motocicletas, punto donde confluyen motos y automóviles, y acceso peatonal), pues en estos puntos varía entre 4.44 y 17.87 ppm, lo cual está relacionado con las zonas de estacionamiento designadas por la administración y los accesos peatonales al CC.

Esto se refleja principalmente en el punto 4, pues presenta los valores máximos hallados (5-50 ppm), a causa del número de motocicletas que hacen uso del estacionamiento y al hecho de que el registro de ingreso se realiza manualmente, lo que retrasa la entrada de las mismas y hace que se acumulen; de igual manera, se determinó que el día de mayor riesgo para la población permanente es el lunes, ya que se encontró los datos más altos, con [CO] promedio hasta de 17.87 ppm, superando el PELs establecido por la OMS (10 ppm), mientras que para la OSHA (35 ppm) es aceptable.

Por otro lado, se encontró que la hora 3 posee mayor flujo vehicular de acuerdo con lo observado en campo, lo cual se ve reflejado en las concentraciones dadas para ese momento, pues se obtuvo los registros más altos respecto a las otras horas estudiadas, donde el intervalo de 15:30 a 16:30, presenta concentraciones medias hasta de 19.01 ppm, esto para el punto 4 de toma de datos, mientras que el menor registro se encuentra en el punto 1, con una concentración de 0.78 ppm.

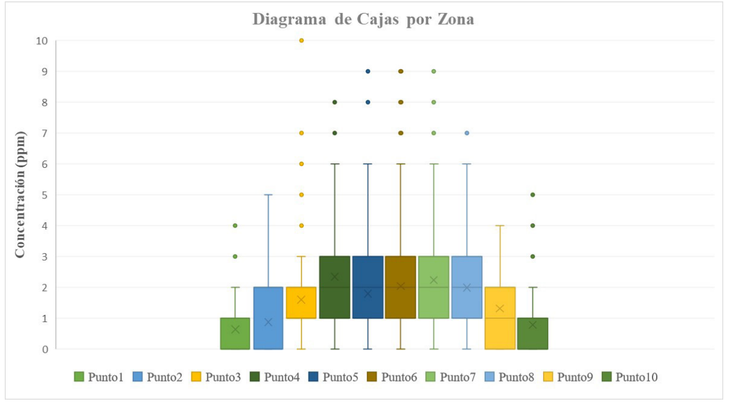


Figura 6. Diagrama de cajas por zona para el centro comercial 1 sótano 2.

Para el CC1S2 se obtuvo un total de 3.240 datos, de los cuales el 0,06 % se encuentra fuera del intervalo de confianza (ver Figura 20), es decir, más del 99 % de estos se encuentran dentro de dicho intervalo. Así mismo, se identificó que las concentraciones halladas son bajas comparadas con las del S1, ya que el registro máximo tomado es de 10 ppm. De igual manera se evidencia que los puntos 4 (bajo el acceso a motocicletas), 5 (acceso peatonal central), 6, 7 y 8 (los últimos tres mencionados se encuentran próximos a la zona de estacionamiento de los autos de renta), presentan comportamientos similares, debido a sus ubicaciones, y en el caso específico del punto 5, se presenta un incremento en los registros a partir del segundo mes, causados por la instalación de un lavadero de autos en seco.

A partir del promedio de concentraciones estimadas, fue posible identificar que en los puntos 4 y 7 se presenta los registros más altos (1.60 a 3.08 ppm), del mismo modo, es posible corroborar que el día de mayor flujo vehicular es el lunes, pues evidencia las concentraciones más altas a lo largo del muestreo, sin embargo, en el caso del intervalo de hora con mayor riesgo es diferente al de S1, debido a que en S2 se encuentra la zona de parqueo de una empresa de renta de autos, los cuales en su mayoría son rentados en las horas de la mañana, generando un mayor flujo de salida en el trascurso de la misma de acuerdo con lo observado.

En cuanto al CC2S1, se obtuvo un total de 5.184 datos, de los cuales 60 se encuentran fuera del intervalo de confianza, es decir, el 1,15 % del total de datos (ver Figura 7), causados por la acumulación de 2 o más vehículos en la misma área, por lo tanto, más del 95 % de los datos obtenidos se encuentran dentro de dicho intervalo. Por otro lado, las concentraciones máximas y mínimas se encuentran en un rango de 0 a 30 ppm, donde los registros más altos se presentaron en los puntos 4, 5 (ubicados cerca a la segunda entrada peatonal al CC) y 6 (acceso a estacionamiento de motocicletas). Para este CC, se identificó que, en los puntos de mayor concentración, el CO tarda más en dispersarse, pues sus niveles mínimos se mantienen en un intervalo de 2 a 6ppm, mientras los demás se mantienen en 0ppm.

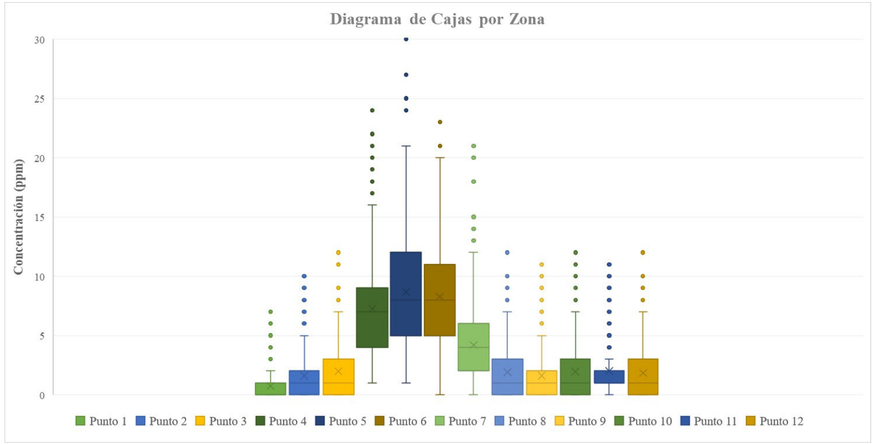


Figura 7. Diagrama de cajas por zona para el centro comercial 1 sótano 1.

En cuanto a los promedios de [CO] se identificó que estos son bajos, pues se encuentran entre 0 y 10ppm, la mayoría de los puntos no presenta valores superiores a 5ppm, mientras que para el punto 4, 5 y 6 se hallaron datos entre 6,81 y 9,21ppm, motivo por el cual se determina que las zonas en las que se encuentran ubicados pueden representar mayor riesgo para la población permanente; de igual manera se reconoce que el día que podría generar mayor riesgo para los empleados por una exposición prolongada es el viernes, en comparación con los días miércoles y sábado, pues presenta los más altos, y aunque no supera los PELs de la OMS (10 ppm) ni de la OSHA (35 ppm), es el día en que se presentan concentraciones promedio de 9.27 ppm.

De acuerdo a los resultados, se identificó que la concentración media horaria más alta se encuentra en el cuarto intervalo horario, esto indica que la población permanente corre mayor riesgo en el transcurso de 17:30 a 18:30, teniendo en cuenta que a esta misma hora existe mayor flujo vehicular, es posible afirmar que este se encuentra directamente relacionado con las acumulaciones del contaminante en el lugar. Así mismo se observa que al igual que reflejan las concentraciones diarias, los puntos con mayor probabilidad de afección son el 4, 5 y 6, presentando los valores más altos de todo el sótano.

Coeficiente de Riesgo

Para el CC1S1 los coeficientes de riesgo (adimensional) obtenidos a partir de los PELs de OSHA se representan en la Figura 22. Donde se evidencia que los valores oscilaron entre 0-0.644 (gracias a la herramienta kriging la cual genera una predicción de los datos, espacialmente a través de la extrapolación de los mismos), de los cueles el máximo está representado en color rojo (0.644), y se observó en el punto 4 (donde también se encuentra la mayor concentración de contaminante, correspondiente a 17.87 ppm). Las áreas en amarillo y naranja corresponden a CR con valores entre 0.226 y 0.515 (próximos a los puntos tres y cinco) y los valores mínimos están representados en tonos de color verde, con valores de CR entre 0 y 0.252.

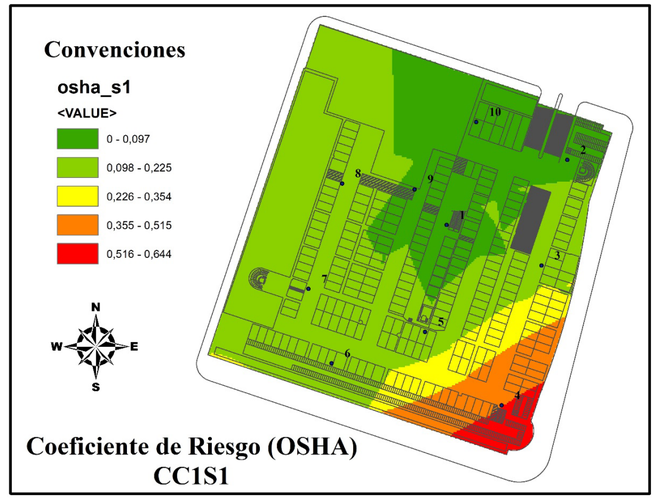


Figura 8. Mapa de riesgos con los valores límites permisibles de exposición establecidos para el CO por la OSHA para el CC1S1.

El mapa de riesgos obtenido a partir de la OMS (ver Figura 9) presentó un CR entre 0.071 y 2.252. Los valores máximos están representados en color rojo (1.69 a 2.252), que se ubican en el punto 4 (estacionamiento de motocicletas); los colores amarillo y naranja corresponden a valores entre 0.677 a 1.689, que se presenta en el punto 6, y próximos al 3 y 5 y hacen referencia a un nivel medio en los valores del coeficiente de riesgo. Finalmente, las zonas representadas en tonos de color verde, como el punto 1 (punto de pago), muestran valores que oscilaron en un intervalo de 0 y 0.644.

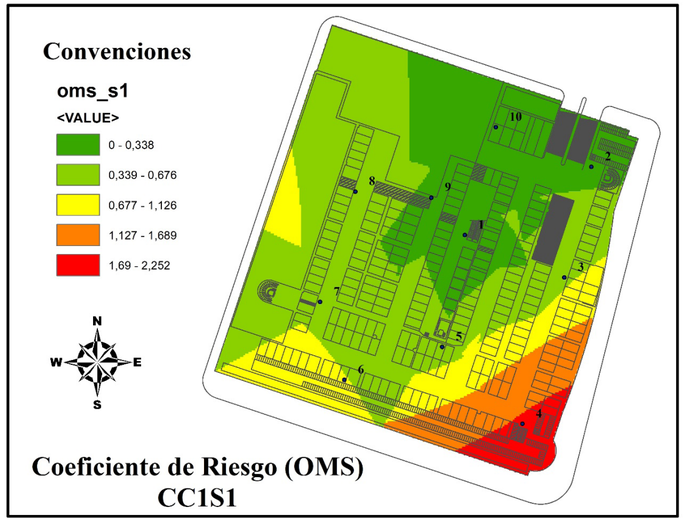


Figura 9. Mapa de riesgos con los valores límites permisibles de exposición establecidos para el CO por la OMS para el CC1S1.

En cuanto a los coeficientes de riesgo obtenidos para el CC1S2, se observó que el más crítico obtenido es de 0.319, esto para la OMS (ver Figura 10), mientras que para OSHA es de 0.091 (ver Figura 11), por tanto, se representa con tonalidades de color verde, debido a que son CR muy bajos comparados con el S1 (2.252 para la OMS y 0.644 para la OSHA), así mismo se evidencia que, los puntos donde se presentan los CR más altos son: 4 (punto inferior a la zona de motocicletas) y 7 (zona de autos de renta y estacionamiento privado de la administración), mientras el punto 1 presenta el coeficiente menos representativo (0.016-0.023), representado por el color verde claro.

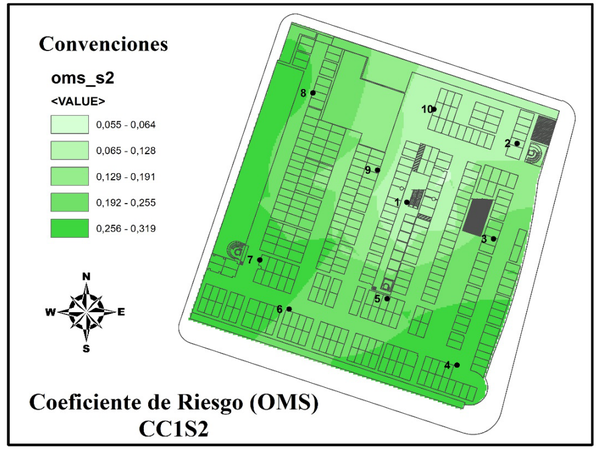


Figura 10. Mapa de riesgos con los valores límites permisibles de exposición establecidos para el CO por la OMS para el CC1S2.

Fuente: Autores.

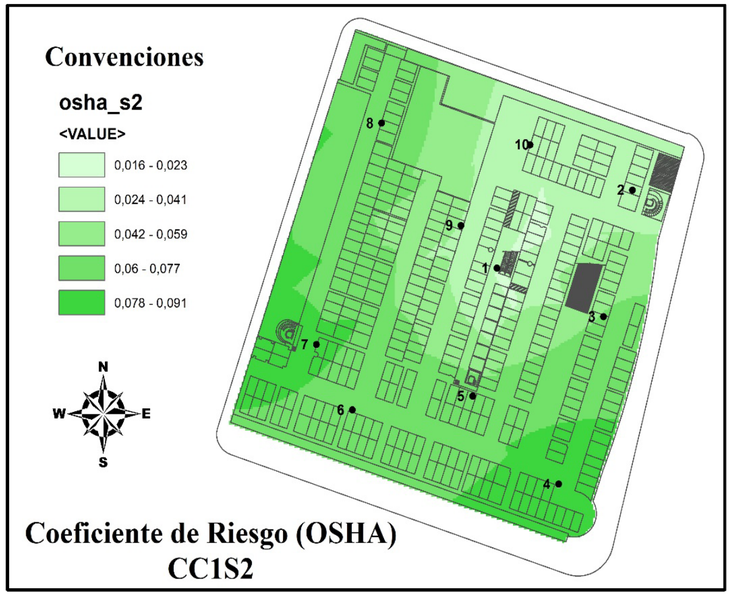


Figura 11. Mapa de riesgos con los valores límites permisibles de exposición establecidos para el CO por la OSHA para el CC1S2.

Fuente: Autores.

Los mapas de isoconcentraciones generados a partir de los coeficientes de riesgo determinados para el CC_2 demuestran que este establecimiento presenta [CO] bajas, pues no presenta mayores a 9.21 ppm, lo que indica que no superan los límites establecidos por la OSHA ni la OMS. Sin embargo, y como lo reflejan los mapas (ver Figura 12 y Figura 13), la OMS es mucho más estricta al establecer un umbral de 10 ppm para un periodo de exposición de 8 horas, lo que se refleja en los porcentajes de riesgo en los puntos más críticos (4, 5 y 6), superando el 70 % de riesgo, por esta razón presenta una gama de colores mucho más fuertes (rojo y naranja).

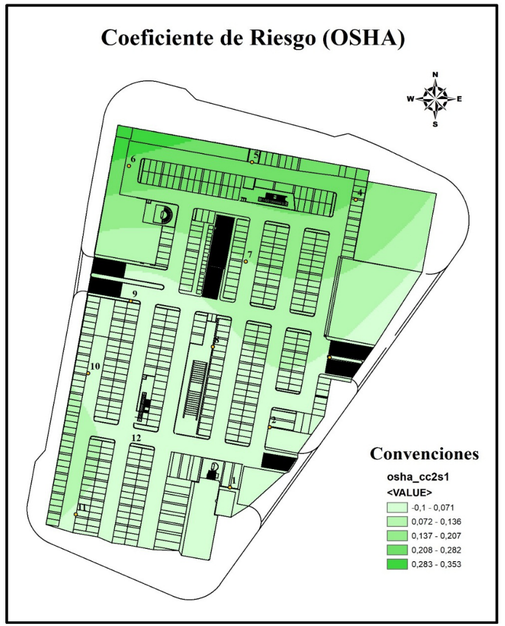


Figura 12. Mapa de riesgos con los valores límites permisibles de exposición establecidos para el CO por la OSHA para el CC2S1.

Fuente: Autores.

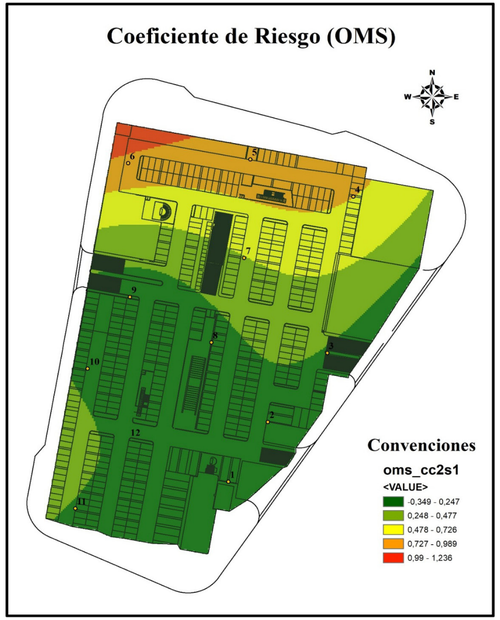


Figura 13. Mapa de riesgos con los valores límites permisibles de exposición establecidos para el CO por la OMS para el CC2S1.

Fuente: Autores.

Discusión

La toma de datos se realizó por intervalos de horas a lo largo de la jornada laboral diurna (8 horas), ya que es el periodo en que se hace uso de estos espacios en los CC, con el fin de conocer el comportamiento de la concentración de monóxido de carbono al que se encuentra expuesta la población permanente de las áreas de estudio.

En las Figura 12 y Figura 13 se observa el comportamiento de la [CO] a través del coeficiente de riesgo, donde se evidencia que los límites establecidos por las dos entidades referentes son bastante variables, ya que con la OSHA el riesgo al que se encuentra expuesta la población no sobrepasa el 30 %, mientras que para lo la OMS se supera el umbral. Así mismo, es posible identificar que el mayor riesgo se presenta en el punto 4, debido al tiempo que toma realizar el registro manual del acceso y salida del estacionamiento de motocicletas, generando una acumulación de las mismas. En cuanto al CC1S2, se evidencia que las concentraciones son mínimas, por lo cual no representan riesgo alguno para la salud de la población.

Por otro lado, para CC_2 se observó que, las concentraciones no superan los límites establecidos por las dos organizaciones concernientes al estudio. Esto indica que el centro comercial posee una buena ventilación que permite dispersar con mayor efectividad las [CO] que emiten los vehículos. Sin embargo, es recomendable que se aplique estrategias de prevención que permitan tener un buen ambiente laboral; es decir, que se genere condiciones que aseguren que la población permanente no presentará ninguna afección futura.

Se debe tener en cuenta que, por ser sótanos destinados al estacionamiento de vehículos, no es posible reducir o eliminar la fuente de contaminación, por tanto, se recomienda a los CC hacer un mejor uso de sus sistemas de extracción e inyección de aire, pues no son utilizados en su totalidad. Para el CC_1 se recomienda la instalación de un sistema de ventilación localizada para el área de estacionamiento de motocicletas. Estos sistemas de ventilación funcionan capturando el contaminante en la propia fuent, o lo más cerca posible de ella y se evacúa al exterior (Liébana y Hernández, 2001). De no ser posible, se recomienda reubicar esta zona a un espacio donde acceda mayor flujo de aire, pues el sistema de extracción de aire no es suficiente para disminuir las concentraciones en este espacio, de la misma manera, se hace necesario realizar el mantenimiento del mismo, pues solo 2 de los 4 extractores se encuentran en funcionamiento, los cuales servirían de apoyo en las horas pico, que es cuando se presentan los registros más altos.

Otra estrategia de mitigación es la ventilación por desplazamiento, la cual inyecta aire en un recinto, de manera que el aire fresco desplaza el ya existente sin mezclarse con él (Liébana y Hernández, 2001). Para este centro comercial, se requiere el cambio del sistema de registro de la entrada y salida a esta zona, evitando así la acumulación de motos, pues es una de las principales causas de los altos registros.

En cuanto al CC2 se recomienda crear un sistema rotativo, donde los trabajadores que mantienen en un punto fijo puedan cambiar de ubicación, con el fin de no estar las 8 horas laborales en la misma zona, teniendo en cuenta que este centro comercial solo tiene un área significativa con altos porcentajes de riesgo, lo que permitiría prevenir cualquier tipo de afección a los trabajadores que prestan sus servicios en dicho espacio.

Conclusiones

La emisión de [CO] en parqueaderos cerrados de centros comerciales de la ciudad de Villavicencio, presenta mayor intensidad en el CC1 en comparación con el CC_2, esto se debe a las condiciones de ventilación que posee cada uno, pues el primero solo cuenta con ventilación por extracción, mientras que el segundo tiene ventilación natural y de extracción, así mismo, el mecanismo de acceso y salida vehicular es otro factor que ayuda a incrementar los niveles de concentración, pues mientras que en el CC_1 se registra automáticamente los autos y manualmente las motocicletas, el CC_2 se realiza de manera automática ambos casos.

De acuerdo con lo identificado en el CC_1, se determina que se deben utilizar estrategias de mitigación y prevención de la contaminación en interiores, tales como la implementación de sistema de ventilación mecánica localizada y ventilación por desplazamiento, así como programar horarios para alternar el personal de trabajo que se ubica en los puntos fijos, especialmente en el punto cuatro, ya que es donde se presenta el mayor riesgo.

Finalmente, el CC_2 presenta bajas [CO], debido a la buena ventilación natural que posee, por tanto, no representa ningún riesgo para población permanente de acuerdo a lo recomendado por la OMS y la OSHA, sin embargo, no esta demás aplicar estrategias preventivas que aseguren un buen ambiente laboral, entre estas hacer uso de los sistemas de inyección y extracción de aire existentes.

Referencias

Bereguer, J. & Solé, C. (1990). Calidad del aire en los ambientes cerrados. *Salud y Trabajo* (81), 28-37. Recuperado de https://www.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/en/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=1009981

Buitrago, J. y Velásquez, M. (2014). Analisis del riesgo ocupacional asociado a la presencia de monóxido de carbono mediante un sistema grafico. *Journal of Technology, 13*(1), 132-138.

Carmona, J. (2009). Infección respiratoria aguda en relación con la contaminación atmosférica y otros factores ambientales. *Archivos de medicina (Col), 9*(1), 69-79.

Crowl, D. & Louvar, J. (2002). *Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications* (2.ª ed.). New Jersey: Prentice Hall PTR.

Environmental Systems Research Institute. (2016). Cómo funciona el Kriging. Recuperado de http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-kriging-works.htm

Franco, J. (2012). Contaminación atmosférica en centros urbanos. Desafío para lograr su sostenibilidad: caso de estudio Bogotá. *EAN* (72), 193-204.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM. (2014). Emisiones por fuentes moviles. Recuperado de http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/emisiones-por-fuentes-moviles

Liébana, A. y Hernández, A. (2001). El aire en interiores: métodos de control y depuración. En J. G. Farrás (Ed.). *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo* (pp. 45.1-45.11). España: INSST (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo).

Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía. (2011). Calidad del Aire Interior. Recuperado de https://www.diba.Organización Mundial cat/c/document_library/get_file?uuid=c7389bc9-6b7b-4711-bdec-3ead4bc9a68b&groupId=7294824

Organización Mundia de la Salud (OMS). (27 de septiembre de 2016). La OMS publica estimaciones nacionales sobre la exposición a la contaminación dela ire y sus repercusiones para la salud. Recuperado de http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2016/air-pollution-estimates/es/

Sánchez-Triana, E., Ahmed, K. y Awe, Y. (2006). *Prioridades ambientales para la reducción de la pobreza en Colombia, Un análisis ambiental del país para Colombia.* Bogotá: Mayol Ediciones S.A.

Téllez, J., Rodríguez, A. y Fajardo, Á. (2006). Contaminación por Monóxido de Carbono: un Problema de Salud Ambiental. *Salud pública, 8*(1), 108-117.

Evaluación de Fuentes alternativas de agua para abastecimiento de ciudades intermedias bajo escenarios de sequía – Caso San Juan de Pasto

Gloria Lucía Cárdenas Calvachi[86]
Francisco Ricardo Mafla Chamorro[87]
Paola Sofía Paz Enríquez[88]
David Ricardo Javier Realpe Cabrera[89]

Resumen

Las ciudades afrontan escasez de agua en épocas de sequía, debido al crecimiento demográfico, deforestación, mal uso del recurso y fenómenos de variabilidad climática, alterando el caudal de las fuentes abastecedoras. Esto lleva a encontrar fuentes alternativas, que permitan el abastecimiento bajo escenarios de sequía, sin afectar el caudal ecológico de las fuentes. Para la búsqueda de alternativas se actualizó y consolidó una base de datos meteorológicos, hidrológicos e hidráulicos, de infraestructura y de políticas de gestión de los principales sistemas hídricos abastecedores de la ciudad, estableciendo diferentes escenarios potenciales de oferta y demanda esperables en los distintos sistemas hídricos, para simular en un modelo, la optimización del funcionamiento del sistema con base en la oferta y demanda del recurso. Las simulaciones fueron realizadas con el software WEAP, donde se encontró demanda insatisfecha y consumo del caudal ecológico en varios periodos entre los años 2009 y 2015. Por otro lado, a futuro se determinó la demanda insatisfecha hasta el año 2070, la cual será de 57.52 mm3, lo cual indica que es necesario buscar alternativas que tengan una oferta adicional a 1.82 m3/s. En las simulaciones se planteó cinco fuentes y se utilizó la metodología multicriterio-multiobjetivo para la selección definitiva, donde sobresalió el Río Opongoy con un caudal medio de 4.87 m3/s y, pese a que este caudal es mayor al necesario, se tiene en cuenta el caudal ecológico, los periodos de sequía y el crecimiento poblacional en la cuenca de la fuente; con esto se determinó un abastecimiento para la ciudad hasta el año 2050, sin presentar periodos de escasez.

Palabras clave: abastecimiento de agua, balance hidrológico, modelación ambiental, recurso hídrico, sequía.

[86] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: glucardenas@umariana.edu.co

[87] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: fmaffla@umariana.edu.co

[88] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: sofipaz06@hotmail.com

[89] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: davrealpe@umariana.edu.co

Evaluation of alternative sources of water for supplying intermediary cities under drought scenarios – Case San Juan de Pasto

Abstract

Cities face shortages of water in times of drought, due to population growth, deforestation, misuse of the resource and climatic variability phenomena, altering the flow of supply sources, which leads to finding alternative sources that allow the supply, under drought scenarios without affecting the ecological flow of the sources. For the search for alternatives, a database of meteorological, hydrological and hydraulic, infrastructure and management policies of the main water supply systems of the city was updated and consolidated. In this way, it was possible to establish different potential scenarios of expected supply and demand in the different water systems, to simulate in a model, the optimization of the system's operation based on the supply and demand of the resource.

The simulations were carried out with the WEAP software, finding unsatisfied demand and consumption of the ecological flow in several periods between 2009 and 2015. On the other hand, in the future, the unsatisfied demand was determined until the year 2070, which will be 57.52 mm3; this indicates that it is necessary to look for alternatives that have an additional offer at 1.82 m3 / s. In the simulations, five sources were raised and the multicriteria-multiobjective methodology was used for the definitive selection. Opongoy River stood out with an average flow of 4.87 m3 / s and, although this flow is greater than necessary, the ecological flow, periods of drought and population growth in the source basin were considered; with this a supply for the city was determined until the year 2050, without presenting periods of shortage.

Key words: Water Supply, Hydrological Balance, Environmental Modelling, Water Resource, Draught.

Avaliação de fontes alternativas de Água para o fornecimento de cidades intermediárias em cenários de seca - Caso San Juan de Pasto

Resumo

As cidades enfrentam escassez de água em tempos de seca, devido ao crescimento demográfico, desmatamento, uso indevido dos recursos e fenômenos de variabilidade climática, alterando o fluxo de fontes de abastecimento. Isso leva a encontrar fontes alternativas, que permitem o fornecimento em cenários de seca, sem afetar o fluxo ecológico das fontes. Para a busca de alternativas, foi atualizado e consolidado um banco de dados de políticas meteorológicas, hidrológicas e hidráulicas, de infraestrutura e gestão dos principais sistemas de abastecimento de água da cidade. Dessa forma, foi possível estabelecer diferentes cenários potenciais de oferta e demanda esperadas nos diferentes sistemas hídricos, para simular em um modelo a otimização da operação do sistema com base na oferta e demanda do recurso.

As simulações foram realizadas com o software WEAP, encontrando demanda e consumo insatisfatórios do fluxo ecológico em vários períodos entre 2009 e 2015. Por outro lado, no futuro, a demanda insatisfeita foi determinada até o ano 2070, que será de 57,52 mm3; isso indica que é necessário procurar alternativas que tenham uma oferta adicional a 1,82 m3 / s. Nas simulações, foram levantadas cinco fontes e a metodologia multicritério-multiobjetivo foi utilizada para a seleção definitiva. O rio Opongoy se destacou com vazão média de 4,87 m3 / s e, embora seja maior que o necessário, foram considerados vazão ecológica, períodos de seca e crescimento populacional na bacia; com isso, foi determinado o suprimento para a cidade até 2050, sem apresentar períodos de escassez.

Palavras-chave: abastecimento de água, balanço hidrológico, modelagem ambiental, recursos hídricos, seca.

Introducción

El recurso hídrico es de vital importancia para el ambiente, debido a que este presta diferentes servicios ambientales, uno de los más importantes es el de abastecimiento, tanto para la dinámica natural como para el sustento de la vida, sin embargo, el ser humano ha utilizada dicho recurso de manera insostenible, alterando el balance hídrico en los ecosistemas a nivel mundial y, por ende, limitando la oferta de agua dulce en las fuentes. Sumado a esto, en la actualidad existen otros factores que alteran la disponibilidad del agua, como: la contaminación de las fuentes hídricas, el cambio climático, fenómenos naturales (Niño y Niña), sobreexplotación de

recursos, deforestación, etc., lo cual ha ido generando conciencia alrededor del mundo, impulsando la formulación de estrategias de planificación de este valioso recurso, mediante el uso de diferentes herramientas que permiten contemplar, estudiar y diseñar planes de uso y manejo del agua. Entre las herramientas que se emplean, se encuentran múltiples métodos y metodologías como los modelos matemáticos.

La ciudad de San Juan de Pasto se encuentra rodeada de páramos y con estos sus respectivos cuerpos de agua, sin embargo, la ciudad no está exenta de sufrir escasez del recurso, como ya se ha vivido en periodos en los cuales se ha tenido que realizar razonamiento de agua, tal como ocurrió a inicios de los años 90. Por otro lado, la ciudad ha tenido un crecimiento de un 3,005 % de la población, lo cual indica que en los años futuros las fuentes actuales que abastecen la ciudad no serán suficientes para satisfacer la demanda.

Para la búsqueda de fuentes alternativas fue necesario enfocarse en el estudio de las cuencas vecinas que se encuentran dentro del límite municipal, mediante metodologías de isoyetas e isotermas a partir de datos meteorológicos, además de los caudales registrados de las estaciones que se encuentran en el área de estudio, calculando a su vez el caudal ecológico para cada fuente. La información fue recopilada e ingresada en el modelo WEAP, en el cual se simularon las posibles fuentes abastecedoras de la ciudad de Pasto junto con el sistema actual de abastecimiento. Estas fuentes fueron evaluadas mediante el análisis multicriterio-multiobjetivo, y posteriormente se simuló la mejor opción para analizar su comportamiento.

En esta investigación se evaluaron 5 alternativas, de las cuales la que presentó el mayor valor mediante el análisis multicriterio-multiobjetivo fue la del río Opongoy, con un caudal medio de 4.87 m3/s, esta fuente podría a abastecer a la ciudad de Pasto hasta el año 2050, llegando a abastecer alrededor de 530.000 habitantes.

Para garantizar la cantidad no solo es necesario buscar fuentes sino concienciar a la población para tener un uso adecuado del recurso, puesto que una gran cantidad de la población desperdicia el recurso en distintas actividades, como aseo personal, limpieza en las casas, lavado de carros, etc., utilizando mayor cantidad de agua de la necesaria. La ciudad de Pasto tiene un consumo per cápita de 138.8 m3/s, 134.4 m3/s y 724.047 m3/s para las plantas de Centenario, Mijitayo y San Felipe respectivamente, cabe señalar que en San Felipe existen grandes pérdidas y captaciones ilegales. El consumo de las primeras plantas se encuentra por debajo de la dotación que se establece en la norma de 150 l/s. Si en la ciudad de Pasto, la población hace un uso eficiente del agua, se podría disminuir el consumo per cápita, permitiendo que haya disponibilidad del recurso por más años, siempre y cuando se conserven las coberturas en los nacimientos y parte alta de cada cuerpo de agua.

Metodología y Resultados

Actualización y consolidación de una base de datos meteorológica, hidrológica, de infraestructura hidráulica y de políticas de manejo y gestión de los principales sistemas hídricos abastecedores de la ciudad

Metodología

Estos datos se deben obtener de estaciones hidrometeorológicas que se encuentren dentro-cerca del área de estudio, para la selección de las estaciones se debe considerar altitud, cercanía y cantidad de datos, que al menos tengan 10 años de registro. Por otro lado, se puede presentar que los datos no se encuentren completos, es decir, que haya datos faltantes en meses o años de estudio, para esto se debe realizar un relleno de los mismos.

Relleno de datos. Según el parámetro se toman distintos métodos, los cuales se presentan a continuación:

$$Px = \frac{Pm * \left[\frac{PA}{PmA} + \frac{PB}{PmB} + \frac{PC}{PmC} + \frac{Pn}{Pmn}\right]}{n} \quad (1)$$

Donde:

Px: Precipitación mensual a estimar

PA,B,C: Precipitación del mes reportado por estaciones vecinas.

P mA, mB, mC: Precipitación media anual de cada estación

n: Número de estaciones (CORPONARIÑO, 2008a).

Temperatura. Para este parámetro es necesario realizar regresiones para utilizar la ecuación que se adapte al comportamiento, para esto se utiliza el software STATGRAPHICS® Plus 5.0., adoptando como variable independiente la temperatura media mensual de las estaciones cercanas a la estación con datos faltantes, asumiendo esta última como la variable dependiente. Este software permite contemplar diferentes modelos lineales con su respectivo R-cuadrado, razón por la que se escoge el modelo que posee el R-cuadrado más alto para cada dato faltante.

Cálculo de precipitación y temperatura media. El cálculo de la precipitación se lleva a cabo mediante la metodología de isoyetas (precipitación) e isotermas (temperatura), con ayuda del software ArcMap para cada una de las áreas limitadas aguas arriba de las bocatomas.

Determinación de épocas de sequía. Para esto es necesario tomar como base estudios previos o planes realizados en el área de estudio, sin embargo, se apoya mediante la herramienta de coeficiente pluviométrico, el cual permite indicar periodos de sequías, normales o húmedos, mensuales o anuales.

Coeficiente Pluviométrico (Cp). Se toma como base el número 1 (uno), el cual corresponde a la precipitación media, con esto se determina los meses húmedos cuando Cp>1 y secos cuando Cp<1.

$$Cp = \frac{\left[\frac{Pm}{\#\ días\ mes}\right]}{\left[\frac{PA}{365}\right]} \quad (2)$$

Donde:

Cp: Coeficiente pluviométrico (adimensional).
Pm: Precipitación media mensual multianual del mes especifico (mm).

PA: Precipitación anual de la serie (mm).

Información Hidráulica: Corresponde al sistema de abastecimiento (Acueducto) actual del área de estudio, donde se resalta el caudal total de distribución a la población de la/las plantas de tratamiento con que se cuente.

Resultados

Se analizaron 13 estaciones meteorológicas, las cuales cumplían con un mínimo de 24 años registrados. Con esto se construyeron Isoyetas e Isotermas para determinar el coeficiente pluviométrico (ver Figura 1).

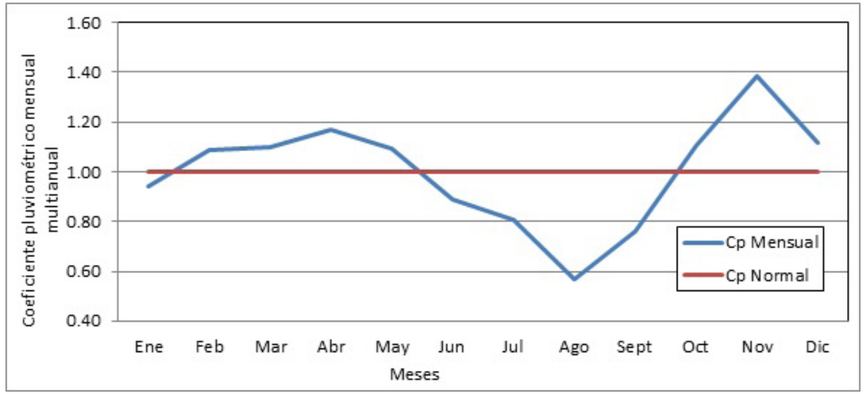


Figura 1. Coeficiente pluviométrico.

Es notorio que la zona de estudio posee cinco meses secos (enero, junio, julio, agosto y septiembre), lo cual corresponde aproximadamente al 42 % del año, meses en los cuales puede presentarse problemas de escases, limitando no solo el servicio de abastecimiento hídrico, sino también energético, puesto que la energía que abastece a la ciudad es proveniente de hidroeléctricas. Por otro lado, se indica el esquema de consumo de la ciudad, el cual permitirá analizar el comportamiento de las fuentes abastecedoras con el sistema actual y futuro (ver Figura 2).

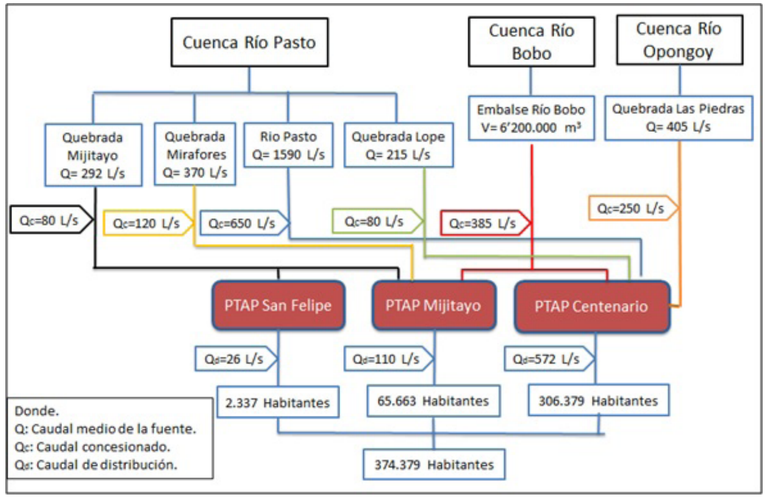


Figura 2. Esquema de abastecimeinto actual.

Establecimiento de diferentes escenarios potenciales de oferta y demanda esperables en los distintos sistemas hídricos

Demanda

Se establece diferentes metodologías dependiendo de la demanda a calcular, además es necesario tener en cuenta que algunas de éstas se encuentran arriba de las bocatomas, lo cual es de vital importancia, puesto a que afectan el comportamiento de las fuentes abastecedoras en los puntos de captación.

Demanda doméstica. Se determina a partir de los censos poblacionales de la ciudad y de poblaciones aledañas, para realizar una proyección a partir del último censo hasta los años que se van a plantear en el modelo. Para realizar la proyección de población se puede utilizar el método exponencial (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000)

$$P_f = P_{ci} \times e^{k \times (T_f - T_{ci})} \quad (3)$$

Donde:

P_f: Población Futura estimada.
P_{cp}: Población censo posterior.
P_{ca}: Población censo anterior.
P_{ci}: Población censo inicial.
T_f: Tiempo futuro (año).

$$k = \frac{LnP_{cp} - LnP_{ca}}{T_{cp} - T_{cag}} \quad (4)$$

T_{cp}: Tiempo del censo posterior (año).
T_{ca}: Tiempo del censo anterior (año).
T_{ci}: Tiempo del censo inicial (año).
k: Tasa de crecimiento anual promedio para cada par de censos.

Una vez obtenida la población futura, se toma el valor del consumo per cápita, calculado con base en los datos brindados por la macro y micro medición registrado en las plantas de tratamiento de agua potable, que varían dependiendo de la planta y la época del año. Los resultados de cada una de las plantas se ingresan al modelo junto con la cantidad de habitantes abastecidos por cada planta y la tasa de crecimiento, con el fin de conocer con mayor exactitud la demanda en cada una de estas.

Demanda Agrícola. Este tipo de demanda generalmente es abordado aguas arriba de cada una de las bocatomas, razón por la cual es necesario obtener información de coberturas de suelo, con el propósito de calcular la demanda que poseen determinados tipos de cultivos, mediante la siguiente ecuación.

$$DUA = [P - (ETP * kc)] * ha \quad (5)$$

Donde:

DUA: Demanda de agua agrícola.
P: Precipitación.
ETP: Evapotranspiración potencial.
kc: Coeficiente de uso de agua del cultivo.
ha: Número de hectáreas cultivadas.

Los coeficientes de cultivo usados son los establecidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (Allen, Pereira, Raes y Smith, 2006). Adicionalmente, esta demanda se ingresa en el modelo como el consumo anual por hectárea, mediante la ecuación 6.

$$CH_{A,B,C} = \left[\frac{D_{A,B,C}}{A_{A,B,C}}\right] \quad (6)$$

Donde:

$CH_{A,B,C}$: Consumo por hectárea (m³/Año/Ha)
$D_{A,B,C}$: Demanda anual (m³/Año)
$A_{A,B,C}$: Área (Ha)

Demanda pecuaria. Se calcula con el modelo WEAP con base en datos de concesiones para este tipo de uso, cuando no se poseen datos específicos de censos pecuarios, en caso de tener los datos, se calcula el consumo per cápita por especie y se ingresan al modelo como la tasa anual de uso del agua, determinada a partir de la siguiente ecuación:

$$TAU_{A,B,C} = \left[\frac{\sum Qd_{A,B,C}}{Nd_{A,B,C}}\right] \quad (7)$$

Donde:

$TAU_{A,B,C}$: Tasa anual de uso (m³/Año).
$Qd_{A,B,C}$: Caudal demanda A, B, C (m³/Año).
$Nd_{A,B,C}$: Número de demandas concesionadas.

Demanda de agua sector servicios e industrial: Generalmente dentro de los usuarios inscritos a las empresas de acueducto se encuentran los usuarios de servicios, por lo tanto, el cálculo de esta demanda se cálcula dentro de la domestica. Sin embargo, se puede obtener el caudal según el servicio con la micromedición de la entidad. Por otro lado, la industrial se obtiene por concesiones.

Oferta

Para el cálculo de la oferta es necesario tener en cuenta las demandas ubicadas aguas arriba de las fuentes abastecedoras, lo cual se determina mediante datos de concesiones, datos de censos poblacionales y salidas de campo. Esta se determina mediante un caudal de producción en la cuenca.

Caudal de producción. Este caudal corresponde a la cantidad de agua aportada por área en una cuenca, se calcula para las fuentes en las que se cuenta con estaciones hidrologicas, con el fin de ingresar al modelo datos que arrojen resultados cercanos a los valores reales. Para el cálculo se desarrolló la siguiente ecuación:

$$Qp = Ai * \left[\frac{Qr + Da + Db + Dc + Dn}{At}\right] \quad (8)$$

Donde:

Qp: Caudal de producción (m³/s).
Qr: Caudal real (tomado en la estación) (m³/s).
D a,b,c,n: Demandas aguas arriba de las bocatomas (m³/s).
Ai: Área a determinar caudal (m²).
At: Área total (m²).

Los datos de oferta obtenidos del modelo se compararon en los puntos de captación con los datos reales arrojados por cada estación como método de calibración.

Caudal Ecológico. El caudal requerido es el caudal mínimo que debe conservar la fuente para no perjudicar los procesos fisicoquímicos y biológicos, por lo tanto, este debe conservarse y no se debe tomar cantidad de agua que altere la cantidad del caudal. Se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$Q_{eco} = Q_{min} \times 0{,}25 \quad (9)$$

$$r_i = 0{,}05 \times Q_i \quad (10)$$

$$Q_{req} = Q_{eco} + r_i \quad (11)$$

Donde:

Q_{eco}: Caudal ecológico (m³/s).
Q_{min}: Caudal mínimo de los medios mensuales multianuales (m³/s).
r_i: Reducción por calidad (m³/s).
Q_i: Caudal mensual (m³/s).
i: Mes del año.
Q_{req}: Caudal requerido para la fuente (m³/s) (Ministerio de Ambiente, 2004).

Año agua: Esta herramienta del modelo WEAP, es utilizada para programar la simulación dependiendo del tipo de año, es decir, muy húmedo, húmedo,

normal, seco, muy seco. En esta herramienta se asume que el año "normal" toma el valor promedio para el año de estudio.

$$Caa = \frac{Q_m}{Q_A} \quad (52)$$

Donde:

C_{aa}: Coeficiente año-agua.
Q_m: Caudal medio del año específico (m^3/s).
Q_A: Caudal medio multianual (m^3/s).

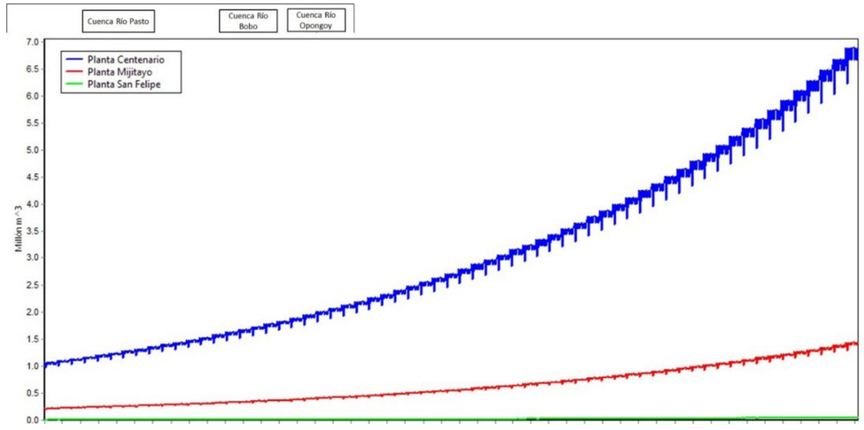


Figura 3. Demanda por planta.

Una vez establecidas las secuencias posibles se realizan dos simulaciones, una sin tener en cuenta el caudal ecológico y otra contemplando esta importante herramienta de gestión.

Resultados

Se determinó la tasa de crecimiento anual, la cual fue del 3.005 %, cuyo valor se ingresó al modelo para la proyección futura. Por otro lado, se conoce que dentro de la ciudad se cuenta con cerca del 98 % de cobertura del servicio de agua potable por las tres plantas (ver Tabla 1). Luego de hacer la simulación, se obtuvo la demanda de la ciudad de Pasto, la cual se indica para cada una de las plantas en la Figura 3.

Tabla 1. *Consumo promedio de agua per cápita por estación*

Planta	Habitantes	Consumo Promedio L/ día/hab	m3/año/hab
Centenario	306716	138.804	50.664
Mijitayo	65706	134.476	49.084
San Felipe	2351	724.047	264.277

Se observa que la demanda de la ciudad de Pasto hasta el año 2070, que en dicho año se tendrá 2.567 m3/s, 0.534 m3/s y 0.019 m3/s para las plantas Centenario, Mijitayo y San Felipe respectivamente, para un total de 3.123 m3/s. Cabe aclarar que actualmente la planta de San Felipe tiene un suministro de 0.026 m3/s, lo cual corresponde al consumo doméstico, pérdidas y captaciones, por lo tanto, al ajustar en el modelo un consumo per cápita igual al suministrado por la planta Mijitayo, se tiene una distribución en la planta de San Felipe para el presente año de 3.6 l/s y para el año 2070 de 18.99 l/s.

Además de la demanda poblacional, se determinó la demanda aguas arriba de las bocatomas del sistema actual de abastecimiento de agua para cada uno de los sectores: agrícola, pecuario, industrial y servicios. Lo anterior, con el fin de determinar el caudal ecológico de cada una de las fuentes, partiendo de la oferta por balance hidrológico de cada una de las áreas. Con esto se determinó la demanda insatisfecha para cada una de las plantas por medio de la simulación hasta el **año** 2070 (ver Figura 4).

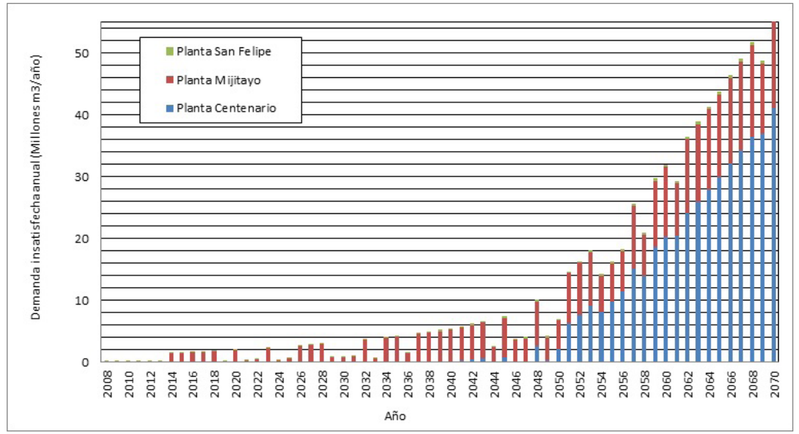


Figura 4. Demanda Insatisfecha.

Simulación en el modelo WEAP la optimización del funcionamiento del sistema con base en la oferta y demanda del recurso

Preselección de posibles fuentes alternativas

Se toman áreas cercanas a la ciudad, a las cuales se les realiza el estudio hidrometeorológico a partir de los datos de las estaciones cercanas o dentro de estas áreas. Posteriormente, se traza un marco que cubra las estaciones y que contenga dentro de este la cuenca o cuerpo de agua a esudiar. Este marco se elabora mediante un *shapefile* en ArcMap, con el fin de construir las isoyetas e isotermas en cada una de las nuevas áreas de estudio y así obtener valores medios de precipitación y temperatura. Para las alternativas es necesario realizar este cálculo, debido a que las cuencas por más cerca que se encuentren presentan comportamiento distinto en la cantidad del recurso, por lo tanto, se deben determinar los periodos secos y húmedos.

Escurrimiento multianual. Se toman los valores medios anuales de caudal de las estaciones hidrológicas en cada área de estudio mencionadas. Cuando no se cuenta con la información completa de las estaciones se realizan balances hidrólógicos anuales, donde se utilizan los valores medios totales anuales calculados en cada una de las isotermas e isoyetas, con el fin de observar el comportamiento completo multianual en el periodo de años seleccionado, así:

$$\frac{dV}{dT} = E - S \qquad (63)$$

Donde:

dV/dt: Es la Variación del volumen en un tiempo específico (Volumen/tiempo).

E: La suma de las entradas de agua (Volumen/tiempo).

S: La suma de las salidas de agua (Volumen/tiempo). (Aparicio, Lafragua, Gutiérrez, Mejía y Aguilar, 2006).

Las entradas y salidas corresponden a todos los afluentes y efluentes que se conectan con el cuerpo de agua. Cuando no se cuente con estación hidrológica, se realiza balance hidrológico y se representa de la siguiente manera:

$$Escurrimiento\left(\frac{mm}{año}\right) = Precipitación\left(\frac{mm}{año}\right) - Evapotransíración\left(\frac{mm}{año}\right) \qquad (74)$$

Simulación con el Modelo WEAP

Este modelo permite simular la escorrentía del agua, lo cual es útil en la planeación del recurso hídrico a partir de información en formatos GIS, Excel y cvs.

Simulación del estado actual del sistema de abastecimientos

Antes de iniciar la simulación, se introducen los datos y la información de las posibles fuentes alternativas, shapes de las cuencas seleccionadas y sus respectivas fuentes, áreas de cobertura, centros poblados, demandas agrícolas, posibles puntos de bocatomas, caudales, consumo, caudal ecológico, etc. A estas fuentes se les realiza la calibración para de tener un valor similar al medido por las estaciones hidrológicas. Una vez preseleccionadas las fuentes, se agrega al modelo.

Esta Simulación se realiza inicialmente para determinar el caudal de agua que es conducido a cada planta de tratamiento del sistema actual y la demanda insatisfecha durante el periodo de años futuros establecidos en el software. Con este resultado, se toma el mayor valor anual de la demanda insatisfecha, con el fin de calcular el área de escurrimiento necesario de las posibles fuentes alternativas que permitan abastecer dicha demanda hasta dicho año. Para lo cual se utiliza las siguientes ecuaciones:

$$A_e = \frac{Q_{di}}{Q_{pd}} \qquad (15)$$

$$Q_{pd} = \frac{(Q_{ma} - Q_{ec})}{A_e} \qquad (16)$$

Donde:

Q_{pd}: Caudal de producción medio disponible en el área de escurrimiento de la fuente alternativa ($m^3/s/km^2$).
Q_{ma}: Caudal medio multianual de la fuente alternativa (m^3/s).
Q_{ec}: Caudal ecológico medio de la fuente alternativa (m^3/s).
Q_{di}: Caudal de la demanda insatisfecha (m^3/s).
A_{en}: Área de escurrimiento necesario de la fuente alternativa (km^2).
A_e: Área de escurrimiento de la fuente alternativa (km^2).

Al tener calculada el área necesaria, se analizan espacialmente las fuentes por medio del programa ArcMap y se ubica el lugar de una posible bocatoma. Posteriormente, se conecta cada una de las potenciales fuentes de agua al sistema de abastecimiento de la ciudad para analizar la demanda insatisfecha de agua hasta el año simulado, garantizando la disponibilidad del recurso.

Simulación de escenarios

Se realiza la simulación independientemente con cada una de las alternativas en archivos por separado, la cual se lleva a cabo de dos maneras, la primera sin establecer un límite máximo de caudal a ser conducido a cada planta, es decir, que desde el punto de cada una de las posibles bocatomas se trazan las conducciones a cada una de las plantas, llevando cantidades distintas de caudal según la demanda en cada una de éstas. Una vez identificado el caudal máximo extraído de la bocatoma, se calcula el máximo valor a ser conducido a cada planta. La segunda manera se realiza ingresando el límite calculado en las conducciones mencionadas.

Al realizar la simulación se extraen los datos de caudal para ser analizados, con el objetivo de determinar la cantidad máxima de agua que puede ser extraída de cada fuente alternativa, para esto se elaboran gráficas anuales y mensuales del caudal total; primero se analiza el comportamiento anual, para determinar cuál es el año en el que se presenta mayor caudal y posteriormente la gráfica mensual de dicho año, puesto a que a lo largo del año no se tiene el mismo caudal. Se toma el máximo valor mensual, siendo este el valor límite a ser conducido a las plantas, debido a que el caudal total del mes está en unidades de metros cúbicos, al mes se realiza la siguiente operación:

$$Q_{max} = \frac{Q_{tot}}{86400 * n_d} \qquad (17)$$

Donde:

Q_{max}: Caudal máximo de la fuente (m^3/s).
Q_{tot}: Caudal total mensual (m^3/mes).
n_d: Número de días del mes.

El caudal máximo a conducir por cada fuente se divide en porcentajes a cada planta según su capacidad (ver Tabla 2).

Tabla 2. *Capacidad máxima de cada PTAP*

Planta	Cap Máxima (L/s)	Porcentaje (%)
1	Q_1	Q_1/ Q_T t*100
2	Q_2	Q_2/ Q_T *100
n	Q_n	Q_n/ Q_T *100
Total	Q_T	100

En la Tabla 2 se observa que la capacidad máxima es de Q_T l/s, sin embargo, el caudal a cubrir la demanda puede ser superior en la simulación, dependiendo de la oferta en la alternativa. Posteriormente, al tener calculados los caudales máximos que irán de cierta fuente alternativa a cada planta, se los ingresa al modelo y se realiza la simulación, después se extraen los datos de caudal conducido a cada planta y demanda insatisfecha, con el objetivo de observar su comportamiento tras tener una alternativa conectada al sistema.

Selección de las fuentes alternativas

Se elabora una ficha con información de cada una de las fuentes donde se tuvo en cuenta: caudal, distancia de la bocatoma a la ciudad, área de escurrimiento, caudal ecológico, altitud y costo de conducción y operación. Siendo esta ficha evaluada en cada uno de los aspectos mencionados por expertos y así utilizar una matriz multi-objetivo para conocer cuál sería la alternativa más apropiada.

Metodología Multiobjetivo – Multicreterio

Inicialmente se establece criterios cualitativos o cuantitativos, a los cuales se les asigna escala numérica según la importancia otorgada por el evaluador. Según cada peso de cada ítem y la valoración asignada se aplica el método de promedios ponderados, aquella que tenga la mayor calificación será tomada como la fuente a abastecer (Romero, 1996). Una vez seleccionada la alternativa de agua para la ciudad con esta metodología, se simula en el modelo conectando la alternativa al sistema actual de abastecimiento de agua en la ciudad y se observa el comportamiento a lo largo de los años.

Resultados

Inicialmente, se ubica en el mapa las estaciones hidrológicas y meteorológicas, de las cuales se cuenta con información de caudales, precipitación y temperatura, además de delimitar el área de estudio, en este caso se tomó tres subcuencas (ver Figuras 5, 6 y 7).



Figura 5. Delimitación cuenca Río Bobo (verde) y Río Opongoy (Rojo).



Figura 6. Delimitación cuenca del río Guamués.

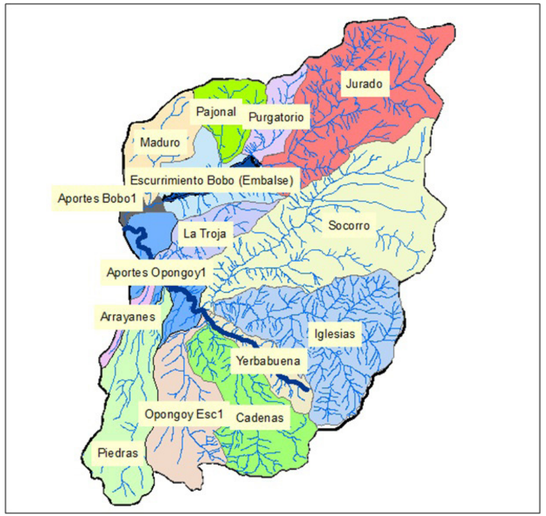


Figura 7. Delimitación de las microcuencas.

Las cuencas fueron delimitadas con un color para posteriormente dividir las áreas para las posibles fuentes alternativas. Además, se determinó un balance hidrológico general con los datos meteorológicos registrados en la serie de años, para encontrar el coeficiente pluviométrico mensual en estas cuencas, encontrando comportamientos distintos en los periodos húmedos y secos. Posteriormente se estableció el caudal para el área de cada una de las alternativas limitadas hasta el punto de una posible bocatoma (ver Figura 8).

Una vez preseleccionadas las alternativas se simuló cada una en el modelo junto con el sistema actual, para determinar la demanda insatisfecha futura y luego se extrajeron los datos más relevantes para ser empleados como criterios, entre los que se encuentran: área, distancia hasta el acueducto, caudal, altitud, costo de instalación y caudal ecológico. Posteriormente, los criterios fueron evaluados mediante la metodología multicriterio-multiobjetivo para seleccionar la más adecuada. Una vez seleccionada la mejor alternativa, se ingresó al modelo y se observó el comportamiento con cada una de las plantas potabilizadoras y así determinar hasta qué año podría servir a la población, sin alterar el caudal ecológico ni presentar demanda insatisfecha en la ciudad.

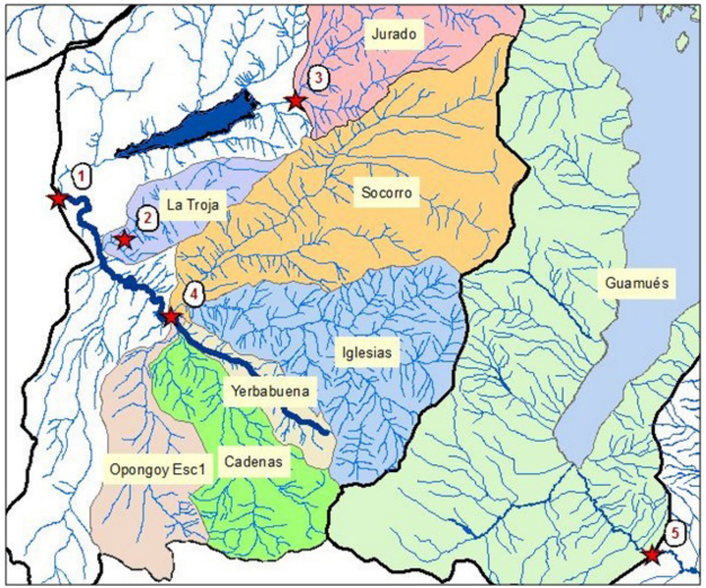


Figura 8. Delimitación de las Alternativas y posibles puntos de bocatomas (Estrella).

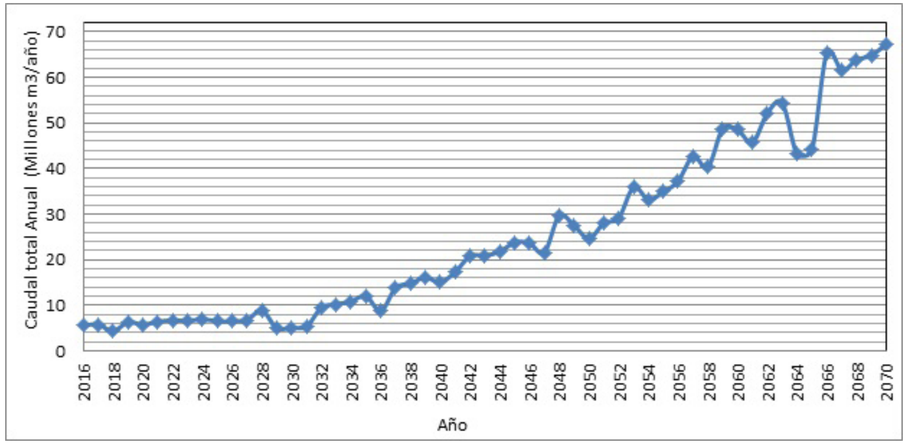


Figura 9. Caudal simulado de la alternativa.

De las fuentes, la que presentó la mayor calificación fue el río Opongoy, en la Figura 9 se puede observar que esta alternativa presenta un caudal creciente a lo largo de los años simulados. Debido a su comportamiento creciente hasta el último año simulado, se toma el valor del último año, donde se tiene el máximo caudal anual total para analizarlo mensualmente (ver Figura 10).

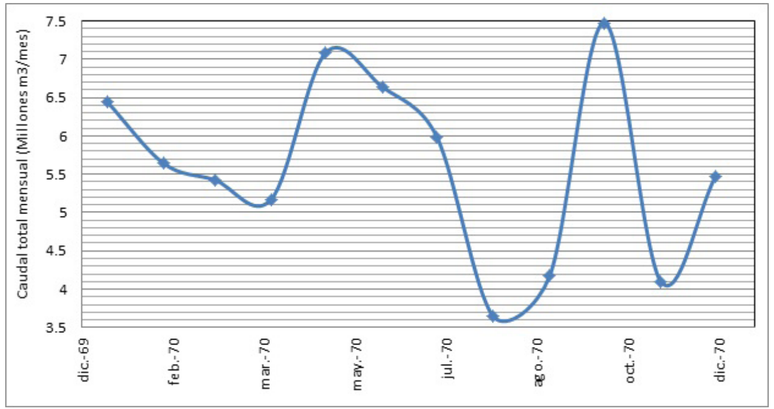


Figura 10. Caudal simulado de la alternativa (mensual).

Finalmente, en la Figura 11 se observa que esta alternativa no alcanza a cubrir la demanda insatisfecha hasta el año simulado, para cubrirla en su totalidad se necesitaría de otra alternativa que respalde a esta hasta dicho año. Por otro lado, se podría tomar esta alternativa hasta el año 2050, debido a que la planta centenaria no presenta demanda insatisfecha y se podría captar el caudal restante desde la bocatoma de la alternativa hasta la planta Mijitayo sin inconvenientes, puesto que la demanda insatisfecha en dicha planta para el año 2041 es de 11,9 L/s. Sin embargo, se puede notar en la Figura 12 que se respeta el caudal ecológico.

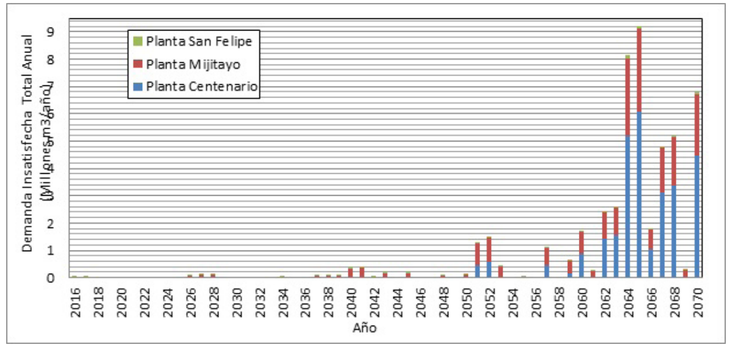


Figura 11. Demanda Insatisfecha con la alternativa.

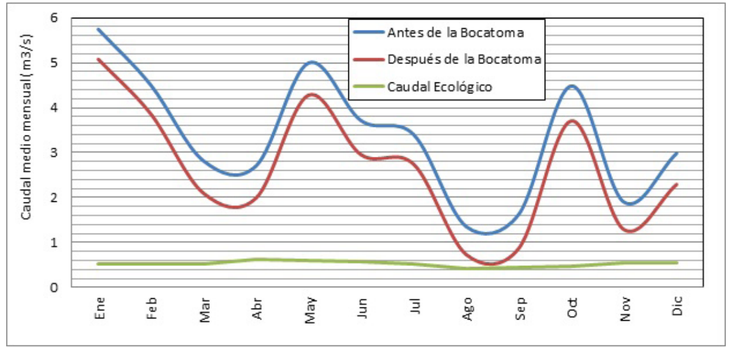


Figura 12. Caudal mensual multianual antes y después de la bocatoma.

Discusión

Comparando la tasa de crecimiento de la ciudad de Pasto con otras tasas nacionales determinadas por el DANE (2010), se pudo notar que la tasa fue superior a la departamental y del país con 1,23 % y 1,18 % respectivamente. Por otro lado, comparando con otras ciudades como Cali, se encontró que el crecimiento fue inferior puesto que la tasa fue de 4,35 %, mientras que la de la ciudad de Pasto fue superior a la de Bogotá, la cual cuenta con una tasa de 1,48 %. Además, para el año 2070, el modelo calculó una demanda insatisfecha de 57.52 Millones m3/año, lo cual es más del doble del suministro actual de la ciudad de Pasto, esto conduce a buscar una alternativa que tenga como caudal medio un valor cercano a los 1,82 m3/s.

Al realizar la metodología de año agua, se encontró que en el periodo 1991-2014 para la subcuenca del río Opongoy, el 62,5 % son años húmedos y 37,5 son secos, mientras que para la subcuenca del río Guamués fue de 50 % para secos y húmedos. Al observar el comportamiento anual de estas subcuencas se encontró en la Subcuenca del Rio Opongoy que los meses de abril, mayo, junio, noviembre y diciembre son húmedos, mientras enero, julio, agosto, septiembre y octubre son secos. La subcuenca del río Guamués presentó un comportamiento similar, aunque solo 4 meses fueron húmedos (abril y julio). Razón por la cual en el modelo no se tomaron los valores de año agua de la cuenca alta para las cuencas vecinas y se tomaron los valores del coeficiente pluviométrico de cada año para el comportamiento de cada una de las fuentes durante el periodo de años a modelar (2008-2070).

En las microcuencas de los ríos Bobo y Opongoy, los flujos de retorno generalmente regresan a la misma fuente y estas aguas son depuradas naturalmente, puesto que no son grandes las poblaciones, tal como ocurre aguas arriba de la planta Centenario. Para estos flujos se ingresó en el modelo un valor del 75 % como estableció el Ministerio de desarrollo económico (2004) para niveles de complejidad medio y bajo.

En esta investigación se utilizó el método de caudal ecológico establecido por el Ministerio de ambiente (2004), con un valor del 25 % del caudal mínimo mensual multianual, al igual que Castro (2014) en la modelación de recurso hídrico para la vereda la Bella en Pereira. Sin embargo, en la presente investigación se le adicionó el 5 % de reducción por calidad en la fuente. En el proceso de simulación del estado actual del sistema de abastecimiento, se encontró una demanda insatisfecha desde el año 2008, lo cual se debe a la incorporación del caudal ecológico, llegándose a afirmar que la empresa prestadora del servicio de abastecimiento de este recurso no tiene en cuenta dicho caudal, por esta razón esta demanda insatisfecha no ha sido evidenciada desde ese año.

Otras investigaciones han utilizado esta herramienta para la planificación y gestión de recursos, como las que realizaron los autores Morales (2009) y Salinas y Paz (2011) en Chile y Bolivia respectivamente. Los resultados de esta investigación pueden ser empleados en la planificación del recurso para la ciudad de Pasto en futuros estudios, debido a la importancia del recurso y a las alternativas que se plantean para los próximos años hasta el año 2070.

Conclusiones

La ciudad tiene un crecimiento poblacional de 3.005 % anual y un índice de escasez alto en sus cuencas abastecedoras, razón por la cual se necesitarán fuentes alternativas que permitan satisfacer la demanda de agua en años futuros.

El sistema de abastecimiento de San Juan de Pasto es bueno, ya que tiene una cobertura de 98,11 %, sin embargo, la planta de San Felipe presenta pérdidas, las cuales pueden ser corregidas y así aumentar la cobertura.

Al simular la oferta y demanda de la ciudad de Pasto en el modelo WEAP con el sistema actual de abastecimiento de agua, se encontró que en algunos periodos se tiene una demanda insatisfecha, entre los años 2009 y 2015, si se tiene en cuenta la conservación del caudal ecológico, sin embargo, durante ese periodo en la ciudad no hubo racionamiento del recurso, lo cual indica que en los periodos donde se encontró demanda insatisfecha en la simulación, el caudal extraído para la ciudad no contempló la conservación del caudal ecológico.

La demanda insatisfecha de la ciudad de Pasto en el año 2070 será de 57.52 millones m3/año, por ello, se requiere un caudal adicional de 1.82 m3/s, para poder satisfacer la demanda de agua de la ciudad hasta dicho año.

Al simular en el modelo cada una de las fuentes alternativas en el sistema actual de abastecimiento, se determinó hasta qué año podrían abastecer a la ciudad de Pasto, de las alternativa simuladas, solamente la del río Guamués permite suplir la demanda insatisfecha durante todo el periodo simulado (2016-2070), mientras que el resto pueden complementarse entre sí.

La fuente alternativa seleccionada en esta investigación para abastecer a la ciudad de Pasto fue el río Opongoy, debido a sus características y al peso asignado por los decisores a cada uno de los criterios tenidos en cuenta en el análisis multicriterio-multiobjetivo, con una calificación de 3.8/5, con un caudal medio de 4.87 m3/s y un posible abastecimiento hasta el año 2050. A pesar de que esta fuente fue la mejor, la alta disponibilidad de oferta de agua del río Guamués podría ser la mejor opción para satisfacer la demanda de la ciudad de Pasto,ya que en la simulación ésta no presentó demanda insatisfecha en todo el periodo de tiempo hasta el año 2070, mientras que el río Opongoy permite satisfacer la demanda hasta el año 2050.

Referencias

Allen, R., Pereira, L., Raes, D. y Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje. Recuperado de http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf

Aparicio, J., Lafragua, J., Gutiérrez, A., Mejía, R. y Aguilar, E. (2006). *Evaluación de los recursos hídricos Elaboración del balance hídrico integrado por cuencas hidrográficas* (documento técnico del PHi-LAC No. 4). Montevideo, Uruguay: UNESCO

Castro, N. (2014). *Implementación del sistema de modelación WEAP como herramienta para la gestión integral del recurso hídrico en la vereda La Bella* (tesis de pregrado). Universidad Tecnológica de Pereira, Risaralda, Colombia. Recuperado de http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/4468/3339116C355.pdf?sequence=1&isAllowed=y

CORPONARIÑO, Secretaría de Gestión Ambiental - Alcaldía de Pasto- Grupo de estudios y acciones ambientales GREDA. (2008). Plan de Ordenamiento y Manejo de la microcuenca Las Minas, cuenca alta del *río Pasto, municipio de Pasto*. San Juan de Pasto.

CORPONARIÑO. (2008). *Índice de Escasez de Agua Superficial Cuenca del río Pasto*. Pasto, Nariño: Corponariño.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2004). Resolucion 865 de 2004. Por la cual se adopta la metodologia para el calculo del indice de escasez para aguas superficiales a que se refiere el Decreto 155 de 2004 y se adptan otras disposiciones. Bogotá. Recuperado de https://www.cvc.gov.co/cvc/RecursoHidrico/aplicativos/ie_mejorado/documentos/Resolucion865-04.pdf

Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Basico RAS -2000*. Bogotá: Ministario de Desarrollo Economico.

Romero, C. (1996). *Análisis de las decisiones multicriterio* (4.ª ed.). Madrid, España: Isdefe.

Salinas, A. y Paz, O. (2011). Aplicación del Modelo de Planificación Hídrica de Cuencas Weap al Proyecto: Aducción de Recursos Hídricos Mururata. *Revista Tecnología, Investigación y Docencia*, 6(6), 27-38.

Modalidad de Póster

324

Área temática: manejo, control y calidad

Tallo de la pitaya como coagulante natural en la potabilización del agua

Karen Melissa López Toro[90]
Yurley Meza Delgado[91]
Mario Alberto Jurado Eraso[92]

Resumen

La potabilización del agua es un conjunto de etapas llevadas a cabo con el fin de tratar el agua cruda y modificar sus características microbiológicas, físicas y químicas, convirtiéndola así en agua apta para el consumo humano; de esta forma, una de las etapas que conforman tal proceso es la coagulación, en donde a partir de la adición de un coagulante químico convencional, se busca la remoción de partículas coloidales que le aportan turbiedad y color a la misma; de ahí surge la importancia de buscar alternativas que reemplacen en esta etapa el uso de dichas sustancias por otras no convencionales de origen natural, pues algunos estudios asocian el aluminio, componente mayoritario de algunos coagulantes, como influyente en el desarrollo de enfermedades, entre ellas encefalopatías y Alzheimer. De este modo, esta investigación busca determinar el potencial del tallo de la pitaya típica en la vereda Olivos en La Unión, Nariño, como materia prima para la producción de un coagulante natural en la remoción de turbiedad y color en el agua. Para ello se requiere la estandarización de métodos que permitan la extracción del coagulante y otros procesos necesarios a desarrollar en el laboratorio, los cuales contienen el paso a paso del proceso, los materiales, equipos y métodos de análisis. Tales protocolos son requeridos en etapas posteriores, para finalmente evaluar el coagulante a base de Pitaya y estimar su eficiencia en la remoción de turbiedad y color a escala laboratorio.

Palabras clave: agua cruda, coagulante natural, potabilización, partículas coloidales, turbiedad.

[90] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: karenmlopez@umariana.edu.co

[91] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: yumeza@umariana.edu.co

[92] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: majuradoe@umariana.edu.co

Pitaya's steam as a natural coagulant in the water potabilization

Abstract

Water purification is a set of stages carried out in order to treat raw water and modify its microbiological, physical and chemical characteristics, thus making it suitable for human consumption. One of the stages that make up such a process is coagulation: from the addition of a conventional chemical coagulant, the removal of colloidal particles that provide turbidity and color to it is sought. Hence the importance of looking for alternatives that replace the use of these substances at this stage with non-conventional ones of natural origin, as some studies associate aluminum, a major component of some coagulants, as influential in the development of diseases such as Encephalopathies and Alzheimer. Thus, this research seeks to determine the potential of the typical pitaya stem on Los Olivos village in La Unión, Nariño, as a raw material for the production of a natural coagulant in the removal of turbidity and color in the water. This requires the standardization of methods that allow the extraction of the coagulant and other necessary processes to develope in the laboratory, which contain the process steps, materials, equipment and analysis methods. Such protocols are required in later stages, to finally evaluate the pitaya-based coagulant and estimate its efficiency in the removal of turbidity and color at laboratory scale.

Key words: raw water, natural coagulant, water treatment, colloidal particles, turbidity.

Caule do Pitaya como Coagulante Natural na Potabilização de Água

Resumo

A purificação da água é um conjunto de etapas realizadas para tratar a água bruta e modificar suas características microbiológicas, físicas e químicas, tornando-a adequada para consumo humano. Uma das etapas que compõem esse processo é a coagulação: a partir da adição de um coagulante químico convencional, busca-se a remoção de partículas coloidais que fornecem turbidez e cor a ele. Daí a importância de procurar alternativas que substituam o uso dessas substâncias por outras não convencionais de origem natural, pois alguns estudos associam o alumínio, principal componente de alguns coagulantes, como influentes no desenvolvimento de doenças como as encefalopatias e Alzheimer. Assim, esta pesquisa procura determinar o potencial do caule típico de pitaya na vereda Los Olivos, em La Unión, Nariño, como matéria-prima para a produção de um coagulante natural na remoção de turbidez e cor na água. Isso requer a padronização de métodos que permitam a extração do coagulante e outros processos necessários em laboratório, que contêm as etapas do processo, materiais, equipamentos e métodos de análise. Tais protocolos são necessários em estágios posteriores, para finalmente avaliar o coagulante à base de pitaya e estimar sua eficiência na remoção de turbidez e cor em escala laboratorial.

Palavras-chave: Água bruta, Coagulante natural, Tratamento de água, partículas coloidais, turbidez.

Introducción

El agua es uno de los recursos de mayor importancia en el mantenimiento de la vida en la tierra, pues es el líquido más utilizado en las distintas actividades realizadas por los seres vivos, en especial el consumo. Desafortunadamente, el agua proveniente de fuentes superficiales generalmente contiene diversas partículas causantes de turbiedad, color y sabor, que requieren ser removidas por un tratamiento de potabilización, de tal modo que ésta sea adecuada para el consumo y atractiva para el consumidor (Zulia, 2009).

En ese sentido, debido a que las fuentes hídricas se encuentran bajo la amenaza creciente de contaminación, surge la necesidad de mantener condiciones óptimas en la calidad del agua, a fin de garantizar el bienestar y la salud humana. Es por ello que organismos como la Organización Mundial de la Salud (OMS), han establecido parámetros normativos tendientes a certificar un servicio de agua potable que cumpla con las condiciones requeridas de salubridad y con ellos, a su vez, ha surgido la necesidad de desarrollar alternativas verdes, tales como los coagulantes naturales, sobre los cuales se han realizado diversas investigaciones a nivel mundial, como el caso de la utilización de las semillas de Nirmali (*Strychnos potatorum*), semilla de *Moringa Oleifera*, cáscaras de *Citrus sinensis*, Taninos, almidón de yuca y maíz, exudado gomoso de *Samanea saman* y cactus de género *Opuntia* (Guzmán, Villabona, Tejada y García, 2013; Yan, Nagendra, Yeong, Eshwaraiah, & Nagasundara, 2014); los cuales buscan cumplir con la función de un coagulante convencional de forma eficaz, además de reemplazar el uso de coagulantes químicos, como los compuestos de aluminio, que según Flaten (2001), podrían estar asociados con alteraciones en la salud, tales como encefalopatías y Alzheimer.

Por lo tanto, esta investigación se desarrolló en tres etapas, que constan de una principal, en la cual se busca determinar el potencial del tallo de la Pitaya como materia prima para la producción de un coagulante natural en la remoción de turbiedad y color, y otras secundarias, que sirven de respaldo a la antes mencionada, éstas consisten en la estandarización de

un método que permita la extracción del coagulante natural, la evaluación del mismo en la remoción de turbiedad y color, y finalmente, la estimación de la eficiencia del coagulante con base en la Pitaya.

Formulación del problema

¿Es el tallo de la Pitaya una fuente útil para producir un coagulante natural, que permita reducir la turbiedad y el color en agua cruda, la cual pueda ser tratada a través de un proceso de potabilización convencional?

Metodología

Para el desarrollo del primer objetivo, donde se busca la obtención de los protocolos de extracción del coagulante del tallo de la Pitaya, preparación del agua cruda sintética y prueba de jarras, como primera medida se realizó una revisión de información secundaria, de la cual se obtuvo informacion relevante para la construcción de los objetivos; en segunda instancia se unieron los datos claves de la revisión bibliográfica con conocimientos empíricos de la población que usan esta planta para la clarificación del agua, de este modo, se logró la construcción de protocolos, los cuales presentan el proceso, materiales, métodos de análisis y, demás, especificaciones necesarias a tener en cuenta en la realización de las pruebas de laboratorio posteriores.

En ese sentido, para la obtención del coagulante a base de Pitaya, se requirió de la obtención de las pencas que se recolectaron, con tamaños similares, tanto en la vereda Olivos, municipio de la Unión, como en la ribera del río Mayo, vereda Las Vegas municipio San Lorenzo, se continuó con el lavado de las pencas con agua destilada. Una vez limpio el material, se retiraron las espinas y su capa superficial, luego se cortó las pencas en tiras más delgadas, se secaron con ayuda de toallas absorbentes y posteriormente, se realizó un secado en estufa u horno; transcurrido un tiempo, se trituró manualmente con ayuda de un mortero hasta obtener un material homogéneo, así mismo, se tamizo el material resultante, con el fin de asegurar que el tamaño de las partículas sea similar entre ellas (0.5 mm). Posteriormente, se somete el producto a una prueba Soxhlet para la extracción de sus pigmentos, finalmente, se realizó un secado adicional en la estufa a fin de retirar la humedad y facilitar su almacenamiento para pruebas futuras.

Por otra parte, para la preparación del agua cruda sintética se tuvo en cuenta la media de datos obtenidos de la quebrada San Felipe por EMPOPASTOsobre pH, turbiedad y color, esto con el fin de preparar un agua cruda sintética que se asemeje con las condiciones reales del agua que ingresa a una planta de potabilización. De esta manera, para el proceso se requirió de agua destilada, la cual se fue mezclando paulatinamente con Caolín hasta obtener la turbiedad deseada, cabe resaltar que dicha arcilla fue debidamente pesada, antes de la mezcla y después de la misma, a fin de conocer la cantidad requerida por litro de agua. Seguidamente, se determinó la turbiedad con el turbidímetro, y el color con el colorímetro, luego se midió el pH de la solución, se ajustó con Ácido clorhídrico HCl 1N o Hidróxido de Sodio NaOH 1N, según lo requerido, y finalmente se midió el pH.

Para el caso de la prueba de jarras fue necesario, en primera instancia, medir parámetros de interés, como pH, turbiedad y color en el agua previamente preparada. Continuando con el proceso, se adicionó 2 L de dicha agua a cada una de las jarras que componen el sistema. Antes de que éste entre en funcionamiento fue necesario preparar con anterioridad las dosis del coagulante, utilizando jeringas hipoalergénicas en caso de que este sea líquido o espátulas si el coagulante se encontraba en polvo; posteriormente se dio inicio al equipo de jarras e inmediatamente se iniciaron las revoluciones se adiciono la dosis a cada jarra, transcurrido el tiempo necesario se detuvo la agitación y se dejó suspender la mezcla por al menos 5 minutos, con ayuda de los sifones se tomaron muestras de cada jarra para llevar a cabo las mediciones de turbiedad, color y pH.

Resultados

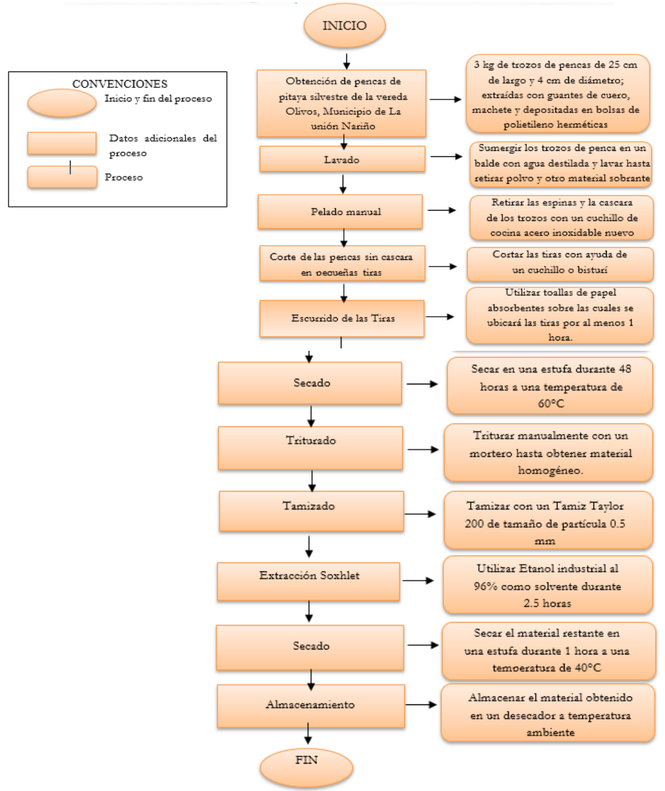


Figura 1. Protocolo para la preparación del coagulante a base de Pitaya.

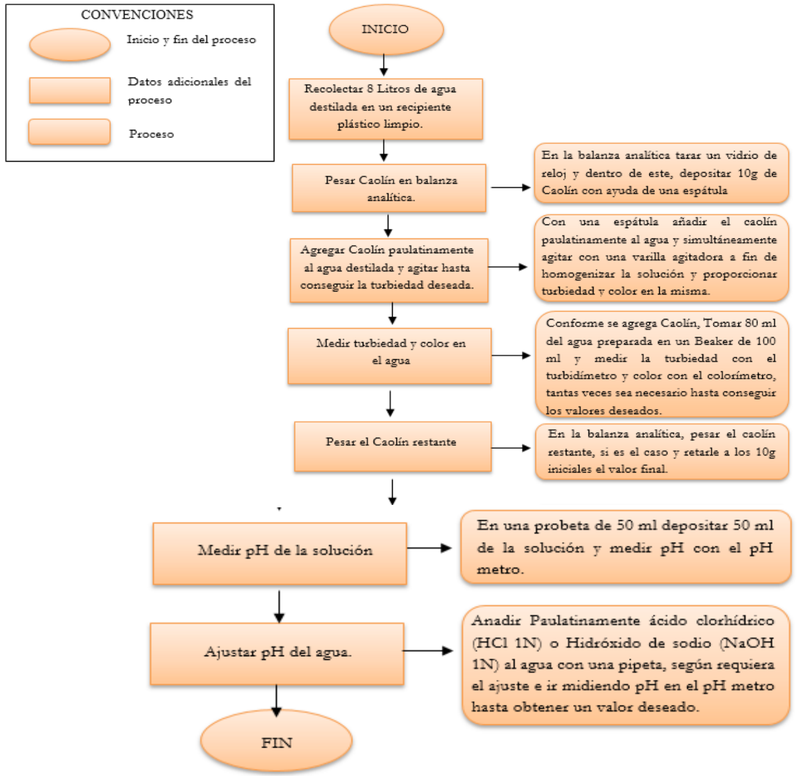


Figura 2. Protocolo para la preparación del agua cruda sintética.

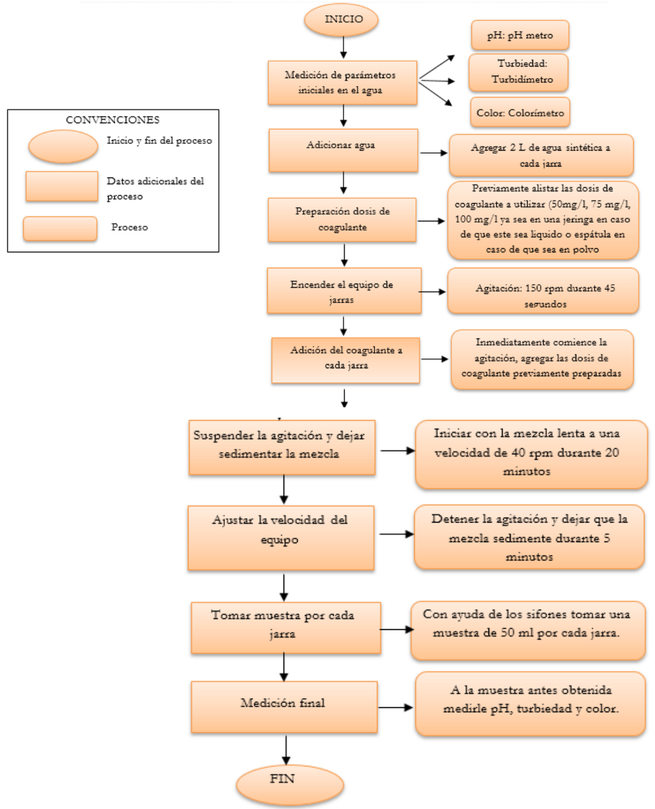


Figura 3. Protocolo para la realización de la prueba de jarras.

Para la construcción del protocolo de preparación del coagulante natural se realizó una exploración bibliográfica, teniendo en cuenta criterios de selección como: búsqueda centrada en artículos científicos, el idioma del documento (inglés o español), uso de palabras clave de búsqueda, como coagulación, coagulante natural, agua cruda, potabilización, turbiedad, partículas coloidales, natural coagulants, potabilization; además se definió como límite de publicación los últimos 5 años. De igual manera, se establecieron ítems que facilitaron la selección de documentos con información relevante y acorde con el objeto de estudio; dentro de los que se menciona: la preparación de un coagulante natural, los materiales y equipos a utilizar y el tipo de agua a tratar con el mismo.

De esta forma, se realizó una búsqueda de artículos científicos en ScienceDirect, Scielo y Redalyc, aplicando los criterios de búsqueda mencionados, y teniendo en cuenta además ciertos ítems. Así las cosas, se seleccionaron ocho documentos, de los cuales cinco utilizan como materia prima para la preparación del coagulante plantas de familia cactaceae, que poseen características similares a la Pitaya, como es el caso de los hidrocoloides (mucílago), componente del tallo de dichas plantas, al cual se le atribuyen propiedades coagulantes debido a componentes como polisacárido péptico y electrolitos naturales (Choudhary, Ray & Neogi 2018).

En el mismo sentido, dichos artículos presentan una metodología de extracción y preparación del coagulante, para lo cual se usa el tallo de la planta, al que se le aplican ciertos procedimientos como, lavado con agua de grifo, retiro de espinas y corteza, corte en trozos de tamaño adecuado; en algunos casos se trituro en licuadora y en otros se procedió directamente al secado, triturado manual y tamizado. Cabe mencionar que después de los pasos realizados, algunas metodologías llevaron a cabo la extracción Soxhlet, utilizando Etanol como disolvente para la extracción de pigmentos del material, mientras que en otras investigaciones, solo se usó el solvente sin el equipo Soxhlet. Para esta investigación, debido a que el laboratorio de la Universidad Mariana cuenta con este equipo, se procedió a establecerlo como un paso más en el protocolo propuesto, se tomaron en cuenta los últimos dos pasos que son secado del material, eliminando la humedad del mismo para evitar cambios en sus características y almacenamiento en recipientes adecuados para posteriores pruebas de laboratorio.

De los artículos seleccionados, dos de ellos prepararon el material con fines de tratamiento de aguas residuales y seis para emplearlo en la etapa de coagulación dentro del proceso de potabilización del agua; así mismo, con respecto al idioma de redacción, dos de ellos se encuentran en inglés y los restantes en español, además, cabe resaltar que todos los documentos fueron publicados en los últimos cinco años, lo cual contribuye a tener metodologías más eficientes y adecuadas, como soporte para la construcción del protocolo de extracción del coagulante a base de pitaya, que facilita la transformación del tallo de Pitaya en un coagulante que sirva para reducir turbiedad y color en un agua cruda sintética mediante pruebas de jarras.

Conclusiones

Para la obtención de los protocolos se aplicó un método de evaluación cualitativa denominado destilación de información, el cual, después de la selección de los artículos más relevantes respecto a técnicas de extracción de coagulantes naturales, permitió el análisis de dicha información.

Fue posible la obtención de un protocolo que se basa en la preparación de un coagulante natural utilizando el tallo de la Pitaya como materia prima; en el cual, como primer paso se realizó la extracción directa de la planta ubicada usualmente en la ribera del rio Mayo y en la quebrada Santana, trepando sobre árboles o creciendo en suelos áridos y pedregosos; posterior a ello, se realiza un lavado, pelado manual, corte en tiras, escurrido, secado forzado, triturado manual, clasificación granulométrica, extracción de pigmentos, secado forzado adicional y finalmente el almacenamiento del material preparado, que podría ser apropiado para las pruebas de coagulación en laboratorio.

Referencias

Cabrera, C., Hernández, A., Simancas, E., Ayala, J, y Almanza, K. (2017). Coagulantes naturales extraídos de Ipomoea incarnata en el tratamiento de aguas residuales industriales en Cartagena de Indias. *Scientia et Technica Año XXII,* 22(1), 109-112. doi: 10.22517/23447214.13281

Choudhary, M., Ray, M. & Neogi, S. (2018). Evaluation of the potential application of cactus (Opuntia ficus-indica) as a bio-coagulant for pre-treatment of oil sands process-affected water. *Separation and Purification Technology, 209,* 714–724. doi: 10.1016/j.seppur.2018.09.033

Contreras, K., Aguas, Y., Salcedo, G., Olivero, R., Mendoza, G. (2015). El Nopal (Opuntia ficus-indica) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua. *Producción + limpia,* 10(1), 40–50.

Feria, J., Bermúdez, S. y Estrada, A. (2014). Eficiencia de la semilla Moringa Oleífera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú. *Producción + limpia,* 9(1), 9–22.

Feria, J., Rodiño, J. y Gutierrez, G. (2016). Behavior of turbidity, pH, alkalinity and color in Sinú River raw water treated by natural coagulants. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia,* (78), 119–128. doi: 10.17533/udea.redin.n78a16

Flanten, T. (2001). Aluminium as a risk factor in Alzaheimer's disease, with emphasis on drinking water. *Brain Research Bulletin, 55*(2), 187-196. doi: 10.1016/S0361-9230(01)00459-2

Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), 253-262.

Olivero, R., Aguas, Y., Mercado, I., Casas, D. y Montes, L. (2014). Utilización de Tuna (opuntia ficus-indica) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas. *AVANCES investigación en ingeniería, 11*(1), 70-75

Ramirez, H. y Jaramillo, J. (2015). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. *Universidad Militar Nueva Granada, 11*(2), 136-153. Doi: http://dx.doi.org/10.18359/rfcb.1303

Rodiño, J., Feria, J., Paternina, R. y Marrugo, J. (2014). Extractos coagulantes naturales de Hylocereus triangularis, Guazuma ulmifolia y Moringa oleífera para el tratamiento del agua cruda del río Sinú. *Iberoamericana,* 155-160. Recuperado de https://maestriaambiental.com/memorias/24.pdf

Yan, S., Nagendra, K. M., Yeong, T., Eshwaraiah, M. & Nagasundara, R. (2014). Utilization of plant-based natural coagulants as future

Zhang, J., Zhang, F., Luo, Y., Yang, H. (2005). A preliminary study on cactus as coagulant in water treatment. *Process Biochemistry,* 41(3), 730-733. doi: 10.1016/j.procbio.2005.08.016

Sistema de biorretención para el control del escurrimiento pluvial

Angela María Ceballos Rodríguez[93]
Sebastián Camilo Pinta Pantoja[94]
Francisco Ricardo Mafla Chamorro[95]

Resumen

El comportamiento climático en el municipio de Pasto se caracteriza por ser bimodal, con dos temporadas de verano y dos de invierno; ésta última, con grandes precipitaciones en pequeños intervalos de tiempo, situación que ha desencadenado una serie de efectos negativos desde el punto de vista hidrológico, hidráulico y ambiental, como la formación de escorrentía superficial que se concentra rápidamente, generando inundaciones, encharcamientos y contaminación en las vías y espacio público e impactando directamente el sistema de drenaje urbano y los cuerpos receptores finales, debido al resultado de la aplicación de modelos inapropiados de desarrollo que no consideran la relación sociedad-naturaleza. Ante este panorama, se hace indispensable y pertinente estudiar los diferentes sistemas de drenaje sostenible; como caso particular, los sistemas de biorretención, que permiten mitigar y minimizar los problemas asociados a la gestión y control de caudales de escorrentía. Por lo tanto, se estudió el caso de la cuenca semiurbana Figueroa, ubicada en el noroccidente de la ciudad de Pasto, caracterizando la escorrentía pluvial, con el fin de conocer su volumen y el grado de contaminación y, posteriormente, diseñar un sistema de biorretención guiado por las normas EPA y RAS, con la utilización del software SWMM.

Palabras clave: escorrentía, simulación, sistemas urbanos de drenaje sostenible, SWMM, zonas de biorretención.

[93] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: angceballos@umariana.edu.co

[94] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: spinta@umariana.edu.co

[95] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: fmaffla@umariana.edu.co

Bioretention system for the control of rainfall drainage

Abstract

The climatic behavior in the municipality of Pasto is characterized by being bimodal, with two seasons of summer and winter. This latter shows a big volume rainfall in small intervals of time, and triggers a series of negative effects from the hydrological, hydraulic and environmental point of view. One of them is the formation of superficial rainfall drainage that quickly concentrates in floods, puddles and pollution in the roads and public space, and directly affects the urban drainage system and the final receiving bodies, due to the result of the application of unsuitable development models that does not consider the relationship between society and nature.

Given this panorama, it is essential and important to study the different systems of sustainable drainage, as a particular case of bioretention systems, which allows mitigating and minimizing the problems associated with the management and control of runoff flows.

To this end, the case of the Figueroa semi-urban basin, in the northwest of the city of Pasto, was studied, characterizing the rainfall drainage in order to know its volume and the degree of contamination, to subsequently design a bioretention system guided by Environmenta Protection Agency –EPA- and, RAS standards and with the use of SWMM software.

Key words: rainfall drainage, simulation, sustainable drainage systems, SWMM, bioretention zones.

Sistema de Bioretenção para o controle do escorrimento pluvial

Resumo

O comportamento climático no município de Pasto caracteriza-se por ser bimodal, com duas estações do verão e dois de inverno. Este último mostra um grande volume de chuvas em pequenos intervalos de tempo e desencadeia uma série de efeitos negativos do ponto de vista hidrológico, hidráulico e ambiental. Uma delas é a formação de drenagem superficial das chuvas, que se concentra rapidamente em inundações, poças e poluição nas estradas e no espaço público, afetando diretamente o sistema de drenagem urbana e os órgãos receptores finais, devido ao resultado da aplicação de modelos inadequados de desenvolvimento que não consideram a relação entre sociedade e natureza.

Diante desse panorama, é essencial e importante estudar os diferentes sistemas de drenagem sustentável, como um caso particular de sistemas de biorretenção, o que permite mitigar e minimizar os problemas associados ao gerenciamento e controle dos fluxos de escoamento.

Para tanto, foi estudado o caso da bacia semi-urbana de Figueroa, no noroeste da cidade de Pasto, caracterizando a drenagem pluvial para conhecer seu volume e o grau de contaminação, para posteriormente projetar um sistema de bioretenção guiado pelas normas de Agência de Proteção Ambiental –EPA- e RAS, e com o uso do software SWMM.

Palavras-chave: drenagem pluvial, simulação, sistemas de drenagem sustentável, SWMM, zonas de biorretenção.

Introducción

Las inundaciones son eventos recurrentes que se producen en las corrientes de agua, como resultado de lluvias intensas o continuas que, al sobrepasar la capacidad de retención del suelo y de los cauces, se desbordan y cubren con agua los terrenos relativamente planos que se encuentran aledaños a las riberas de los ríos y quebradas. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005, p. 43).

Según Malilay (2000):

> Las inundaciones son el tipo más común de desastres en todo el mundo, se estima que constituyen los eventos adversos que ocurren con mayor frecuencia y, que a su vez, son los más extendidos en espacio e intensidad; además, son los más devastadores y letales entre los desastres de origen natural. (Organización Panamericana de la Salud, 2006, p. 1).

Entre las principales causas de que este fenómeno se presente, con mayor frecuencia y a gran escala, son el inadecuado uso de la tierra, la exorbitante urbanización y sus formas de vida, la deforestación, la erosión de los suelos, invasiones de las rondas hídricas y el inadecuado manejo de residuos sólidos, todo esto resultado de la aplicación de modelos inapropiados de desarrollo que no consideran la relación sociedad-naturaleza.

Colombia enfrenta grandes retos frente a la ocurrencia de este tipo de eventos, los cuales han sido considerados como la principal amenaza hidrometeorológica, la cual ha generado grandes daños económicos y ha dejado un número considerable de población afectada. En este contexto el municipio de Pasto no es ajeno a esta situación, las principales inundaciones que ha sufrido se deben a desbordamientos del río Pasto en todo su curso, en temporadas de invierno, taponamientos de la red de alcantarillado e impermeabilización del suelo, puesto que han ocurrido una serie de alteraciones en el ciclo hidrológico que ha ocasionado la contaminación de las cuencas urbanas.

De esta manera, un sistema que permite abordar esta problemática, es el sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS), como caso particular, los sistemas o zonas de biorretención, los cuales son una estructura tricapa constituida de un manto vegetal, una capa orgánica y una franja de arena, que tienen el objetivo de degradar y remover contaminantes, lograr tiempos de retención más altos, disminuir el caudal de la escorrentía urbana, minimizando los impactos del desarrollo urbanístico.

Por lo anterior y teniendo en cuenta la incidencia de estos fenómenos, se desarrolló la evaluación de un sistema de biorretención para el control de escurrimiento pluvial, la cual consistió en la caracterización del agua pluvial de la microcuenca Figueroa, a través del muestreo y análisis de parámetros fisicoquímicos como pH, conductividad, temperatura, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y sólidos suspendidos totales (SST); y posteriormente, el diseño de la zona de biorretención mediante parámetros establecidos por la EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos) y los requeridos por el software SWMM por sus siglas en ingles *Stormwater Management Model* (Modelo de gestión de aguas pluviales) versión 5.1, los cuales se clasifican en cuatro grupos: superficie, suelo, depósito y drenaje.

Desarrollo

Para el desarrollo de la investigación y cumplimiento de las actividades se planteó la siguiente metodología: *Caracterización de la escorrentía en la microcuenca semiurbana Figueroa.*

La caracterización de la escorrentía, se llevó a cabo mediante la toma de muestras de agua durante un evento de precipitación y análisis en laboratorio. Para esto se tuvo en cuenta referentes teóricos y protocolos de muestreo, como la *Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas* del IDEAM. De acuerdo a Duarte (2009), la toma de muestras y el intervalo entre éstas debe realizarse considerando las características de precipitación, intensidad y duración, por esta razón, la cantidad de muestras que se analizaron varían según el evento. En consecuencia, se muestrearon 2 eventos de precipitación, el 6 y 8 de mayo del 2018, con una duración de 40 y 24 minutos respectivamente. Los parámetros que se evaluaron en el agua de escorrentia fueron caudal, sólidos suspendidos totales (SST), materia organiza biodegradable (DBO5), pH, turbiedad.

Para la medición de caudal, las condiciones de aforo no fueron las más adecuadas, puesto que la fuerza y velocidad que tiene el agua en la descarga en un evento de lluvia en el colector Figueroa son realmente fuertes, razón por la cual, se optó por modelar el tramo final de la red de alcantarillado, tramo comprendido entre la última cámara de inspección y el descole, a través de un modelo hidráulico de flujo uniforme, debido a que se asume que todas las características hidráulicas como la profundidad, el área mojada, la velocidad, el caudal y la pendiente permanecen constantes, además SWMM para los conductos emplea el modelo de Manning, mediante el cual se establece la relación entre el caudal que circula por el conducto, la sección del mismo, su radio hidráulico y la pendiente.

$$Q = \frac{1}{n} * A * (R_h)^{2/3} * \sqrt{s}$$

De esta manera, se esquematizó este tramo de la red en SWMM, por medio de objetos visuales, como nodos de conexión, conductos y nodos de vertido. Cada uno de estos elementos requiere de ciertos parámetros de entrada, los cuales fueron suministrados por la empresa de servicios públicos EMPOPASTO S.A E.S.P. Para el caso de los conductos los parámetros de entrada fueron: longitud, coeficiente de Manning, geometría de la sección transversal (forma y dimensiones) y para los nodos de conexión y vertido fueron las cotas de fondo y el caudal de aporte.

Teniendo en cuenta que las características hidráulicas permanecen constantes, se ingresó una serie de caudales con el fin obtener la variable de respuesta, en este caso, el nivel de agua al final del tramo, una vez que estos parámetros se introdujeron a la interfaz de SWMM, se realizó la simulación, con esta información se generó una curva H Vs Q.

Para comprobar la exactitud y veracidad del modelo, se realizó una serie de 15 aforos previos, adecuando el lugar, de tal manera que sea posible realizarlo por medio del método volumétrico, además, se midió la altura de la lámina de agua en la tubería. Esta información de campo se recolectó bajo una ficha técnica "Reportes de datos de muestreo" del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Se contrastó los datos de campo con los datos teóricos del modelo para verificar su exactitud, y de este modo utilizar la curva generada como herramienta de aproximación en la determinación del caudal en los aforos a realizar, a través de la medición de la altura de la lámina de agua.

Diseño zona de biorretención para el control de escurrimiento pluvial para diferentes eventos hidrológicos

Para el diseño de la zona de biorretención, en primera instancia se determinó el área de aporte a la misma, para lo cual se utilizó diferentes softwares, como Global Mapper y ARCGIS, para la generación de la cartografía correspondiente, como curvas de nivel y red hidrográfica. De esta manera, la delimitación de la cuenca tiene en cuenta el cauce principal, la dirección del flujo, los puntos más altos definidos por las curvas de nivel y la red de alcantarillado que desemboca en el río Pasto, dando lugar a la identificación de las características morfométricas como área, longitud cauce principal, coeficiente de compacidad, factor de forma, extensión media de la escorrentía superficial y pendiente media de la cuenca a través de herramientas de geoprocesamiento de ARCGIS.

El diseño de la zona se hizo en el software SWMM (Modelo de gestión de aguas pluviales), bajo los criterios de diseño establecidos por la EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos) y el Reglamento técnico del sector de agua potable RAS, lo que permitió estructurar el sistema, el cual está compuesto por tres capas: superficie, suelo, depósito y un sistema de drenaje; cada una de estas capas, está constituida de un material con propiedades especificas, con el fin de cumplir una función en concreto: disminuir la tasa de infiltración, amortiguar y retener la escorrentía pluvial. La distribución y los parámetros que intervienen en el diseño de la zona, se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. *Parámetros de entrada - SWMM*

Capas	Parámetros
Superficie	• Altura • Volumen vegetación • Rugosidad de la superficie • Pendiente de la superficie
Suelo	• Espesor • Porosidad • Capacidad de campo • Punto de marchitez • Conductividad • Cabeza de succión
Deposito	• Espesor • Razón de vacío • Factor de obstrucción
Drenaje	• Exponente de flujo • Altura de desplazamiento

Por otro lado, se calculó el tiempo de concentración a través de 4 métodos diferentes de ecuaciones empíricas disponibles en la literatura, como: RAS, Kirpich, Clark, Temez. Se estimó un tiempo de retorno de acuerdo a las características del área y tipo de drenaje, al tipo de control y la capacidad del sistema según especificaciones del RAS, y a partir de la curva IDF (Intensidad – Duración – Frecuencia) de la estación de Obonuco, suministrada por el IDEAM, se determinó la intensidad de la lluvia asociada al tiempo de retorno escogido.

Una vez conocida la intensidad de la lluvia se estimó el caudal máximo, para ello, se empleó el método racional modificado, suponiendo un hidrograma triangular con un tiempo máximo igual al tiempo de concentración de la cuenca y un gasto máximo. La ecuación empleada fue:

$$Q = \frac{CiA}{3{,}6}$$

La cual relaciona el área de la cuenca, el coeficiente de escorrentía que se determina según las características de la superficie y las actividades que se desarrollan, y la intensidad de la lluvia establecida según el tiempo de retorno escogido. Estas zonas deben contar con un conducto de salida ubicado en la parte inferior en la cámara de almacenamiento, de tal forma que en condiciones de descarga máxima no sobrepase el umbral del vertedero de seguridad. Para dimensionar el conducto se puede relacionar el gasto máximo de evacuación con las propiedades del conducto mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{evac} = A\left(\frac{2gH}{K}\right)^{1/2} \leq Q_{máx}$$

Esta ecuación tiene en cuenta, el área transversal del conducto de salida, la carga hidráulica considerada como la diferencia de nivel entre el umbral del vertedero de seguridad y el eje de la sección de salida y, por ultimo, un coeficiente de perdida de carga, el cual considera las pérdidas de entrada y salida, dependiendo del material con el que está construido el tubo de drenaje.

Por último, para establecer las dimensiones de la zona de biorretención, se calculó un volumen principal de almacenamiento para retener la crecida generada por la lluvia de diseño, para ello se empleó la siguiente ecuación:

$$V = 0.5Tb(Q_{max} - Q_{evac})$$

Donde Tb es igual al doble del tiempo de concentración en la cuenca, multiplicado por la diferencia entre el caudal máximo y el caudal de evacuación. Calculado el volumen y dependiendo de los criterios propuestos por el RAS, que se emplea para la construcción de sistemas de drenaje, se determinó la profundidad de la zona, y de acuerdo a la expresión se calculó el área superficial

$$Área = \frac{Volumen}{Altura}$$

Resultados

Caracterización del agua pluvial

A continuación, se presenta el resultado de las diferentes variables analizadas en la caracterización de los eventos de precipitación, iniciando con la variación de caudal en los diferentes eventos.

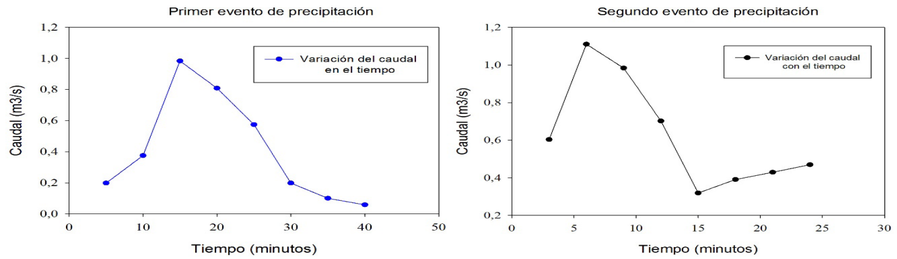


Figura 1. Variaciones caudales.

En tiempo seco, la cuenca funciona como un depósito de acumulación de contaminantes, los cuales, debido a la escorrentía que provocan estos eventos de lluvia, son arrastrados por la superficie y conducidos por las alcantarillas al medio receptor. Los efectos negativos sobre el medio receptor, son mayores frente a lluvias de intensidad moderada, [principalmente] en las redes unitarias, debido a que concentraciones de contaminantes provenientes de la superficie se agregan a la contaminación de las aguas servidas y el arrastre de sedimentos movilizados de la propia red de alcantarillado, que en el momento del aumento de velocidades en los conductos de la red, puede generar una mezcla con concentraciones de contaminante mayores. (Sanhueza, 2012, p. 21).

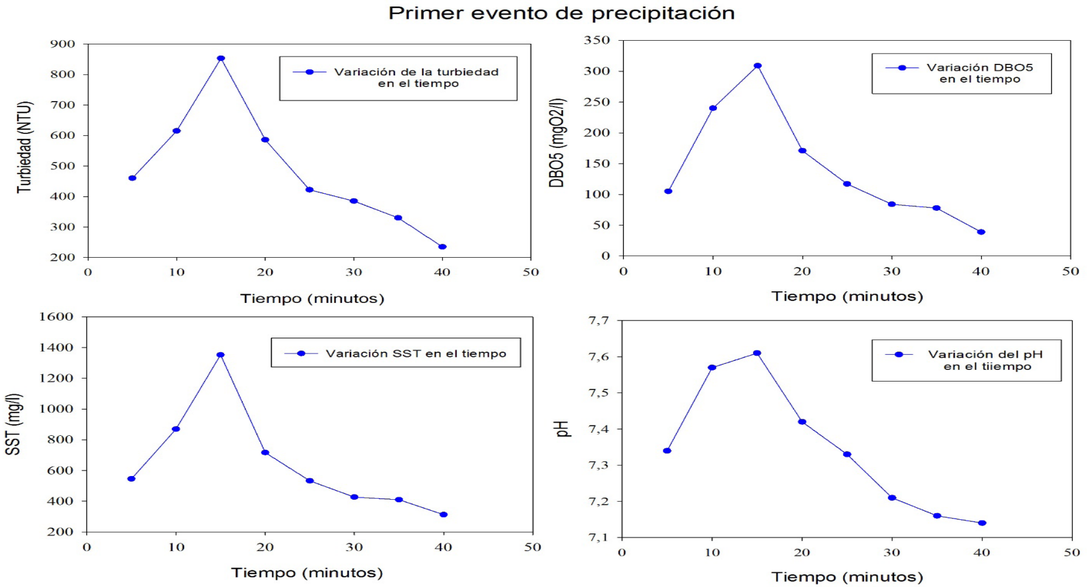


Figura 2. Variación parámetros primer evento de precipitación.

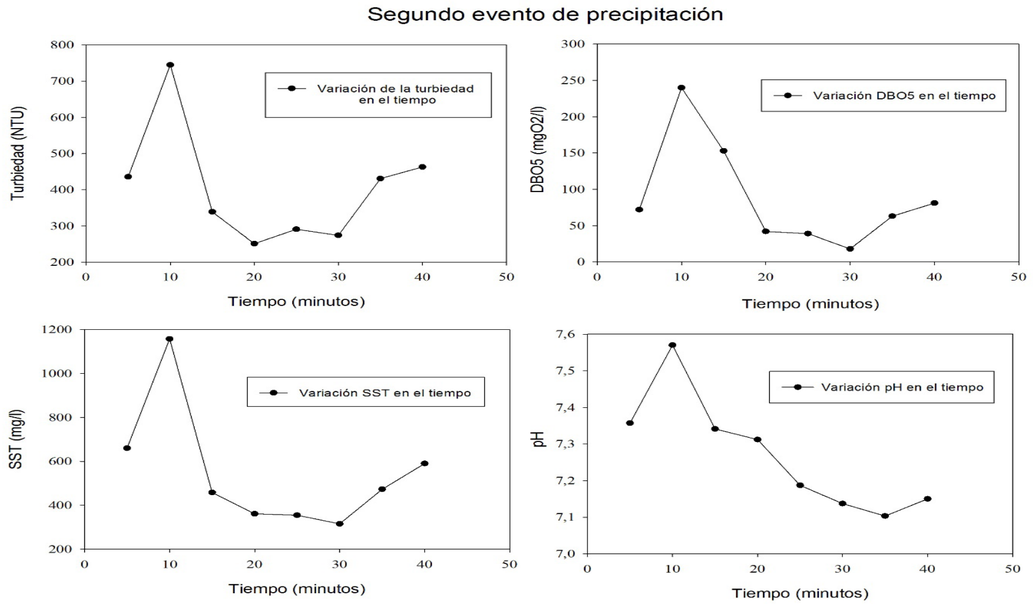


Figura 3. Variación segundo evento de precipitación.

De acuerdo a los resultados obtenidos y plasmados en las figuras, se pudo observar que las concentraciones de los parámetros analizados tienen la misma tendencia del comportamiento del flujo, aumentaron a medida que la cantidad de caudal se acercaba hacia su valor máximo y disminuyeron cuando el evento de lluvia se atenuaba, esto se da porque que se presentó un fenómeno de lavado de contaminantes, debido a que en tiempo seco entre dos eventos de lluvia o dos temporadas climatológicas diferentes, la cuenca funciona como un depósito de acumulación de contaminantes de partículas, como polvo, materia orgánica, metales pesados, material biológico, los cuales por la escorrentía, que es provocada por un evento de lluvia, son arrastrados por la superficie y conducidos por las alcantarillas hacia el medio receptor.

Además, el comportamiento de los polutogramas se asemeja al fenómeno del primero lavado, que hace referencia a que el arrastre y descarga del mayor valor de la concentración de contaminantes en la escorrentía superficial ocurre durante la primera parte de un suceso lluvioso, posteriormente estas concentraciones disminuyen a lo largo de la precipitación (Gerena y Mora, 2017).

La forma y la variedad del polutograma está influenciada en algunos casos por condiciones y características de algunos factores, como: condiciones y duración del tiempo seco, magnitud y características del contaminante, el tipo de lluvia, características de la red de alcantarillado, forma y área de la cuenca drenante; a pesar de que se conocen los elementos que intervienen, no hay relaciones múltiples de regresión lineales y generales establecidas para explicar el comportamiento del polutograma. Sin embargo, según la literatura, se ha observado previamente que existe una correlación positiva entre ciertas cargas o concentraciones de contaminantes y medidas de intensidad de tormenta (Leal, 2016).

De acuerdo a lo anterior, si la lluvia se caracteriza por ser de intensidad baja o moderada, va a provocar bajos caudales circulantes con un bajo poder de dilución y, por lo tanto, las concentraciones de contaminantes serán más elevadas (Sanhueza, 2012).

Los sólidos en suspensión son el principal vector de contaminación, debido a que entre el 60 % y el 95 % de contaminación acumulada en las superficies permeables y sistemas de drenaje son sedimentos procedentes de rocas erosionables, principalmente porque un gran porcentaje de la cuenca es natural. Los principales componentes de los sólidos suspendidos son el material orgánico, organismos microscópicos, materia en descomposición, polvo, material particulado y material inorgánico, como arcillas y limos, que se depositan y transportan en el agua de escurrimiento pluvial (Leal, 2016).

La turbiedad y la concentración de sólidos en suspensión están de manera directa o indirecta relacionados. Por un lado, la turbiedad se determina por la cantidad de luz dispersada o atenuada por la materia presente en el líquido. Esta medición puede verse alterada por la materia orgánica e inorgánica disuelta, que hace parte de los sólidos en suspensión, ya que esta puede causar alteraciones en las lecturas, aumentado el valor de turbidez si existe una gran concentración de sólidos (Leal, 2016).

El valor del PH aumenta en el agua de escorrentía pluvial por inclusiones de sustancias orgánicas e inorgánicas, como algunos minerales, ácidos húmicos, que se trasportan desde la parte superior de la cuenca de aporte y otras sustancias producto de los vertimientos y acumulación en las superficies por procesos de mantenimiento de maquinarias y vehículos, como el cambio de aceites, ácidos de baterías, ACPM e hidrocarburos.

Diseño zona de bioretención para el control de escurrimiento pluvial para diferentes eventos hidrológicos

El diseño de la zona de bioretención inicia con la caracterización morfológica de la cuenca de estudio, en la Tabla 2 se presenta la información mínima para entender la naturaleza y comportamiento de la cuenca para el diseño del sistema de drenaje sostenible.

Tabla 2. *Morfometría cuenca semiurbana Figueroa*

Características físicas		
Parámetro	Unidad	Valor
		1,516
		1,780
Forma de la cuenca		
	-	1,50
	-	0,230
Sistema de drenaje		
		0,213
Características del relieve		
		18,24

De acuerdo a los resultados presentados en la Tabla 2, según su área puede clasificarse como microcuenca que desemboca en la subcuenca del río Pasto, según el uso predominante de la tierra se clasifica como microcuenca suburbana. El cauce principal de la microcuenca es la quebrada Figueroa con una longitud 1.78 km.

Por otro lado, de acuerdo al coeficiente de compacidad y factor de forma, la microcuenca es redonda a oval-alargada, lo cual indica que es poco susceptible a crecidas, porque este tipo de forma no tiende a acumular grandes volúmenes de agua (Ordóñez, 2011). Sin embargo, la cuenca es catalogada como semiurbana, donde los efectos de la urbanización, capacidad de los colectores e invasión de la ronda hídrica han provocado algunas situaciones y fenómenos de inundación.

La pendiente media de la microcuenca es considerada como accidentada y determina el efecto del agua al caer a la superficie por la velocidad que adquiere con una escorrentía medianamente veloz, de esta manera, sus hidrogramas tienden a tener un tiempo de respuesta medianamente rápido a la precipitación, incrementando los caudales de punta (Gonzáles, 2004).

A continuación se presenta los parámetros establecidos para las capas de la zona de biorretención, teniendo en cuenta los criterios de la EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos) y el Reglamento técnico del sector de agua potable RAS

Tabla 3. *Parámetros de diseño Zona de Biorretención*

Superficie		
Parámetro	**Unidad**	**Valor**
Altura berma	mm	0
Volumen de vegetación	Fracción de volumen	0,1
Rugosidad de la superficie (Coeficiente de Manning)	Adimensional	0,41
Pendiente de la superficie	Porcentaje (%)	1
Suelo		
Espesor	mm	350
Porosidad	Fracción de volumen	0,463
Capacidad de campo	Fracción de volumen	0,232
Punto de marchitez	Fracción de volumen	0,116
Conductividad	mm/h	3,3
Cabeza de succión	mm	8,9
Almacenamiento		
Espesor	mm	150
Razón de vacío	Volumen de vacíos/peso solidos	0,6
Factor de obstrucción	Adimensional	0
Drenaje		
Exponente de flujo	Adimensional	0,5
Altura de desplazamiento	mm	100

En lo referente a la superficie de la zona, se estableció una altura de la berma 0, que es la barrera de separación que existe entre la zona y la calle, aunque este parámetro puede obviarse, se estableció esta altura con el objetivo de que la evacuación de toda la escorrentía superficial sea descargada en la zona de biorretención.

La vegetación que se escogió para la superficie fue Grama común (*Cynodon Dactylon*), ya que es una especie de planta con alta resistencia a enfermedades, soporta bajas temperaturas y la escasez de agua, como su sistema radicular y tallos es muy denso tiene un coeficiente de rugosidad mayor 0.41, el cual disminuye la tasa de infiltración y la posible saturación del sistema. La pendiente de la zona es 0, para garantizar el drenaje y evacuación en todo el sistema.

Para el caso de la capa de suelo, se estableció un espesor de 350 mm, que junto con el espesor de la capa de almacenamiento forman la altura, según criterios de diseño del RAS, debe existir entre el terreno y el lomo de la red de tuberías 1,2 m, por tal motivo no se puede dimensionar una zona de bioretención mayor a esta profundidad.

Por otro lado, se escogió una textura que ofrece mayor rendimiento en cuanto a capacidad de amortiguación y de transporte, se tuvo en cuenta propiedades del suelo, como permeabilidad, capacidad de retención de agua y nutrientes; de esta manera, se seleccionó un suelo con textura franco, el cual se caracteriza por tener una permeabilidad media, capacidad de retención de agua y de nutrientes media y media-alta respectivamente; esta textura, además tiene características fisicoquímicas con unos valores específicos, entre los que se encuentran la porosidad de 0.46, siendo la relación que existen entre el volumen de espacios de poro y el volumen total del suelo. Tiene una capacidad de campo de 0.23, que es el punto donde el suelo después de estar saturado puede retener agua hasta llegar a un punto de estabilización; este tipo de textura se caracteriza por tener valor de punto de marchitez de 0.012, lo cual hace referencia a que el volumen de agua por debajo de esta fracción no será drenado (Durán, 2000).

Un suelo con una mayor conductividad hidráulica representa mayor facilidad con la que el medio deja pasar el agua a través de él por unidad de área transversal en la dirección del flujo y esto lo determina la textura po la cual está constituido el medio, debido a esto un suelo franco evita que haya un rápido transporte del agua hacia la zona de almacenamiento, su valor característico es 3.3 mm/h (González, 2004).

El modelo de infiltración que se escogió es el de GREEN-AMP, el cual emplea como valor promedio de altura de cabeza de succión de 8.9 mm, representando la succión capilar del suelo a lo largo del frente de humedecimiento (Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos [GMMF], 2005).

En la capa de almacenamiento se tiene en cuenta el espesor de la zona donde se va a almacenar el agua de escorrentía en un evento hidrológico, se determinó teniendo en cuenta criterios de ubicación de la red de tuberías del RAS, además, se tuvo en cuenta valores típicos recomendados y establecidos por el software SWMM, por lo anterior se otorgó un valor de 750 mm de espesor (GMMF, 2005).

De la misma manera, se escogió un medio de almacenamiento y soporte con el cual se pueda alcanzar el mayor rendimiento y capacidad de amortiguamiento, en este caso se escogió la grava, la cual se caracteriza por su tamaño y forma, generando dificultad en compactación y acomodamiento (Leoni, 2001), tiene un coeficiente de vacío de 0,6, este valor relaciona la cantidad de espacios con respecto al peso total del sólido, por lo cual se considera como un buen medio amortiguador.

La capa de almacenamiento contiene un sistema de drenaje convencional que recolecta el agua que ingresa a la capa y la transporta a un drenaje de descarga, para permitir que se llene completamente el volumen de almacenamiento antes de que drene, se ubicó el drenaje en la parte superior de la capa, con una altura de desplazamiento de 100 mm, siendo la distancia que hay entre la línea de drenaje hasta la parte inferior de la capa de almacenamiento. El exponente de flujo determina la tasa de flujo a través de un drenaje en función de la altura del agua almacenada, por encima del desplazamiento del drenaje, un valor típico es 0.5, asumiendo que el drenaje solo tiene una sola salida en forma de orificio, como es el caso de estudio (GMMF, 2005). Posterior al dimensionamiento de las capas de la zona, se establecen los criterios de diseño para el dimensionamiento de la zona, los valores obtenidos del cálculo del tiempo de concentración se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. *Tiempo de concentración*

Tiempo de concentración	
Método	**Valor (min)**
RAS	57,46
Kirpich	17,53
Clark	55,24
Temez	29,20

El método escogido fue el sugerido por el RAS, el cual arrojo un valor de 57,46 minutos, valor que se aproximó a 60 minutos para obtener un numero entero. Este valor fue seleccionado porque la metodología que establece relaciona parámetros y variables que describen con mayor precisión el sistema de drenaje natural y artificial en la cuenca. Se escogió un tiempo de retorno de 3 años de acuerdo a especificaciones del RAS 2000, el cual establece que para áreas de aporte de tipo residencial menores o iguales a 2 y 10 Ha se utilice este periodo de retorno.

Los resultados de la aplicación del método racional y la metodología indicada en el Manual del Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. *Pre dimensionamiento zona de biorretención*

Pre dimensionamiento		
Parámetro	**Unidad**	**Valor**
Caudal de diseño		4,15
Caudal de evacuación		0,04
Volumen de almacenamiento		14.816
Profundidad		1,1
Área		13.469

En la Figura 4 se muestra la composición y estructura de la zona de biorretención diseñada.

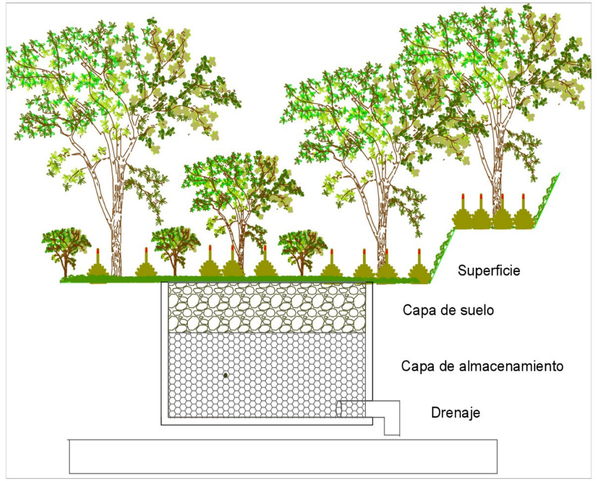


Figura 4. Esquema zona de biorretención.

Conclusiones

Se puede evidenciar que durante un evento de precipitación en la cuenca de estudio se lleva a cabo un fenómeno de lavado de contaminantes, determinado por el aumento de las concelebraciones de DBO5, solidos suspendidos totales, turbiedad y pH, en el momento en que se va acercando hacia el valor máximo de caudal del evento de referencia.

Debido a las características en lo referente al grado de intensidad en los eventos analizados, se tuvo un efecto directo en la escorrentía superficial, disminuyendo su capacidad de dilución, de tal forma que las concentraciones de contaminante aumentaron.

Los sistemas de drenaje sostenible, en especial las zonas de biorretención, se presentan como un elemento integrador ciudad-naturaleza-sociedad muy importante, se considera como una herramienta de diseño urbano, además, de caracterizarse por tener bajos costos en su construcción y mantenimiento del drenaje.

Los métodos tradicionales de drenaje urbano presentan problemas y carencias que pueden solucionarse mediante el uso de métodos de drenaje sostenible, siendo alternativas innovadoras, además de mejorar el paisaje urbano, que dependiendo del tipo de materiales escogidos para la composición de cada una de las capas de la zona de biorretención, determinan directamente el funcionamiento de la misma, interfiriendo en la disminución de la tasa de infiltración, aumento en el tiempo de retención y en la capacidad de amortiguación del sistema.

Referencias

Duarte, M. (2009). *Propuesta Metodológica para la Medición y Análisis del Fenómeno de Primer Lavado (first flush) en Cuencas Urbanas - Campus Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

Durán, A. 2000. Propiedades hídricas de los suelos. Cátedra de Edafología. Área de Suelos y Aguas. Facultad de Agronomía. Universidad de la República.

Gerena, J. y Mora, M. (2017). *Evaluación de parámetros fisicoquímicos en agua lluvia de escorrentía en tres puntos con tipos de suelo industrial, residencial y vehicular en Bogotá con proyección a sistemas urbanos de drenaje sostenible* (tesis de pregrado). Universidad Santo Tomás de Aquino, Bogotá, Colombia. Recuperados de https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/9236/GerenaJuan2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gonzáles., A. (2004). Análisis Morfometrico de la cuenca y de la Red de Drenaje del Río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas. *Boletín de la A.G.E., 38,* 311-329.

Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos (GMMF) (Trad.). (2005). SWMM modelo de gestión de aguas pluviales 5.O vE. Manual de Usuario. Recuperado de http://www.instagua.upv.es/swmm/descargas/Manual_SWMM5vE.pdf

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2010). Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas. Recuperado de https://corponor.gov.co/corponor/sigescor2010/TRAMITESYSERVICIOS/Guia_monitoreo_IDEAM.pdf

Leal. P. (2016). *Estudio de los flujos de contaminación transportados por un sistema de saneamiento y drenaje unitario en tiempo de lluvia para la ciudad de Murcia* (tesis de maestría). Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, Colombia. Recueprado http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/5722/tfm-esp-est.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Malilay, J. (2000). Inundaciones. En: E. Noji (Ed.). *Impacto de los desastres en la salud pública* (pp. 287-304). Bogotá: Organización Panamericana de la Salud. OPS/OMS

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2005). Incorporando el riesgo en los POT. Recuperado de https://www.boyaca.gov.co/SecInfraestructura/images/CDGRD/Guias%20Planes%20Gesti%C3%B3n%20del%20Riesgo/Incorporando%20el%20Riesgo%20en%20los%20POT.pdf

Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS-2000 sistema de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales. Bogotá. Recuperado de http://epmsibate.com:3000/pdf/RAS-TITULO-D.pdf

Ministerio de la Vivivenda y Urbanismo de Chile. (1996). *Técnicas alternativas para soluciones de aguas lluvias en sectores urbanos: Guía de diseño*. Chile: MINVU.

Moreno, F. y Esquivel, J. (2015). *Estudio Morfométrico de la cuenca del Río Azul, afluente del río Calima, departamento del valle del cauca* (trabajo de grado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Recuperdo de http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/2126/1/MorenoGrandeFredyAlberto2015.pdf

Ordóñez, J. (2011). ¿Qué Es Cuenca Hidrológica? (cartilla técnica). Lima, Perú: Sociedad Geológica de Lima. Recuperado de https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf

Organización Panamericana de la Salud. (2006). Hospitales seguros ante inundaciones (serie mitigación de desastres). Washington: OPS. Recuperdo de http://helid.digicollection.org/pdf/s13490s/s13490s.pdf

Sanhueza, U. (2012). Contaminación en escorrentía pluvial urbana. Aspectos generales. *Revista científico tecnológica departamento ingeniería de obras civiles, 1,* 19-25.

Variabilidad Espacio-Temporal de Nitratos en la Zona Saturada del Suelo, vereda El Motilón

Yerson Camilo Contreras Cortes[96]
Efrain Muñoz Realpe[97]
Jenny Lucia Huertas Delgado[98]

Resumen

La presente investigación se realizó por la problemática que se evidenció en el corregimiento El Encano, ya que existe alta producción piscícola, lo que genera gran cantidad de vísceras de trucha. Ante esta situación, la población viene realizando una mala disposición de las vísceras, lo cual está causando alteraciones ambientales. Por lo anterior, se desarrolló esta investigación, la cual tiene como objetivo, determinar la concentración de nitratos en la zona saturada del suelo, mediante un diseño de experimentos. Para analizar la variabilidad de concentración de nitratos en la zona saturada del suelo se realizó un levantamiento topográfico con el teodolito; posteriormente, se realizó una división y se efectuó una serie de 16 pozos; este diseño se efectuó para estimar la variación espacio-temporal de concentración de nitratos en la zona de estudio y determinar cómo se comporta la concentración en la zona saturada del suelo. Los resultados son mapas y análisis estadísticos de concentración de nitratos en los meses de marzo, abril y mayo.

[96] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: yecontreras@umariana.edu.co

[97] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: efmunoz@umariana.edu.co

[98] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: jlhuertas@umariana.edu.co

Palabras clave: contaminación, concentración, nivel freático, nitratos, variación, vísceras, zona saturada.

Spatio-Temporal Variability of Nitrates in the Saturated Zone of the Soil, Path Motilón

Abstract

The present research was carried out due to the problem that was evidenced in El Encano village, since there is high fish production, which generates a large amount of trout viscera, a situation before which the population has been making a bad disposition, and has caused therefore, environmental alterations. Therefore, the objective was to determine the concentration of nitrates in the saturated area of the soil, through a design of experiments. To analyze the nitrate concentration variability, a topographic survey was carried out with the theodolite; subsequently, a division was made and a series of 16 wells were made. This design was made with the aim of estimating the spatio-temporal variation of nitrate concentration in the study area and determining how the concentration in the saturated soil area behaves. The results are maps and statistical analysis of nitrate concentration in the months of March, April and May.

Key words: Contamination, concentration, phreatic level, nitrates, variation, viscera, saturated zone.

Variabilidade espaço-temporal de nitratos na zona saturada do solo, Vereda El Motilón

Resumo

A presente investigação foi realizada devido ao problema evidenciado no distrito de El Encano, uma vez que a produção de peixes é alta, o que gera uma grande quantidade de vísceras de truta, situação em que a população está em má disposição e causa como conseqüência, alterações ambientais. Portanto, o objetivo foi determinar a concentração de nitratos na área saturada do solo, através de um delineamento de experimentos. Para analisar a variabilidade da concentração de nitrato, foi realizado um levantamento topográfico com o teodolito; posteriormente, foi feita uma divisão e uma série de 16 poços. Este projeto foi realizado com o objetivo de estimar a variação espaço-temporal da concentração de nitrato na área de estudo e determinar como se comporta a concentração na área saturada do solo. Os resultados são mapas e análises estatísticas da concentração de nitrato nos meses de março, abril e maio.

Palavras-chave: poluição, concentração, lençol freático, nitratos, variação, vísceras, zona saturada.

Introducción

Debido a la creciente amenaza de contaminación en las zonas saturadas de América latina, existe una necesidad de protección de las mismas, muestra de ello, son las entidades preocupadas por esta problemática (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), Organización Mundial de la Salud (OMS)-Organización Panamericana de la Salud (OPS), UNESCO y su programa Hidrológico Internacional a través de su oficina regional de ciencia y tecnología). Desde hace varios años, la contaminación de las zonas saturadas ha empeorado, ya que la situación en algunos países de Latinoamérica se ha tornado crítica, en parte, porque muchos de los acuíferos que abastecen de agua a numerosos municipios han sufrido sobreexplotación y aumento de la contaminación. Por lo tanto, como objetivo general de la investigación se plantea: evaluar la variación y movimiento espacio-temporal de la concentración de nitratos en la zona saturada del suelo, a través de una sucesión de pozos en un transecto cercano a la Laguna de la Cocha, vereda el Motilón, corregimiento de El Encano, teniendo en cuenta que existe la necesidad de proteger las zonas saturadas, puesto que este recurso es de vital importancia para el equilibrio de los sistemas y el consumo humano. “A escala mundial, los acuíferos están experimentando una creciente amenaza de contaminación causada por la urbanización, actividades agrícolas y el desarrollo industrial y emprendimientos mineros” (Foster, Hirata, Gomes, D’Elia y Paris, 2002, p.2).

Desarrollo

Metodología

Para el desarrollo de la presente investigación, primero se realizó la ubicación del lugar de estudio, la cual cuenta con un área de 1.512 m^2, posteriormente, se realizó el dimensionamiento de la zona para dividir las parcelas con una misma medida, para lo cual se utilizó piola. Adicionalmente, se realizó la poda y se limpió varias veces la zona de estudio, debido a que el terreno se encuentra cercano a la laguna y por tanto tiende a inundarse fácilmente; por este motivo, fue necesario construir una sequía, la cual se implementó desde el centro de la zona de estudio hasta la orilla de la laguna, con el fin de drenar el agua y proceder a realizar los pozos. En cuanto a la construcción de los pozos, se utilizó una pala y un barrero, con los cuales se extrajo el suelo para obtener un pozo de una profundidad aproximada de 80 cm. Luego, se incorporó alrededor del pozo grava, la cual funciona como filtro y retiene una alta cantidad de sedimentos y aporta una mayor resistencia en la zona de estudio (Alonso, 2014). El proceso se realizó con 16 pozos, para posteriormente implementar los piezómetros.

Para la construcción de los piezómetros se adquirió tubos de PVC de 1,5 metros de largo y con un diámetro de 3”, los cuales fueron marcados respectivamente para cada tratamiento, en la parte inferior se realizó diferentes orificios con un taladro, con el fin de que el agua de la zona saturada pueda ingresar dentro del tubo, además, los tubos fueron envueltos en la parte de las perforaciones con un filtro, cuya función es retener los sedimentos, evitando que estos ingresen al pozo. Este proceso se lo realizó en el campus sede Alvernia de la Universidad Mariana.

Para entender el movimiento de la zona saturada del suelo se realizó un levantamiento topográfico con ayuda del teodolito de los puntos de ubicación de los pozos, para lo cual se realizaron mediciones de nivel freático. Ahora bien, en lo referente a la toma de muestras para conocer la concentración de Nitratos en la zona saturada del suelo, se procedió a realizar la implantación de pozos, inicialmente se realizaron agujeros con ayuda de un barreno, llegando hasta la capa freática, que fue tomada como referencia para colocar las profundidades de estos. Posterior a esto, se introdujeron tubos de PVC a diferentes profundidades, de acuerdo al lugar en el que se encontraban (entre más cerca a la orilla de la laguna mayor profundidad), teniendo en cuenta que este sobresaliera del suelo para poder manipular con facilidad y a los cuales se les realizaron perforaciones en la parte inferior a modo de colador, con el fin de que el agua subterránea pueda ingresar al tubo. Por otro lado, para tener un pozo cuya tubería estuviera fija y segura se agregó gravilla alrededor sin dejar espacio entre el tubo y el agujero.

Así las cosas, para poder obtener las muestras de la zona saturada del suelo de los 16 pozos se utilizó un tubo de PVC de 1,5 metros de largo, que permitiera llegar desde la parte superior de la tubería del pozo hasta el agua dentro de este. Para realizar la toma de la muestra se ubicó una botella plástica de 500 ml, agarrada a un extremo del tubo con alambre, a la cual previamente se le realizó un lavado con disolución de agua destilada y HCl al 5 % para no tener contaminantes que afecten la calidad de los resultados; cabe aclarar que el proceso descrito se refiere a la toma de una sola muestra, dado que para cada pozo se tuvo una botella diferente y se siguió el proceso descrito.

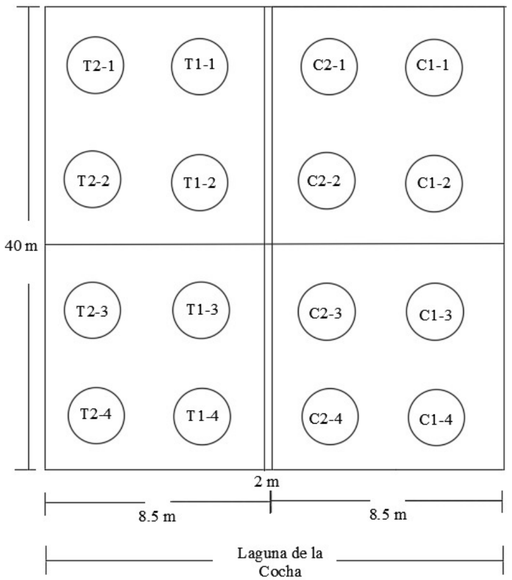


Figura 1. Distribución de los pozos de muestreo en la zona de estudio.

El diseño presentado (ver Figura 1) se realizó con el fin de evaluar los cambios que puedan tener las concentraciones de nitratos en la zona saturada del suelo y la variación de los vectores de flujo a través del tiempo y en el espacio. Las muestras recolectadas se trasladaron en neveras de icopor con geles refrigerantes para poder preservar las muestras, después fueron llevadas al laboratorio de la Universidad Mariana para el análisis de nitratos, por medio del método espectrofotométrico ultravioleta (UV), el cual mide la absorbancia del nitrato a 220 nm, brindado por el estándar método para análisis de agua y aguas residuales, 2005.

Para la obtención de los mapas de concentración de nitratos se utilizó el software Surfer 11 (Golden Software, Inc., Golden, Colorado, USA), además, para el análisis estadístico y gráficas de concentración de nitratos se utilizó el software SigmaPlot (Systat Software Inc.)

Resultados

Para poder cumplir a cabalidad con el objetivo de evaluar la variación y movimiento espacio-temporal de la concentración de nitratos en la zona saturada del suelo, a través de una sucesión de pozos en un transecto cercano a la Laguna de la Cocha, vereda el Motilón corregimiento de El Encano, se tuvieron en cuenta las mediciones de nivel freático y la medición de la zona de estudio para conocer el nivel del suelo.

Teniendo en cuenta la toma de muestras en diferentes meses (marzo, abril y mayo) y para conocer cuál ha sido la variación en la concentración de nitratos, se realizaron los mapas de concentración de nitratos, para determinar en qué punto se encuentra la mayor y menor concentración en la zona de estudio. Además, se realizó un análisis estadístico de los meses de marzo, abril y mayo, con el fin de evidenciar el comportamiento de los datos y cómo estos varían mes a mes con respecto a cada pozo.

Análisis y Discusión

Se hizo una comparación de la concentración de nitratos en los meses de marzo, abril y mayo, para esto, se utilizó el software SigmaPlot (Systat Software Inc), del cual se obtuvieron gráficas de análisis estadístico.

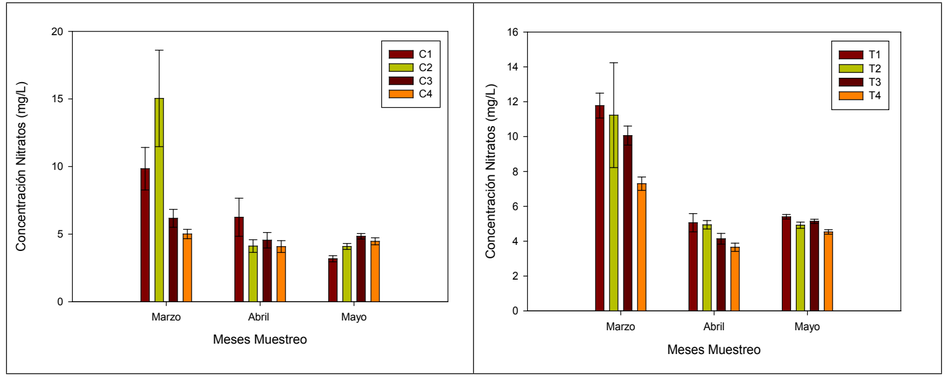


Figura 2. Variación de la concentración de Nitrato en los tres meses de muestreo para los diferentes pozos de estudio separando Parcelas Control (C) y Parcelas Tratamiento (T) (n = 3 en cada caso). Las barras de error indican el error estándar de los datos.

En la Figura 2 se puede apreciar el comportamiento de la concentración de nitratos para los meses de marzo, abril y mayo; es necesario tener en cuenta que los meses de febrero y marzo fue un periodo en donde se estabilizó el terreno, por esto las concentraciones de nitratos en el mes de marzo son elevadas, mientras que para los meses de abril y mayo se evidencia un comportamiento más natural de este nutriente. Además, la disminución de concentración de nitratos en los meses de abril y mayo pueden ser causadas por las altas precipitaciones que se presentaron en la vereda El Motilón en aquel tiempo, según lo dicho por la Unites States Environmental Protection Agency (EPA) (2002) "La Lluvia o agua de irrigación puede transportar los Nitratos a través de la tierra al agua subterránea, contaminando el agua potable" (p. 1). Para los meses de marzo, abril y mayo se evidencio una precipitación de 81,94 mm, 142,75 mm y 137,75 mm respectivamente, por lo cual se puede constatar que la precipitación influye en los valores de concentración de nitratos. Los datos de precipitación fueron suministrados por el IDEAM.

Para determinar el comportamiento de la concentración de nitratos se utilizó el software Surfer 11 (Golden Software, Inc., Golden, Colorado, USA), con el cual se realizaron los mapas de distribución espacial y temporal (ver Figura 3).

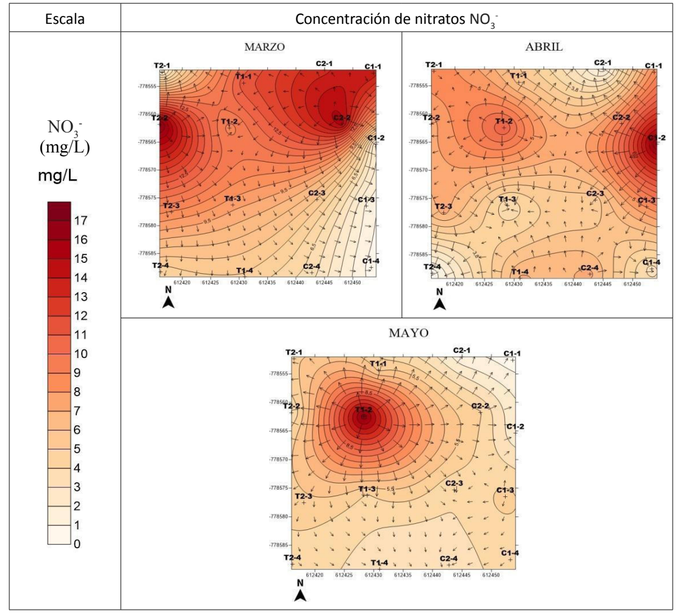


Figura 3. Variación espacial y temporal de la concentración de nitratos y vectores de flujo de agua subterránea en los meses de estudio.

En la Figura 3 se puede evidenciar que en el mes de marzo, la concentración de nitratos en los pozos T2-2, T2-1, C2-2, C2-1 fue de 16 mg/L. al realizar una relación con los meses de marzo, abril y mayo, se observa que la concentración del mes de marzo es mayor, puesto que el terreno se estaba estabilizando, los valores en este punto varían demasiado en comparación con los otros meses. Por su parte, Palomares (2013) afirma que:

> En las zonas donde se practica una agricultura intensiva se utilizan enormes cantidades de abonos químicos, a los que se suman los abonos naturales que provienen de los excrementos animales. Estos abonos suelen contener una cantidad importante de compuestos nitrogenados, como los nitratos, que en proporciones adecuadas mejoran el crecimiento de las plantaciones y aumentan su rendimiento. Sin embargo, cuando estos compuestos se encuentran en cantidades demasiado altas para que sean absorbidos por las plantas, se infiltran a través del suelo y alcanzan las [zonas saturadas], contaminando pozos y acuíferos. (párr. 2).

Así mismo, Pacheco y Cabrera (2003) afirman que:

> El problema con los nitratos, es que son contaminantes móviles en el agua que no son absorbidos por los materiales del acuífero y no precipitan como un mineral. Estos dos factores permiten, que grandes cantidades de nitrato disuelto permanezcan el en agua (…). Debido a su naturaleza soluble los nitratos tienden a viajar grandes distancias en la subsuperficie, especialmente en sedimentos altamente permeables o rocas fracturadas. (p. 47)

Por lo mencionado y según se evidencia en los mapas, concentraciones altas de nitratos se observan en lugares del terreno donde existe mayor cantidad de sedimentos, y por lo tanto pueden estar reteniendo este nutriente. Montiel, Armienta, Rodríguez y Domínguez (2014) resaltan que "los nitratos se encuentran naturalmente en muchos ecosistemas acuáticos en moderada cantidad. (…) pueden relacionarse con actividades volcánicas o procesos de consolidación de sedimentos" (p. 150).

De igual manera, se puede apreciar que para los meses de abril y mayo el terreno se estabilizó y los valores de concentración fueron más acordes entre sí (ubicación de la laguna ver Figura 1). También, se observa que los valores de la concentración de nitratos van variando a lo largo del terreno y de los meses de estudio, puesto que el agua está en constante movimiento y los pozos se encuentran en una constante recarga. El Instituto de Ciencias Agrarias – CSIC, de España afirma:

> Aunque el suelo es sólido, existen huecos entre las partículas que lo conforman llamados poros por los que el agua puede fluir. (…). En estos huecos o poros el agua puede quedar retenida durante periodos largos de tiempo, permitiendo que las plantas absorban los nutrientes que transporta. Según el tamaño y la forma de los poros el suelo tendrá mayor o menor capacidad de retención de agua. (p. 1).

Por lo tanto, se puede evidenciar que la concentración en el terreno es heterogénea y en algunos puntos existe mayor cantidad de nutrientes, dependiendo de las condiciones del terreno y de la capacidad para retener agua y nutrientes.

Conclusiones

La concentración de nitratos presentó una disminución significativa en los meses de abril y mayo, esto se puede relacionar con las altas precipitaciones en la vereda El Motilón, el mes de abril presentó una precipitación de 142,75 mm y el mes de mayo presentó una precipitación de 137,75 mm, de lo cual Coras- Merino (2009) refiere que:

> Las fuentes de agua de mayor importancia que pueden producir recarga del manto freático son: precipitaciones, riego y escurrimiento subterráneo. De acuerdo con el balance hidrológico del subsuelo que supone el diseño de una red de drenaje, el estimador relevante de la recarga del manto es la acumulación de agua de lluvia o riego en el perfil del suelo. (p, 375).

El mes de marzo se presentó una precipitación de 81,94 mm, estos datos de precipitación mensual corroboran que la precipitación está ligada a la concentración de nitratos, ya que en el mes de marzo se evidenció la mayor concentración de nitratos y la menor precipitación de los 3 meses de estudio.

En los pozos T2-2 y T2-1 se obtuvo concentraciones de nitratos elevadas en la zona saturada del suelo de 17 mg/L, los elevados niveles de concentración en estos pozos se debe a que los vectores de flujo se dirigen hacia los puntos T2-2 y T2-1), que es donde se acumula mayor concentración de nitratos. Además, la concentración de nitratos está relacionada con la cercanía de los pozos a la laguna de La Cocha, por esta razón a los pozos que se encuentran en mayor proximidad a la laguna se les realiza un lavado continuo del suelo y la zona saturada, transportando los contaminantes por el terreno de estudio.

Referencias

Alonso, J. (2014). *Diseño basado en técnicas de fiabilidad del tratamiento de mejora del terreno mediante columnas de grava* (tesis doctoral). Universidad politécnica de Madrid, España. Recuperado de http://oa.upm.es/26409/1/Jose_Alonso_Pollan.pdf

Coras-Merino, P. (2006). Elementos climáticos y su relación con la fluctuación del nivel freático. *Terra Latinoamericana, 24*(3), 375-382.

Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, y Paris, M. (2002). *Proteccion de la calidad del agua subterránea.* Washington: Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento

Instituto de Ciencias Agrarias. (2004). Propiedades físicas del suelo: la capacidad de retención de agua. Recuperdo de http://www.ciudadciencia.es/doc/files/agricultura%20sostenible%20en%20el%20aula/FICHA_PROPIEDADES_CC.pdf

Moltiel, S., Armientia, M., Rodríguez, R. y Domínguez, E. (2014). Identificación de zonas de contaminación por nitratos en el agua subterránea de la zona sur de la cuenca de México. *Revista internacional de coantaminación ambiental, 30*(2), 149-165.

Pacheco, J. y Cabrera, A. (2003). Fuentes Principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas. *Ingeniería, 7*(2), 47-54.

Palomares, A. (2013). Contaminación del agua por nitratos y técnicas para su tratamiento. Recuperado de https://www.esferadelagua.es/agua-y-tecnologia/contaminacion-del-agua-por-nitratos-y-tecnicas-para-su-tratamiento.

Unites States Environmental Protection Agency. (2002). Las preguntas comunes y sus respuestas sobre el Nitrato y el agua Potable. Recuperado de https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-12/documents/lower-yakima-valley-groundwater-faq-spanish-october-2012.pdf

Aprovechamiento de residuos sólidos en filtros anaerobios de flujo ascendente como medios de soporte biológico

Leidy Johana Hidalgo Salas[99]
Diana Marcela Guerrero Delgado[100]
James Rosero Carvajal[101]

Resumen

Como respuesta ante la problemática ambiental generada por el vertimiento de aguas residuales porcícolas de la granja Botana de la Universidad de Nariño, se implementó un conjunto de filtros anaerobios de flujo ascendente, tecnología biológica con resultados óptimos en la eliminación de materia orgánica y sólidos presentes en vertimientos industriales, lo cual depende principalmente de su medio filtrante. Con el fin de evaluar la viabilidad y eficiencia en la implementación de materiales reutilizados para este lecho, se seleccionó escombros, residuos de polietileno tereftalato (PET), polietileno de baja densidad (PEBD) y materiales convencionales como grava de canto rodado. Posteriormente, se realizó el seguimiento de los filtros mediante Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST). Los resultados evidenciaron que, una vez se estabilizó el sistema, el PEBD presentó mejores condiciones operacionales y eficiencia en la remoción de DBO5, con un porcentaje de 88,4 %. La grava fue el material óptimo para remover DQO, llegando a un promedio de 61,4 %, mientras el PET retuvo mejor los SST, alcanzando un porcentaje medio de 76,7 %. Las conclusiones son realizadas teniendo en cuenta la eliminación de los contaminantes, la competitividad de los precios y la facilidad de acceso a los materiales.

Palabras clave: eficiencia, medio de empaque, residuos reutilizados, tecnología biológica, tratamiento de aguas residuales.

Recovery of solid waste in anaerobic upstream filters as a means of biological support

Abstract

In response to the environmental problems generated by the discharge of porcine wastewater from the Botana farm, University of Nariño, a set of upflow anaerobic filters was implemented, a technology that presents optimal results in the elimination of organic matter and solids present in industrial discharges, which depends mainly on its filter medium. In order to evaluate the viability and efficiency of reused materials for this medium, elements such as debris, polyethylene terephthalate residues, low-density polyethylene waste (LDPE) and finally conventional materials such as round stone were selected. Subsequently, the Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD) and Total Suspended Solids (TSS) were monitored. The results show that once the system stabilized, LDPE presented better operational conditions and efficiency in the removal of BOD5 with a percentage of 88.4%. Rolled gravel was the optimum material to remove COD, reaching an average of 61.4%, while PET retained the SST better, reaching an average percentage of 76.7%. These conclusions are made taking into account the elimination of pollutants, the competitiveness of prices and the ease of access of materials.

Key words: efficiency, packing medium, reused waste, biological technology, wastewater treatment.

Aproveitamento de resíduos sólidos em filtros anaeróbios de fluxo ascendente como meio de suporte biológico

Resumo

Em resposta aos problemas ambientais gerados pela descarga de águas residuais de suínos da fazenda Botana da Universidade de Nariño, foi implementado um conjunto de filtros anaeróbicos de fluxo ascendente, uma tecnologia que apresenta ótimos resultados na eliminação de matéria orgânica e sólidos presentes nas descargas industriais, que dependem principalmente de seu meio filtrante. A fim de avaliar a viabilidade e a eficiência dos materiais reutilizados para este meio, foram selecionados elementos como detritos, resíduos de tereftalato de polietileno, resíduos de polietileno de baixa densidade (PEBD) e, finalmente, materiais convencionais, como cascalho de canto rodado. Posteriormente, foram monitoradas a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), a demanda química de oxigênio (DQO) e os sólidos totais em suspensão (TSS). Os resultados mostram que, uma vez estabilizado o sistema, o LDPE apresentou melhores condições operacionais e eficiência na remoção do DBO5, com um percentual de 88,4%. O cascalho laminado foi o material ideal para remover a DQO, atingindo uma média de 61,4%, enquanto o PET reteve melhor o SST, atingindo um percentual médio de 76,7%. Essas conclusões são tomadas considerando a eliminação de poluentes, a competitividade dos preços e a facilidade de acesso aos materiais.

Palavras-chave: eficiência, meio de embalagem, resíduos reutilizados, tecnologia biológica, tratamento de águas residuais.

[99] Programa de Ingniería Ambiental, Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: leidyclap@hotmail.com

[100] Programa de Ingniería Ambiental, Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: marchjr01@gmail.com

[101] Programa de Ingniería Ambiental, Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: jamesro0@hotmail.com

Introducción

La ejecución a escala comercial de actividades pecuarias trae consigo grandes retos ambientales (Pérez, T., Pérez, J. y Ravelo, 2005), pues el tratamiento y disposición de sus residuos ocasionan contaminación de las aguas superficiales y el subsuelo, al aportar significativos niveles de materia orgánica, agentes patógenos y nutrientes (Pinos-Rodríguez et al., 2012). Tal es el caso de la granja Botana, donde los efluentes de la porcicultura se vierten sobre un arroyo superficial, el cual tributa en la quebrada Miraflores, fuente de irrigación para los habitantes de la zona (Corporación Autónoma de Nariño [CORPONARIÑO], 2011). Este efluente entra a una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) que incluye biodigestores, desbaste por rejilla, trampa de grasas, sedimentación y un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA). Sin embargo, se requiere un mecanismo de pulimento para dicho vertimiento, pues el tramo de la quebrada donde tributa el arroyo superficial Botana es definido por CORPONARIÑO (2011) como de uso estético-paisajístico, con potencialidad agrícola, por lo cual los límites permisibles de contaminantes son más exigentes que la Resolución 0631/2015, requiriendo tratamientos eficientes en pro del bienestar de los usuarios del cuerpo receptor.

Por lo anterior, se propuso implementar una segunda etapa de FAFA, ya que esta tecnología es una de las mejores alternativas de postratamiento, con altas eficiencias en la remoción de sólidos suspendidos totales (SST) y compuestos orgánicos susceptibles a degradarse por medios biológicos (DBO_5) y químicos (DQO) (De Lemos, 2013), por la acción de biomasa microbiana adherida a un lecho fijo. El arreglo de los filtros se realizó teniendo en cuenta que los FAFA incrementan su capacidad de eliminación de contaminantes hasta en un 35 % cuando se disponen sucesivamente (Batero y Cruz, 2007).

Por otro lado, cabe resaltar que el lecho de soporte o medio filtrante retiene solidos no solo en forma de biopelícula bacteriana adherida a la superficie de los materiales que lo integran, sino también por suspensión en sus espacios vacíos y en forma de lodos que se ubican debajo de esta zona, asegurando así un efluente clarificado. Sin embargo, el lecho

de soporte suele ser grava (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000), material que aumenta el peso del sistema y encarece su construcción (De Lemos, 2013). Por ello, se propone la introducción de medios de empaque elaborados con residuos reutilizados, materiales de alta disponibilidad y bajos costos, que presentan una amplia problemática ambiental, por sus largos periodos de degradación y su inadecuada gestión en el ámbito local (Alcaldía de Pasto, 2007).

A nivel internacional, Villanueva (2012) evaluó la eficiencia de lechos de empaque alternativos en 2 FAFAS, para tratar aguas residuales domésticas en Chiapas, México. Los resultados apuntaron que el reactor que usó cáscara de coco como medio filtrante obtuvo una remoción en DQO del 80 %, frente al 75 % alcanzado por un filtro con lecho de grava. En el ámbito nacional, Cárdenas y Ramos (2009) aplicaron esta tecnología para aguas mieles de trapiches en el municipio de Sandoná, Nariño, donde la concha marina alcanzó las mejores eficiencias de remoción en DQO y DBO_5, del orden de 89,7 % y 87,8 % respectivamente, frente a otros elementos, como canto rodado, material sintético y vitrificado.

El objetivo de este estudio fue evaluar la eficiencia en remoción de carga orgánica de cada material reutilizado como medio de soporte para los FAFAS, en el tratamiento de aguas residuales porcícolas de la granja experimental Botana. Para ello se realizó el diseño y montaje de los reactores teniendo en cuenta las características del afluente. Posteriormente, se determinaron los porcentajes de remoción obtenidos en el efluente de cada FAFA, en términos de DBO, DQO y SST.

La metodología empleada fue cuantitativa puesto que se basó en la objetividad, evidencia empírica y cuantificación; con un análisis de datos deductivo y estadístico, orientado a la comprobación o falsación del problema formulado. El método tiene un enfoque cuasi-experimental, pues produce una manipulación de la variable independiente (el lecho filtrante), para medir su efecto sobre las variables dependientes (Rodríguez y Valldeoriola, 2009).

Metodología

Fase I. Diseño de los filtros anaerobios de flujo ascendente

Visitas de campo y caracterización del afluente. Se efectuaron visitas a la zona, estableciendo el sitio óptimo para ubicar los filtros y aforando el caudal por método volumétrico (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2004) en un recipiente graduado de 10l cada 30 min. Se realizaron muestreos puntuales durante 2 fechas, en el punto previo a la descarga en aguas superficiales durante la hora pico de producción en la zona porcícola. Los parámetros de seguimiento fueron DQO, DBO_5 y SST. Estos dos últimos esenciales para medir la materia orgánica y estimar la tasa retributiva según el Decreto 1076 de 2015.

Índice de Biodegradabilidad. Con los valores de la caracterización se estimó la relación DBO/DQO, determinando qué tan degradable por medios biológicos era dicha agua residual (Bermúdez-Savón, Hoyos-Hernández y Rodríguez-Pérez, 2000).

Selección, recolección y adaptación de materiales para el lecho. Según los criterios de De Lemos (2013), se elaboró una matriz de selección de materiales, obteniendo los que mejor se ajustaran al estudio. Se recolectó dichos materiales en sectores comerciales, residenciales y rurales y se modificó su estructura para optimizar su área específica (Parra, 2006), finalmente se midió su porosidad.

Diseño de los FAFAS. Fueron diseñados cuatro filtros de medidas iguales, donde la única variable independiente fue el material del medio de soporte. El diseño siguió las consideraciones de Romero (2004), Ministerio de Desarrollo Económico (2000) y Alvarado (2011). Para el caudal de diseño se tuvo en cuenta el tiempo de retención hidráulica (TRH) y el volumen útil, estimado a partir de la porosidad de los materiales del lecho.

Fase II. Implementación del sistema

Inoculación del material filtrante. Se sometió los materiales a una mezcla con lodos del segundo biodigestor de la PTAR (Torres, Rodríguez y Uribe, 2003), en recipientes plásticos con condiciones de invernadero.

Montaje del sistema. Se niveló el terreno y se implementó una estructura de soporte en madera y metal. Los filtros se construyeron en tubos de PVC y se utilizaron tapas plásticas para elaborar el falso fondo. El componente hidráulico se construyó con una bomba sumergible, conectada a un tanque de almacenamiento que distribuye el agua a los reactores. Todo el sistema se conectó por medio de mangueras, tubos y accesorios de conexión.

Arranque de los filtros. Se puso en marcha un proceso de adaptación del sistema, caracterizado por la inestabilidad en el rendimiento. Esta etapa se monitoreó con muestreo y análisis de los efluentes.

Fase III. Evaluación de los filtros anaerobios

Caracterización del efluente. Se determinó una frecuencia y número de muestras por recomendación del laboratorio químico y de aguas UDENAR y con base en el presupuesto del estudio. La toma de muestras se realizó después de la inoculación del lecho, desde la semana 4 hasta la semana 14. La recolección semanal de muestras puntuales se realizó con instrucciones del laboratorio y el IDEAM (2004). Con los resultados se estableció la eficiencia de remoción, confrontando las concentraciones de contaminantes en el afluente y en el efluente de cada reactor.

Análisis estadístico. Se estimó la desviación estándar de las eficiencias por cada filtro en el software Excel 2010. Luego se efectuó una prueba de normalidad Shapiro-Wilk, que indicó la forma de distribución de los datos para las concentraciones en los efluentes. Posteriormente, se realizó un test de homogeneidad de varianzas mediante el estadístico de Levene, y finalmente, se llevó a cabo un análisis de varianzas de un factor ANOVA, donde se estableció si existían diferencias significativas entre los FAFA, por medio de una prueba de hipótesis con un nivel de significancia de 0,05 (Chaux y Zambrano, 2011).

Análisis de precios según el material del medio. Se comparó los promedios de eficiencia en remoción de los contaminantes y de los costos de adquisición por m^3 de cada material filtrante, estableciendo el sistema más viable técnica y económicamente.

Resultados

Fase I. Diseño de los filtros

Visita de campo y caracterización del afluente. Se definió que los filtros irían ubicados a la salida de la PTAR, en la caja de aforo y muestreo final, siguiendo las consideraciones de diseño de Batero y Cruz (2007). (Ver Tabla 1).

Tabla 12. *Resultados de las jornadas de caracterización y aforo de caudal 2017*

Jornada de muestreo y aforo de caudal	Q (l/s)	Resultados caracterización (mg/l)			Valores límite (mg/l) Resolución 0631/2015			Objetivos calidad Q.Miraflores (mg/l)	
		DBO_5	DQO	SST	DBO_5	DQO	SST	DBO_5	SST
1	0,12	203,58	415	37					
2	0,11	257,51	725,7	80					
Promedio	0,115	230,54	570,3	70	450	900	200	3	5

La Tabla 1 indica que los vertimientos cumplen con los niveles permitidos por la Resolución 0631/2015 para descargas de la cría de porcinos (MADS, 2015), pero se alejan de los requeridos por los objetivos de calidad del cuerpo receptor quebrada Miraflores (CORPONARIÑO, 2011), siendo no aptos para el uso estético-paisajístico con potencialidad agrícola al que están destinados.

Índice de biodegradabilidad: La relación DBO/DQO fue de 0,4, valor que indica que el vertimiento es degradable por métodos biológicos y en especial por un proceso anaerobio (Bermúdez et al., 2000), siendo los FAFAS propuestos pertinentes en este punto.

Selección, recolección y adaptación de materiales para lecho filtrante: Los elementos definidos para el medio fueron grava de canto rodado, escombros y residuos de Polietileno de Baja Densidad (PEBD) y Polietileno Tereftalato (PET), como se observa en la Figura 1. Estos materiales cumplen con las recomendaciones de De Lemos (2013), puesto que son biológica y químicamente inertes, resisten el desgaste y las fuerzas mecánicas y presentan elevadas porosidades, del orden de 40 %, 67 %, 74 % y 76 % respectivamente. Cabe resaltar que el PEBD, PET y los escombros son abundantes y de bajo costo, a diferencia de la piedra que incrementa la inversión inicial. La forma de dichos elementos fue modificada para aumentar el área de contacto y los espacios intersticiales útiles para el desarrollo de la biopelícula.

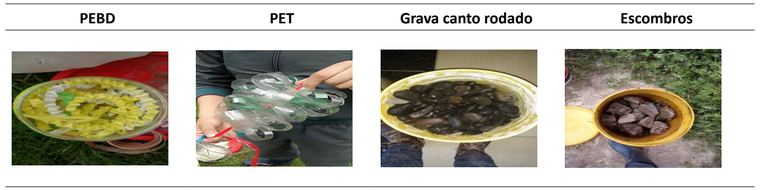


Figura 1. Materiales de lechos filtrantes.

Como lo evidencia la Figura 1, todos los materiales alternativos al tradicional son residuos, pues según la Resolución 0330/2017, este tipo de obras deberán propender por utilizar materiales reutilizables y/o reciclables (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Teritorio 2017).

Diseño de los FAFAS. Mediante procedimientos establecidos por el RAS 2000, Romero (2004) y Alvarado (2011), se obtuvieron los datos consignados en la Tabla 2.

Tabla 2. *Dimensiones y parámetros de diseño de Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente*

Filtro	Caudal de diseño (l/h)	Volumen útil (l)	Volumen filtros (l)	Altura total (m)	Altura del medio (m)	TRH (h)
PEBD	2,3	12,1	16	1,35	0,9	5,25
Grava canto rodado	1,2	6,6				
PET	2,4	12,5				
Escombros	2,1	11				

Dado que el caudal se estimó a partir del volumen útil, utilizando la porosidad (Méndez, Vidal, Lorber y Márquez, 2007), la grava de canto rodado presenta un caudal de diseño bajo en comparación con los demás reactores como se evidencia en la Tabla 2, ya que es el material menos poroso. La Figura 2 muestra el diseño estándar propuesto para todos los filtros.

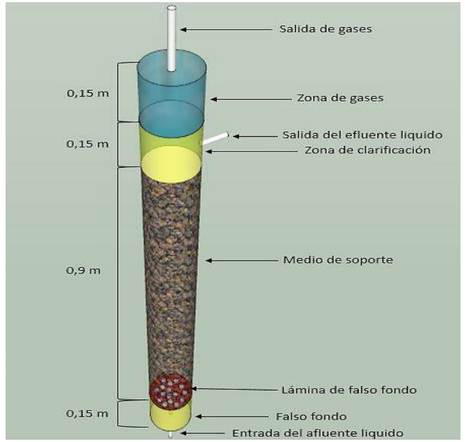


Figura 2. Esquema de los Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente.

Como lo indica la Figura 2, se destinó una zona de falso fondo para propiciar un espacio libre de relleno, que evacue los lodos que puedan producirse en el tratamiento, ya que el material filtrante no es uniforme (Castaño, como se citó en Batero y Cruz, 2007), la altura del medio ocupa el 66,6 % de la altura total, de acuerdo a Romero (2004), que recomienda que la altura del medio debe estar entre un 50 al 70 % del total.

Fase II. Implementación del sistema

Inoculación del material filtrante. Este procedimiento se realizó durante de 21 días, al final de los cuales se observó la formación de una biopelicula bacteriana alrededor de los elementos del lecho (Torres et al., 2003).

Montaje del sistema. El armazón de los reactores se realizó en tubos de PVC de 6”, ubicados sobre un soporte de madera y metal. El componente hidráulico consta de una bomba sumergible ubicada en la sección de agua clarificada del FAFA existente en la PTAR. Este dispositivo aseguró el flujo constante del agua hacia un tanque de almacenamiento elevado de 1000 l, que distribuía por gravedad el caudal afluente. La red de distribución se elaboró con manguera de 1” y tubo de PVC de 0,5” con sus respectivos accesorios. Para la evacuación del biogás se instaló una válvula de alivio en la parte superior de los filtros, que permitió conservar las condiciones anaerobias de los reactores. Una vez montado el sistema, se depositó el lecho de soporte y se selló herméticamente mediante tapones de 6”, como se observa en la Figura 3. Los filtros fueron puestos en marcha, dando inicio a la fase de arranque.



Figura 3. Montaje del sistema de filtros 2017.

Fase III. Evaluación de los filtros anaerobios

Caracterización del efluente. El análisis de las muestras obtenidas en el agua residual procedente de los filtros presentó los resultados consignados en las Figuras 4, 5 y 6.

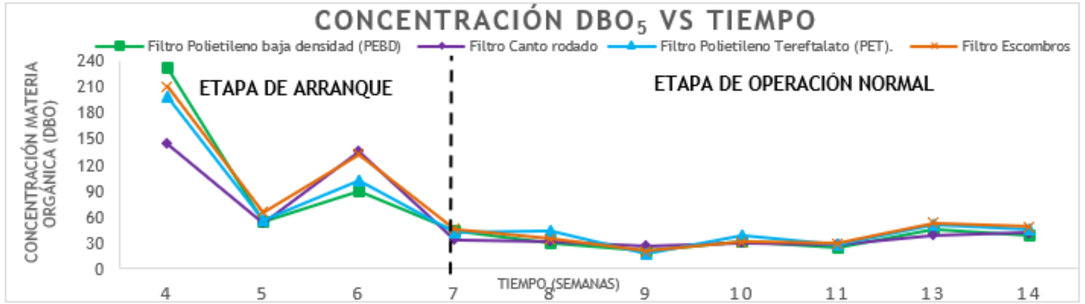


Figura 4. Concentración de DBO_5 en el efluente de los filtros a través del tiempo, 2017.

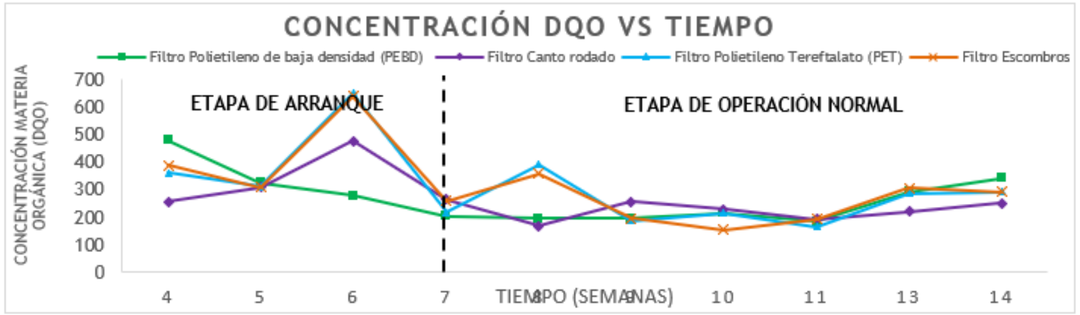


Figura 5. Concentración de DQO en el efluente de los filtros a través del tiempo, 2017.

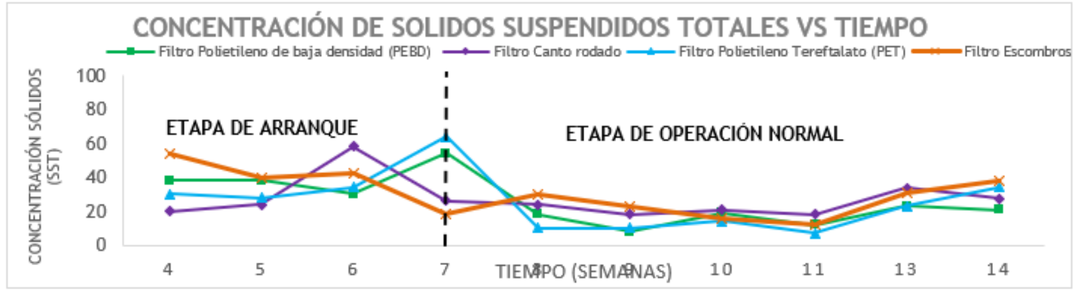


Figura 6. Concentración de SST durante las semanas de muestreo evaluadas.

Fase de Arranque. Las Figuras 4, 5 y 6 indican que en las 4 semanas de arranque, la concentración de los 3 parámetros en todos los reactores presentó grandes fluctuaciones, ya que en los primeros días de funcionamiento la biomasa activa se está adaptando y puede verse influenciada por factores de diseño operacionales y ambientales, como la temperatura, las variaciones en la carga orgánica o la calidad del inoculo utilizado (Torres et al., 2003), cabe resaltar que esta fase fue corta gracias al proceso previo de inoculación, que según De Lemos (2013), mejora la eficiencia y competitividad del sistema en menor tiempo. Aún con la baja temperatura de la zona, que dificulta la degradación anaerobia, el arranque fue óptimo gracias a la utilización de los lodos granulares como inóculo, tal y como ocurre en la investigación de Cubillos (2006), Batero y Cruz (2007) y Padilla (2010), que utilizan lodos de sistemas ya arrancados, adaptados a los sustratos del agua residual y con una alta actividad metanogénica. (Torres et al., 2007).

Fase de estabilización. Las Figuras 4, 5 y 6, muestran cómo en la estabilización, las concentraciones disminuyeron considerablemente respecto a la fase de arranque en todos los filtros, presentándose desde la semana 7 un periodo de operación normal. Sin embargo, en la semana 12 se realizó una jornada de limpieza en las instalaciones del área porcícola por parte de los operarios, con desinfectantes como cloro, lo que desestabilizó el sistema, por ello, los resultados del noveno muestreo se descartaron, ya que no fueron significativos. A raíz de este suceso se realizó un lavado y mantenimiento en las estructuras, que facilitó que los filtros recuperaran su comportamiento habitual en las últimas semanas de evaluación. En la Tabla 3 se sintetizan los promedios de remoción de cada filtro durante la etapa de operación normal.

Tabla 3. *Promedios de remoción materia orgánica y suspendida en estabilización*

Parámetro	No. muestras	Filtro polietileno baja densidad		Filtro grava canto rodado		Filtro polietileno tereftalato.		Filtro escombros	
		% Rem	Desviación Estándar	% Rem	Desviación Estándar	% Rem	Desviación estándar	% Rem	Desviación estándar
DBO_5		88,4	4	85,6	2,7	83,8	5,1	84,3	5,3
DQO	6	58,3	11,3	61,4	6,0	55,0	14,7	56,1	14,0
SST		76,0	8,2	66,2	8,6	76,7	14,7	64,3	14,1

La Tabla 3 indica que en la operación normal todos los filtros alcanzaron un promedio de remoción en DBO_5 mayor al rango de eficiencia de 65 a 80 % recomendado por Romero (2004) y la Resolución 0330 de 2017, superando resultados de investigaciones similares como la de Alvarado (2011) en Costa Rica, donde se comparó la piedra tradicional con materiales alternativos como medios filtrantes, obteniendo que los plásticos presentaron remociones entre 31,97 % y 42,06 %. Las concentraciones obtenidas por el PEBD y la grava son similares a las resultantes de la investigación Cárdenas y Ramos (2009) en Sandoná – Nariño, para tratar aguas mieles, donde la concha marina y los elementos sintéticos lograron remociones de DBO_5 de 87,8 %.

De este modo, las mayores remociones en DBO_5 fueron obtenidas por los filtros con PEBD y grava de canto rodado, siendo el plástico una alternativa óptima para el tratamiento, ya que logró una remoción mayor a la de la piedra y posee una densidad 1,96 veces menor, es más liviano y flexible sin perder su resistencia, mientras que el medio tradicional afecta el costo y la necesidad de resistencia en las estructuras (Castaño y Paredes, 2002). Además, la porosidad del canto rodado es casi la mitad de la del PEBD, permitiendo este último mayores espacios intersticiales, mejor distribución del flujo y menores probabilidades de colmatación, problema muy común en los filtros tradicionales (Batero y Cruz, 2007). Existen casos similares, como el estudio de Castaño y Paredes (2002), donde se comparó medios en piedra y aros de guadua, obteniendo que los aros, al igual que el PEBD evaluado en este estudio, por su porosidad y densidad son menos susceptibles a taponamientos, sin embargo, la guadua por ser un material orgánico es propensa a degradación con el tiempo, mientras que el PEBD al ser inerte tiene mayor durabilidad.

Por otro lado, la temperatura promedio reportada en la estación agro-meteorológica del IDEAM, localizada en Botana, tuvo un valor promedio de 13,6 °C en los meses de operación, muy por debajo de la temperatura óptima descrita por la mayoría de autores. Lorenzo y Obaya (2005) indican que el tratamiento anaerobio opera bien a temperaturas mayores a 20 °C, que aceleran la velocidad de degradación de materia orgánica. Sin embargo, en general la remoción de DBO_5 a 13,6 °C fue significativa; otros autores como Gonçalves et al. (2001) indican que se han presentado casos donde los filtros operan en rangos inferiores a 20 **°C**, obteniendo resultados óptimos, especialmente cuando estas estructuras se emplean como postratamiento de tanques sépticos y reactores UASB (De Lemos, 2013).

Lo anterior no quiere decir que esta variable no sea importante para el desempeño del tratamiento, pues cabe señalar que para la semana 13 todos los filtros alcanzaron el mayor porcentaje de remoción de DBO_5 (ver Figura 4), esto puede presentarse porque la temperatura ambiente en la fecha de muestreo alcanzó los 15 **°C.** Para el caso de la DQO, la Figura 5 indica que la concentración en todos los filtros tuvo un comportamiento más variable en comparación con la DBO_5 (ver Figura 4), durante la etapa de arranque.

Según la Tabla 3, en operación normal, el promedio de eficiencia en remoción de DQO fue casi la mitad del promedio removido en DBO_5 y la desviación estándar fue mayor, presentando fluctuaciones hasta de 14,7 %, mostrando mayor inestabilidad en la remoción de este parámetro. Al igual que con la DBO_5 los filtros con grava y PBED alcanzaron los mayores promedios en remoción de DQO, sin embargo, los valores no superan el 62 %, esto se puede dar porque por sus características, el objetivo del filtro biológico es remover principalmente materia orgánica en términos de DBO_5. Por su parte, Area, Ojeda, Barboza, Bengoechea y Felissia (2010) indican que para cargas contaminantes de DQO, por más eficiente que sea el tratamiento, no alcanza para llegar a los niveles requeridos por sí solo, por lo cual se requiere una combinación de tratamientos avanzados.

Lo anterior, ocurre a raíz de que si bien la DQO de un agua residual contiene una fracción de sustratos biodegradables (DQO_{BD}) que se transforman en metano y lodos, también contiene una fracción no biodegradable conocida como DQO recalcitrante o biológicamente resistente (DQO_{Rec}), la cual contiene sustratos complejos que los microorganismos fermentativos no pueden degradar, debido a que la biomasa del filtro aún no se adapta para su desdoblamiento, o porque los sustratos pueden ser biológicamente inertes, así, la DQO_{Rec} no es fermentada y permanece biológicamente inalterada en el efluente (Bermúdez et al., 2000). Según lo anterior, es posible aseverar que con el transcurso del tiempo se genere una adecuación más óptima de la biomasa en los filtros y la remoción de DQO aumente.

Cabe resaltar que, existen investigaciones con TRH mayores a 1 día, que han logrado eficiencias en DQO mayores a las de este estudio, como es el caso de Alvarado (2011), que reportó promedios de eficiencia de 69,28 % para filtros con medio de soporte en piedra y 72,95 % para medios plásticos, igualmente, en el estudio de Villanueva (2012), se logró una remoción de 75 % en DQO, para reactores con materiales de fibra de coco y grava, por su parte, Cárdenas y Ramos (2009) reportan una remoción de DQO de 87,7 % en la utilización de medios sintéticos y conchas marinas.

Para el caso de los SST, en la Tabla 4 se indica que el filtro con lecho de escombros presentó la menor eficiencia en remoción, debido a que el residuo de construcción utilizado contenía ladrillo, elemento que desprende fácilmente material particulado, de modo que los sustratos finos de arcillas y silicatos, tienden a ser arrastrados con el fluido que entra al medio poroso, pudiendo ocasionar colmatación o disminución de la eficiencia en remoción (Area et al., 2010). A pesar de ello, cuando el sistema se estabiliza, los microorganismos se inmovilizan mediante la adhesión al escombro. Por otro lado, los promedios de eficiencias en remoción de SST alcanzaron niveles significativos, para los reactores con lechos de PET y PEBD, demostrando que los medios con materiales plásticos pueden alcanzar eficiencias mayores al 60 %, valor recomendado por De Lemos (2013) y el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2017).

Según Batero y Cruz (2007), estos sistemas presentan una retención de biomasa media-alta, sin embargo, cabe resaltar que los sólidos que ingresaron en los reactores eran de diámetros muy finos, ya que las aguas residuales se trataron previamente en procesos de sedimentación partículas de mayor tamaño. Por ello, estos elementos pueden no ser retenidos en el medio de empaque, debido a que los materiales de contacto para FAFAS generalmente presentan alta porosidad, con el fin de evitar colmatación y propiciar la formación del biofilm (Torres et al.; 2003). Por otra parte, si se pretende optimizar la retención de sólidos, se debe implementar un tratamiento físico, que comprenda un medio filtrante con poca porosidad como la arena, ampliamente utilizada para remover pequeñas partículas de sólidos en vertimientos.

Análisis estadístico

El test de normalidad de Shapiro-Wilk señala que los datos tomados para el seguimiento del parámetro DBO_5 presentan una distribución diferente a la normal, mientras que el 60 % de los datos recogidos en los reactores para DQO y SST cuentan con distribución gaussiana. A continuación, el estadís-

tico de Levene arrojó que las varianzas de los datos para cada parámetro presentan homogeneidad. Finalmente, se destaca que la ANOVA arrojó un nivel de significancia de 0,9, 0,6 y 0,7 para DBO_5, DQO y SST respectivamente, aceptando una hipótesis nula que establece que no se presenta una diferencia estadísticamente significativa entre las eficiencias alcanzadas por los filtros (Chaux y Zambrano, 2011), y por ende pueden ser empleados tanto materiales convencionales, como residuos sintéticos de alta porosidad y adecuada área específica, ya que se obtienen resultados similares. No obstante, debido a la igualdad de varianzas, se consideraron los precios de adquisición y montaje como un criterio de selección importante.

Análisis de precios según el material del medio

En la Tabla 4 se muestra que los filtros con PEBD y PET son las mejores opciones para disminuir los niveles de DBO_5, DQO y SST, pues además de ser eficientes en remoción de materia orgánica, disminuyen los costos en la construcción de estos tratamientos, y se encuentran ampliamente disponibles. Cabe resaltar que, es recomendable evaluar también las inversiones en mantenimiento a mediano y largo plazo, en especial en circunstancias de taponamiento para los filtros en piedra y las que podrían presentar los demás materiales, además de evaluar su durabilidad, estos valores no fueron considerados, puesto que no existen costos establecidos para los medios alternativos utilizados que apenas se está evaluando en este modelo piloto (Castaño y Paredes, 2002).

Tabla 4. *Comparación de costos y eficiencias para materiales del medio de empaque*

Material del medio de empaque	Costo de adquisición ($COP)/m³	Eficiencia de remoción (%) en la etapa de operación normal (t° inferior a 20°C)		
		DBO_5	DQO	SST
Canto rodado	81.900	85,6	61,4	66,2
Escombros	0	84,3	14,0	14,1
PET	0	83,8	55,0	76,7
PEBD	0	88,4	58,3	76,0

Conclusiones

El polietileno de baja densidad es un material altamente útil como lecho filtrante en FAFAS, alcanzando buenas eficiencias en la remoción de DBO_5 y SST. El filtro que contenía lecho filtrante elaborado con escombros obtuvo las menores remociones en SST, dado que sus materiales presentaron desprendimiento de partículas al entrar en contacto con el agua residual, por lo tanto, se recomienda emplear materiales sintéticos resistentes a las condiciones del medio al que son expuestos.

Todos los filtros presentaron mayores fluctuaciones y bajas eficiencias en remoción de DQO, dado que el agua residual contiene sustratos resistentes a la degradación, que requieren mayor adaptación de los microorganismos o tratamientos posteriores para ser depurados.

Los filtros con medios PEBD y PET fueron los más viables, técnica y económicamente, pues además de sus altas eficiencias en remoción, no tienen costo de adquisición y disminuyen el peso del reactor, demostrando que la reutilización de residuos sólidos es una alternativa factible, tanto para el tratamiento de aguas residuales como para la disminución de impactos ambientales, ocasionados por la gestión inadecuada de residuos plásticos.

La fase de estabilización se logró en corto tiempo, debido al lodo empleado como inóculo para acelerar el periodo de arranque, el cual permitió que las bacterias se adecuaran de manera eficaz a los materiales de soporte y al sustrato.

Se requiere un control de variables externa, como el lavado de los sitios de descarga del agua residual, dado que esto podría desestabilizar considerablemente el rendimiento del sistema anaerobio.

Los resultados obtenidos aportan a la disminución de la carga orgánica y solidos presentes en el agua residual, sin embargo, se requieren sistemas de pulimento para el alcance de los objetivos de calidad de la quebrada Miraflores.

Referencias

Alcaldía de Pasto. 2007. Gestión Integral de Residuos Sólidos PGIRS 2007-2022. Recuperado de http://www.pasto.gov.co/index.php/component/phocadownload/category/135-planes-ambientales?download=103:plan-de-gestin-integral-de-residuos-slidos-2007-2022; Consulta: Septiembre, 2017

Alvarado, A. (2011). *Evaluación de materiales de desecho como medio filtrante en filtros anaerobios de flujo ascendente* (informe de tesis de pregrado). Instituto Tecnológico de Costa Rica. Recuperado de https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/3020/Informe_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Area, M., Ojeda, S., Barboza, O., Bengoechea, D. y Felissia, F. (2010). Tratamientos aplicables para la reducción de la DQO recalcitrante de efluentes de pulpados quimimecánicos y semiquímicos (revisión). *Revista Ciencia y Tecnología, 12(*13*)*, 4-12.

Batero, Y. y Cruz, E. (2007). *Evaluación de FAFAs con medio de soporte en guadua para la remoción de materia orgánica de agua residual sintética* (tesis de pregrado). Universidad Tecnológica de Pereira, Risaralda, Colombia. Recuperado de http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/821/6283B328.pdf?sequence=1

Bermúdez-Savón, R., Hoyos-Hernández, J. y Rodríguez-Pérez, S. (2000). Evaluación de la disminución de la carga contaminante de la vinaza de destilería por tratamiento anaerobio. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 16*(3), 103-107.

Cárdenas, G. y Ramos, R. (2009). Evaluación de la eficiencia de reactores de lecho fijo utilizando aguas mieles residuales de trapiches artesanales. *Ciencia e ingeniería neogranadina, 19*(1), 25-38.

Castaño, M. y Paredes D. (16 de mayo de 2002). Uso de aros de guadua en filtro anaerobios para el tratamiento de aguas residuales. En *Seminario Taller: Avances en la investigación sobre guadua.* Pereira, Colombia.

Chaux, G. y Zambrano, N. (2011). Tratamiento de aguas residuales mediante reactores anaerobios de placas verticales paralelas en acrílico. *Revista Biotecnología Agropecuario y Agroindustrial, 9*(2), 159-169.

Corporación Autónoma de Nariño. (2011). Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico quebrada Miraflores Marco Legal. Recuperdo de http://corponarino.gov.co/expedientes/descontaminacion/porhmirafloresp1.pdf

Cubillos, H. (2006). *Puesta en marcha y evaluación de un reactor anaerobio de flujo a pistón para el manejo de lixiviados del relleno sanitario de Villavicencio "Don Juanito"* (tesis de pregrado). Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia. Recuperado de http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14909/T41.06%20C891p.pdf?sequence=1

De Lemos, C. (2013). *Principios de tratamiento biológico de aguas residuales Reactores Anaerobios* (Vol. 5) (Iván Sánchez, Trad.). Colombia: Universidad de Nariño. (Obra original publicada en 2007).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2004). Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas. Recuperado de http://corponor.gov.co/corponor/sigescor2010/TRAMITESYSERVICIOS/Guia_monitoreo_IDEAM.pdf

Lorenzo, Y. y Obaya, M. (2005). La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 39*(1), 35-48.

MADS. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2015. En: lasalle.edu.co, http://www.lasalle.edu.co/wps/wcm/connect/7bf35b9e-b9ac-45b3-a280-c7dec8b1499d/Resolucion+631-2015.pdf?MOD=AJPERES

Méndez, R., Vidal, G., Lorber, K. y Márquez, F. (Eds.) (2007). *Producción limpia en la industria de curtiembre*. Santiago de Compostela: Universidad de Santiago de Compostela.

Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico RAS-2000. Recuperdo de http://epmsibate.com:3000/pdf/RAS-TITULO-D.pdf

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Teritorio. (2017). Resolución 0330 de 2017. Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009. Recuperdo de http://www.acodal.org.co/reglamento-tecnico-ras-nueva-resolucion-0330-de-2017/

Parra, L. (2006). *Operación de un FAFA hasta alcanzar el estado estable* (tesis de pregrado). Univeridad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia. Recuperado de http://www.bdigital.unal.edu.co/1178/1/linamarcelaparrarodriguez.2006.pdf

Pérez, T., Pérez, J. y Ravelo, D. (2005). Qué podemos hacer los productores del sector pecuario a favor del medio ambiente. *Revista Gestión y Ambiente, 8*(1), 147-150.

Pinos-Rodríguez, J., García-López, J., Peña-Avelino, L., Rendón-Huerta, J., González-González, C. y Tristán-Patiño, F. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia, 46*(4), 359-370.

Rodríguez, D. y Valldeoriola, J. (2009). *Metodología de la investigación*. Barcelona: Universitat Oberta de Catalunya.

Romero, J. (2004). *Tratamiento de aguas residuales Teoria y principios de diseño* (3.ª ed.). Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Torres, P., Pérez, A., Cajigas, A., Jurado, C. y Ortiz, N. (2007). Selección de inóculos para el tratamiento anaerobio de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, 6*(1), 105-111.

Torres, P., Rodríguez, J. y Uribe, I. (2003). Tratamiento de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca en filtro anaerobio: influencia del medio de soporte. *Scientia et Technica, 23*(1), 75-80. doi: http://dx.doi.org/10.22517/23447214.7393

Villanueva, J. (2012). Evaluación de la remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) en dos biofiltros con diferentes empaques. *Lacandonia, 6*(2), 107-114.

Análisis de riesgos laborales asociados a la operación y mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – Ptar- de Ginebra, Valle del Cauca, Colombia, durante el año 2018

Alberto Cuartas Castillo [102]
Juan Guillermo Popayán-Hernández [103]
Angel Alberto Triana Perez

Resumen

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales son estructuras desarrolladas en el contexto de la ingeniería civil, sanitaria y ambiental, como alternativas tecnológicas enfocadas hacia la depuración y disminución de las cargas contaminantes presentes en las aguas residuales de tipo doméstico e industrial, en el marco de la emergencia del concepto de desarrollo sostenible. Sin embargo, en el contexto colombiano, el conocimiento del peligro asociado a la operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales es poco estudiado y en muchas ocasiones totalmente incierto. Es por ello que la presente propuesta de investigación se enfoca en realizar un acercamiento conceptual y metodológico de esta problemática, tomando como caso de estudio la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales –Ptar- del municipio de Ginebra, Valle del Cauca, por lo cual se identificó diversas clases de riesgos, se estableció cuáles de ellas sonn las más relevantes, y qué se debe tener en cuenta para la construcción del programa de vigilancia epidemiológica. Como producto de este trabajo se hizo recomendaciones y acciones preventivas que habrá de seguirse a futuro, sin perder de vista que por mínimos que sean los riesgos a los que se enfrenta un trabajador, periódicamente debe ser evaluado para minimizar sus riesgos.

Palabras clave: agua residual, desarrollo sostenible, peligro, riesgo biológico.

Analysis of occupational risks associated with the operation and maintenance of the Sewage Treatment Plant of Ginebra, Valle del Cauca, Colombia, during 2018

Abstract

Wastewater treatment systems are structures developed in the context of civil, sanitary and environmental engineering as technological alternatives focused on the purification and reduction of pollutant loads present in domestic and industrial wastewater, all within the framework of the emergence of the concept of sustainable development. In the Colombian context, the knowledge of the danger associated with the operation and maintenance of wastewater treatment plants is scarce and uncertain. That is why the present research proposal focuses on a conceptual and methodological approach to this problem, taking as a case study the wastewater treatment plant of the municipality of Ginebra, Valle del Cauca. Different types of risks are identified, establishing which of them are the most relevant and that should be taken into account for the construction of the epidemiology surveillance program. As a result of this work, recommendations and preventive actions were presented that will have to be followed

[102] Universidad Camilo José Cela. Madrid, España. Correo electrónico: alberto.cuartas@uniminuto.edu.co

[103] Corporación Universitaria Minuto de Dios. Buga, Colombia. Correo electrónico: jpopayanher@uniminuto.edu.co

in the future, without losing sight of the fact that, no matter how minimal the risks faced by workers, they must periodically be evaluated to minimize their risks.

Key words: Residual water, sustainable development, danger, biological risk.

Análise dos riscos ocupacionais associados à operação e manutenção da Estacao de Tratamento de águas residuais de Ginebra, Valle del Cauca, Colômbia, durante o ano 2018

Resumo

Os sistemas de tratamento de águas residuais são estruturas desenvolvidas no contexto da engenharia civil, sanitária e ambiental como alternativas tecnológicas voltadas para a purificação e redução de cargas poluentes presentes nas águas residuais domésticas e industriais, dentro da estrutura do surgimento do conceito de desenvolvimento sustentável. No contexto colombiano, o conhecimento do perigo associado à operação e manutenção de estações de tratamento de águas residuais é escasso e incerto. Por isso, a presente proposta de pesquisa se concentra em uma abordagem conceitual e metodológica para esse problema, tomando como estudo de caso a Estação de Tratamento de Águas Residuais do município de Ginebra, Valle del Cauca. Diferentes tipos de riscos são identificados, estabelecendo quais são os mais relevantes e que devem ser levados em consideração na construção do programa de vigilância epidemiológica. Como resultado deste trabalho, foram apresentadas recomendações e ações preventivas que deverão ser seguidas no futuro, sem perder de vista o fato de que, por mínimos sejam os riscos enfrentados pelos trabalhadores, eles devem ser avaliados periodicamente para minimizar seus riscos.

Palavras-chave: Água residual, desenvolvimento sustentável, perigo, risco biológico

Introducción

El desarrollo de las comunidades humanas implica el uso de recursos naturales, demanda de recursos energéticos, emisiones atmosféricas, generación de residíos sólidos y detrimento de los ecosistemas, principalmente los ecosistemas loticos y lenticos. Estos últimos se ven principalmente afectados por los vertimientos, que se clasifican en grandes rasgos en industriales y domésticos, los cuales varían en características físicas, químicas y microbiológicas,en función de múltiples aspectos, entre los cuales cabe destacar la estructura sociodemográfica, las condiciones ambientales *in situ* y las prácticas culturales.

Por lo tanto, surge la necesidad de tratar dichos vertimientos, pues de no hacerse se pondría en riesgo la calidad de los ecosistemas, la disponibilidad de recursos naturales, la supervivencia de la flora y la fauna, y finalmente la salud humana. De esta forma, surgen los sistemas de tratamiento de aguas residuales, como una serie de estructuras u obras de ingeniería, cuya principal función es remover las cargas contaminantes presentes, antes de que tengan como destino final los cuerpos de agua receptores o los campos de infiltración según sea el caso.

Sin embargo, en el contexto colombiano pocas veces se ha analizado las implicaciones ambientales y ocupacionales, que en sí mismo genera la operación y mantenimiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales. Dicho vacío de conocimiento podría ser explicado por las condiciones políticas asociadas al contexto colombiano que, por su calidad de país en desarrollo, muchas veces carece de los mecánicos científicos, técnicos y jurídicos para realizar un seguimiento riguroso de dichos sistemas, lo cual implica también, una carencia en torno al panorama de riesgos asociado a los trabajadores encargados del sistema.

Teniendo en cuenta lo anterior, se optó por realizar un acercamiento conceptual a los riesgos asociados a la operación y mantenimiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, para lo cual se tomará como caso de estudio la PTAR experimental, ubicada en el municipio de Ginebra, Valle del Cauca, la cual trata los vertimientos domésticos de aproximadamente 21,055 habitantes (DANE, 2015) distribuidos en el casco urbano principal y veredas circunvecinas. Es preciso mencionar que la PTAR al servicio de la Acuavalle S.A E.S.P, se encarga de prestar el servicio de acueducto y alcantarillado en treinta y tres municipios del departamento del Valle del Cauca, con la condición de excepción que la PTAR de Ginebra fue patrocinada, diseñada y supervisada por el Instituto CINARA, adscrito a la Universidad del Valle, la institución educativa más destacada del sur occidente colombiano; de esta forma CINARA implemento una serie de estructuras encaminadas a propiciar los tratamientos biológicos, por sus bajos costos de operación y mantenimiento, así como por su eficiencia y adaptabilidad al contexto cultural latinoamericano.

Estas características de la PTAR de Ginebra brindan una oportunidad de investigación, orientada en este caso hacia al reconocimiento y compresión de las complejidades asociadas a la operación y el mantenimiento del sistema de tratamiento, con lo cual se espera contribuir a la creación de una línea base, que constituya una herramienta conceptual para la toma de decisiones futuras encaminadas a salvaguardar la salud y calidad de vida de los trabajadores, principalmente del personal técnico y operativo.

Para ello, en este documento se aborda una conceptualización en torno a los mecanismos legales vigentes en Colombia, para evaluar los riesgos ocupacionales, la descripción detallada de las unidades de tratamiento que componen la planta de tratamiento de aguas residuales de Ginebra, los aspectos metodológicos empleados para recolectar, sistematizar y analizar la información relativa al funcionamiento, operación y mantenimiento de la PTAR.

Las patologías derivadas de la exposición a diversos factores de riesgo pueden generar a corto y mediano plazo malestares físicos y emocionales en los trabajadores, disminuyendo la efectividad y productividad laboral.

La investigación se desarrolla en las Empresas Públicas de Garzón EMPUGAR E.S.P., enfocado en el riesgo biológico que afecta a los trabajadores del área de recolección de residuos sólidos. De esta manera, la implementación de un Programa de Vigilancia Epidemiológica para factores de riesgos biológicos en PTAR de Ginebra, Valle del Cauca, Colombia, adscrita a la empresa Acuavalle S.A E.S.O., debe apoyar y proporcionar a sus trabajadores herramientas para mejorar las condiciones de salud y el ambiente laboral, debido a que la empresa busca implementar el Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo, estableciendo responsabilidades a la parte administrativa y operativa para la ejecución del Programa de Vigilancia Epidemiológica para riesgos biológicos y ergonómico, ofreciendo capacitaciones, charlas, dando la información correcta, gestionando la implementación del PVE, así cumpliendo con los objetivos propuestos.

Finalmente, esta propuesta constituye un reto conceptual e investigativo para la región en la medida que permitirá ampliar el conocimiento en torno las actividades y riesgos asociados a los sistemas de tratamiento de aguas residuales en el contexto del sur occidente colombiano.

Planteamiento del Problema

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales surgen como una alternativa técnica que propicia la disminución de las cargas contaminantes, que tienen como destino final los cuerpos de agua superficiales de agua de tipo lenticos y loticos, así como salvaguardar los suelos de sustancias nocivas que puedan llegar a alterar la ecología de los mismos. Sin embargo, los sistemas de tratamiento de aguas residuales son entornos laborales hostiles, pues presentan múltiples características riesgosas que pueden llegar a afectar la salud y la integridad de las personas que se encargan de la operación y mantenimiento de las unidades que componen estos sistemas de tratamiento.

Asi las cosas, surge la necesidad de comprender el grado de peligrosidad asociado a la operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, pues este conocimiento se constituye en una herramienta conceptual de empoderamiento y un requisito previo para tomar decisiones tendientes a garantizar la salud e integridad de los trabajadores.

Pregunta de investigación

¿La operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales presenta factores de riesgo considerables que de forma plausible afectaran la salud e integridad de los operarios encargados de velar por el funcionamiento de las unidades de tratamiento?

Metodología

Tipo de estudio

El tipo de estudio que se empleo fue de tipo descriptivo, ya que este tipo de estudio se utiliza para describir de manera sistemática, continua, oportuna y confiable la información relevante y necesaria sobre las condiciones

de salud de la población objeto del estudio, esto permite identificar los factores influyentes y determinar los controles oportunos y específicos para minimizar la afectación de la condición insegura en los trabajadores expuestos.

Método

El método deductivo permite conocer la problemática definida (Riesgo de enfermedades laborales por residuos biológicos) a través de observaciones realizadas.

Diseño

El diseño es donde la observación de los fenómenos en las situaciones ya existentes se realiza tal cual, para recolectar la información y luego analizarla. La exposición a un nivel de riesgo alto aumenta la probabilidad de afectación.

Población y muestra

Criterio de tipificación de la población

Los cargos considerados como críticos para el programa se encuentran en el área de operación y mantenimiento, por lo tanto, la población objeto corresponden a los trabajadores de dicha área.

Fuentes de información

Fuente primaria

Mediante observación directa se recolecta información de los trabajadores expuestos a los riesgos en su puesto de trabajo y durante sus jornadas laborales.

Fuente secundaria

Se analizan las valoraciones médicas y condiciones de salud del personal expuesto, las especificaciones técnicas de los elementos de protección personal que usan los trabajadores y las evaluaciones ambientales de los puestos de trabajo.

Técnicas de instrumentos

Procedimientos

Los instrumentos empleados en el diagnóstico se dividen en los resultados presentados por parte de la ARL, para los puestos de trabajo considerados como críticos durante la evaluación y la información interna con que cuenta la empresa, respecto a la morbilidad laboral, las condiciones de salud y la valoración de riesgos en los puestos de trabajo del personal expuesto.

La técnica de entrevista se aplica al personal trabajador expuesto, y la matriz emanada de la GTC 45. Para aplicar la técnica de observación directa, se emplea el formato de inspección de los elementos de protección personal que habitualmente utiliza el personal expuesto y el formato de inspección de residuos sólidos y toma de fotografías.

Resultados y Discusión

Mediante las visitas de campo, la observación participante y las verificaciones de las operaciones unitarias se encontró que en el proceso de tratamiento de aguas residuales en la PTAR de Ginebra se ejecuta tal como se muestra en el flujograma que se muestra en la Figura 1. A partir de la información consignada en el flujograma, se procedió a identificar las funciones asociadas a cada operación unitaria, lo cual proporciona una información relativa a los posibles riesgos inherente a cada función, tanto en la operación como el mantenimiento. Para tal propósito, se realizó, primero una verificación de las condiciones laborales asociadas al proceso de tratamiento, esto mediante la aplicación de una lista de chequeo (ver Anexo A) de uso de elementos de protección personal, una encuesta estructurada (ver Anexo B), que pueda brindar una caracterización del talento humano disponible en la PTAR. Los resultados ponderados de esta actividad se muestran en la Figura 2.

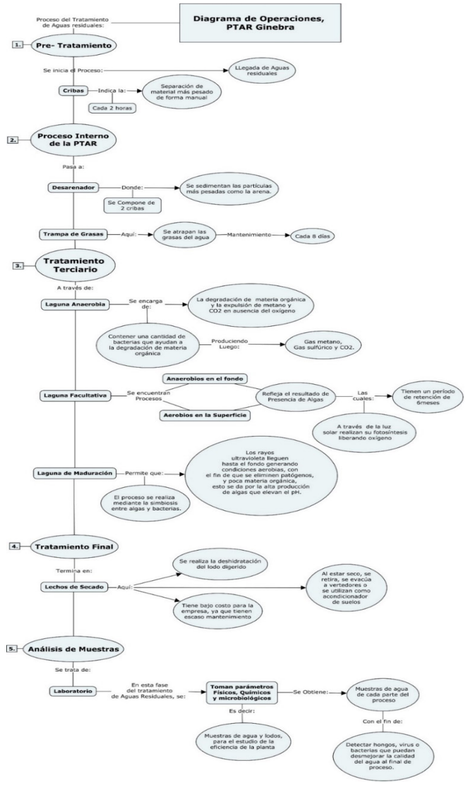


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de tratamiento.

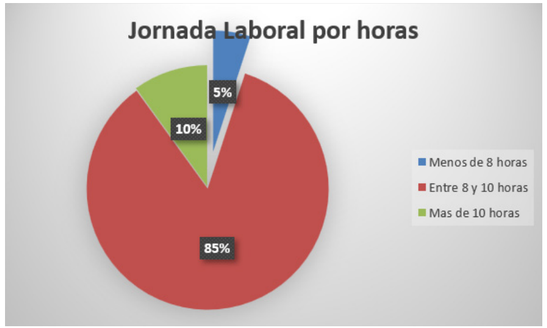


Figura 2. Jornada laboral por horas en la PTAR.

A partir de la información recolectada y del análisis de la misma, es necesario diseñar o proponer un programa de vigilancia epidemiológica que responda a las necesidades existentes en la PTAR.

Los programas de vigilancia epidemiológica que se han realizado en Colombia se enfocan más a la salud pública, sin embargo, el enfoque no es específico para las personas que se dedican a las labores propias de mantenimiento y operación de una PTAR, por lo cual la discusión de los resultados no es comparativa con otros programas.

El programa de Vigilancia Epidemiológico de Riesgo biológico por exposición a materiales contaminados, pretende ser implementado teniendo en cuenta las patologías presentadas por los hombres adultos, trabajadores dedicados a las labores propias de operación y mantenimiento de la PTAR, ya que por su actividad y por el área de trabajo donde permanecen se catalogan como de alto riesgo.

El objetivo del programa es obtener la información suficiente para lograr una adecuada identificación, priorización, evaluación de riesgos por exposición agentes biológicos, que permita la definición del plan de inter-

vención para la población expuesta, con el fin de garantizar los controles adecuados para la conservación de la salud de los trabajadores.

El desarrollo del programa del PVE para riesgo biológico por exposición y actividades relacionadas con la recolección de residuos, se realizó a través de las siguientes etapas:

Etapa de recopilación de la información. Se emplean los instrumentos, planteando "Técnicas e instrumentos para recolección de información para el PVE".

Etapa de análisis de resultados. Como resultado de la aplicación de los instrumentos de diagnóstico y categorización de riesgos por medición higiénica de los niveles de exposición a la actividad de recolección de residuos, se evalúa el riesgo para efectos de la salud por contacto a partir de las siguientes variables: peligro, procedimiento y protecciones colectivas y personales.

a) **Autorreporte de condiciones de salud de los trabajadores:** Luego de la aplicación de las encuestas a los diez (10) trabajadores expuestos, se determinó que sí han sufrido de algunas patologías, como: gastroenteritis, diarrea, infecciones cutáneas, alergias, rinitis, asma, otitis, conjuntivitis, refriados y neumonías, ninguno presentó antecedentes relacionados con problemas crónicos, sin embargo, presentaron patologías en la piel, pies, manos, ojos y uñas atribuidas a su labor.

b) **Resultados de las inspecciones de EPP:** Durante la aplicación de las revisiones o inspecciones de seguridad sobre el uso de Elementos de Protección Personal, se pudo evidenciar que todo el personal expuesto, objeto del análisis, no hace uso adecuado de los elementos de protección personal, no cuentan con los elementos de protección personal adecuados para el desarrollo de su labor, no han recibido capacitaciones sobre el uso, mantenimiento y almacenamiento apropiado del mismo.

c) **Resultados de las inspecciones de residuos sólidos**: Durante la aplicación de las revisiones o inspecciones de residuos sólidos se pudo evidenciar que por la falta de cultura, separación en la fuente y desconocimiento se encontraron residuos altamente peligrosos, tales como jeringas y su respectiva aguja, preservativos, toallas higiénicas, pañales, gasas, excrementos de animales, filtros de vehículo, material tóxico que atenta contra la integridad física de los trabajadores.

d) **Resultados de la lista de chequeo**: Durante la verificación para el control del riesgo biológico, se encontró que los trabajadores durante su jornada laboral están en permanente contacto con microorganismos patógenos, desconociendo el riesgo al cual están expuestos, y existe ausencia de procedimientos e instrucciones que indiquen cómo actuar en casos de accidentes o incidentes, donde intervenga el contacto con algún agente bilógico. Además, no existe un procedimiento para la limpieza y desinfección de la ropa de trabajo, esta ropa no es cómoda y acorde a la actividad que desempeñan, también refieren que no reciben vacunas periódicas, y se identificó que no reciben capacitaciones de ninguna índole.

Etapa de implementación de planes de intervención. Se ejecutan las actividades propuestas para intervenir el nivel de riesgo en las actividades de transporte y recolección de residuos, catalogadas como de alto riesgo. Dichos planes de intervención se establecen con medidas a corto, mediano y largo plazo. En caso de que las medidas de intervención requieran de inversión presupuestal considerable, se presentará la propuesta al gerente.

Etapa de Sensibilización. Realizar jornadas de capacitación y sensibilización sobre la importancia de la identificación, intervención y control de los factores de riesgo biológico y uso adecuado de las protecciones. Para ello, se llevo a cabo charlas y capacitaciones, se realizó el diseño de folletos, pósteres, videos, comunicaciones, entre otros, donde se expone claramente dicha información.

Etapa de Seguimiento: Teniendo en cuenta las fechas de ejecución previstas para las actividades definidas en el plan de intervención, se realiza seguimiento por parte de Seguridad y Salud en el trabajo, para verificar su cumplimiento. Posterior a este seguimiento, se establecen nuevas propuestas de intervención o fortalecimiento de las actividades ejecutadas, en caso de que se identifique esta necesidad.

Recomendaciones

Implementar y mantener el plan de intervención, realizando el correspondiente seguimiento a las actividades programadas, revisando y evaluando que las acciones efectivamente cumplan con el objetivo planteado y se realicen dentro del tiempo acordado.

El plan de intervención debe ser analizado a mediano y largo plazo, por lo cual debe incluirse temáticas como:

- ✓ Prevención de enfermedades respiratorias de origen laboral.
- ✓ Selección, uso y mantenimiento de los equipos de protección.
- ✓ Mediciones higiénicas de exposición a material particulado.
- ✓ Mediciones funcionales del personal por Espirómetro.
- ✓ Campañas de vacunación al personal expuesto a riesgo biológico.
- ✓ Políticas de la compañía con respecto al uso obligatorio de protección personal en las actividades de recolección.
- ✓ Responsabilidades de los trabajadores, supervisores, directores de área y empleador con respecto a la conservación de la salud.
- ✓ Acciones disciplinarias que pueden resultar como consecuencia de la falta de uso de los EPP.

Durante las capacitaciones al personal sobre el plan de gestión integral de residuos sólidos, realizar una evaluación escrita, con el fin de medir el conocimiento de los asistentes.

Una vez implementado el programa de vigilancia epidemiológica en el trabajo, realizar reuniones periódicas en la empresa, en las cuales se socialicen los objetivos del plan de gestión, y se involucre la importancia del rol que juegan las personas encargadas de realizar la labor de recolección de residuos sólidos.

Con base en los resultados obtenidos se deberán tomar las medidas correspondientes, primero en la fuente y en el medio, y posteriormente ajustando los elementos de protección personal; si no se lograra la disminución de riesgo, se deberá considerar la implementación de medidas administrativas municipales, como campañas para concientizar a la población de implementar la separación en la fuente y la buena presentación al sacar los residuos sólidos.

Programación de exámenes médicos de ingreso y periódicos: Para el caso de las áreas de recolección de residuos, se realizarán las intervenciones necesarias para detectar, reducir o corregir el problema.

Establecimiento de medidas para controlar los niveles de exposición a agentes biológicos: La empresa Acuavalle S.A E.S.P. deberá recurrir a controles administrativos que le sean factibles para reducir la exposición de los trabajadores a los agentes biológicos.

Selección adecuada de los elementos de protección personal: La empresa deberá establecer los elementos de protección personal, ideales para evitar el contagio de virus, bacterias, hongos al contacto de la piel. Igualmente, deberá capacitar a sus trabajadores en el uso correcto y obligatorio, mantenimiento y reposición de los mismos.

Inspección de elementos de protección personal: Se debe asignar una persona encargada para la debida inspección y verificación del uso correcto y mantenimiento de los elementos de protección personal del área de operación y mantenimiento de la PTAR.

Asignación de Recursos: La organización en cabeza de la administración deberá establecer los recursos humanos (médico especialista en Dirección de Seguridad y Salud en el Trabajo), técnicos (personal competente, material educativo) y financiero (presupuesto para el PVE), necesarios para el diseño e implementación de los planes de intervención del PVE.

Conclusiones

Se aplicaron los instrumentos de levantamiento de información de la línea base para establecer un diagnóstico de las condiciones laborales a las cua-

les se encuentran expuestos los trabajadores de la PTAR, reconociendo a la población objeto de estudio que se encuentra expuesta a niveles de alto potencial de riesgo biológico, a causa de las largas jornadas de trabajo, exposición a factores climáticos como lluvia, altas temperaturas y polvo, igualmente, se encuentran susceptibles a contraer enfermedades de diferentes índole, debido a las clases de residuos (residuos biológicos) que encuentran en el desarrollo de su actividad.

Es conveniente resaltar la falta de conocimiento en cabeza de la parte directiva de la empresa para brindar al personal los elementos de protección necesarios para el ejercicio de sus labores, no obstante, se pudo comprobar que la protección ocular y respiratoria utilizada por el personal es nula, debido a la falta de supervisión y conocimiento por parte del empleador.

Conforme a la consolidación de la información recolectada, se define un plan de intervención, con medidas de control planteadas a corto, mediano y largo plazo, contemplando acciones en la fuente de generación de riesgo biológico y las patologías que estos pueden generar como consecuencia del desarrollo de sus actividades, un análisis de viabilidad para la modificación de los sistemas actuales de protección para la mejora de las condiciones de su trabajo. A su vez, el plan de intervención incluye actividades en el medio, donde el trabajador debe comprometerse a contribuir en la ejecución de las medidas necesarias que se acojan, con el ánimo de proteger su integridad y la prevención de enfermedades futuras.

Finalmente, incluir campañas de prevención y sensibilización dirigidas al personal trabajador expuesto, donde la vigilancia, la dotación adecuada para el desarrollo de la actividad en el área de recolección de residuos sólidos y del uso constante y correcto de los elementos de protección personal, así como las condiciones de salud que presentan, y los métodos de trabajo seguro, son pilares para la prevención de enfermedades asociadas a la exposición como consecuencia de la operación y mantenimiento de la PTAR.

Se logró compilar, estudiar y analizar la información necesaria para poder demostrar la necesidad de implementar un Programa de Vigilancia Epidemiológica, para la prevención de patologías asociadas a problemas biológicos por exposición a agentes patógenos, al que se encuentra expuesto el personal que ejecuta esta labor en las PTAR de Ginebra, como mecanismo ideal para la conservación y monitoreo constante de las condiciones de salud de la población trabajadora.

Referencias

Asamblea General de las Naciones Unidas. (s.f.). Desarrollo sostenible. Recuperado de http://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml

Chaparro, L., Cuervo, M., Gómez, J. y Toro, M. (s.f.). Emisiones al ambiente en Colombia. Recuperado de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/000001/cap13.pdf

Congreso de Colombia. (2012). Ley 1562 de 2012. Por la cual se modifica el sistema de riesgos laborales y se dictan otras disposiciones en materia de salud ocupacional. Recuperado de https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Ley-1562-de-2012.pdf

D'Alisa, G., Demaria, F., Kallis, G., Perez, M. y Rincón, A. (Ed.). (2015). *Decrecimiento Vocabulario para una Nueva Era*. Barcelona: Icaria.

González, E. (s.f.). El Ambiente: Mucho más que Ecología. Recuperado de http://www.anea.org.mx/docs/Gonzalez-EcologiayMedioAmb.pdf

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2006). *Metodología de la investigación* (4.ª ed.). México: McGraw Hill Interamericana.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec). (2010). Guía para la identificación de los peligros y la valoración de los riegos en seguridad y salud ocupacional (GTC 459. Recuperado de http://idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/gtc450.pdf

Ministerio de Trabajo. (2014). Decreto 1443 de 2014. Por la cual se dictan disposiciones para la implementación del sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo (SG-SST). Bogotá. Recuperado de http://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/36482/decreto_1443_sgsss.pdf/ac41ab70-e369-9990-c6f4-1774e8d9a5fa

Ramírez-Villar, P. (2016). Los Objetivos de Desarrollo del Milenio: Una Mirada quince Años Mas Allá de Su Evolución. *Mundo Fesc, 11,* 62-71.

Rozzi, R. (2007). De las ciencias ecológicas a la ética ambiental. *Revista chilena de historia natural, 80*, 521-534.

Sagols, L. (2013.). Bioética ambiental y Ecoética. Recuperado de https://www.uaeh.edu.mx/campus/icsa/noticias/2/docs/2013/bioetica_ambiental.pdf

Variación de nivel freático de una zona cercana a la Laguna de La Cocha

Mónica Lucía Burgos Narváez[104]
Yerson Camilo Contreras Cortes[105]
Efrain Muñoz Realpe[106]
Camila Andrea Narváez Vallejo[107]
Jenny Lucia Huertas Delgado[108]

Resumen

El nivel freático es aquel lugar donde la presión hidrostática es igual a la atmosférica bajo las capas de suelo y tiene encima de éstas una zona de aireación, donde los poros del suelo pueden contener aire, lo cual puede ser muy variable, elevándose o reduciéndose, dado que intenta seguir la forma del relieve y permite conocer la producción de pozos, explicar cambios de flujos de corrientes y justificar las fluctuaciones del nivel de lagos y lagunas. Por lo tanto, se plantea la presente investigación, con la cual se busca determinar el nivel freático en una zona ubicada en la ribera de la Laguna de la Cocha, en la vereda El Motilón, corregimiento El Encano. Se puede destacar que la laguna provee un servicio ecosistémico a los habitantes de la zona; además, fue declarado humedal Ramsar. A partir de esto se ve la necesidad de estudiar la variación de nivel freático por medio de una sucesión de pozos ubicados en un área de estudio, para lo cual se hizo mediciones en los meses de febrero, marzo, abril y mayo de 2018, las cuales fueron procesadas por medio del software SURFER 11, que permitió la realización de cuatro mapas en los cuales se muestra el flujo vectorial del agua a partir del gradiente de las líneas equipotenciales, teniendo en cuenta la altura del nivel freático. Se obtuvo que éste es heterogéneo tanto a nivel espacial como temporal.

Palabras clave: laguna, nivel freático, variación espacio-temporal.

[104] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: moburgos@umariana.edu.co

[105] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: yecontreras@umariana.edu.co

[106] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: efmunoz@umariana.edu.co

[107] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: caminarvaez@umariana.edu.co

[108] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: jlhuertas@umariana.edu.co

Variation of phreatic level in a close area to Laguna de La Cocha

Abstract

The phreatic level is the place where the hydrostatic pressure is equal to the atmospheric pressure under the layers of soil; it has over them, an aeration zone where soil pores can contain air. It could be variable, rising or falling as it tries to follow the shape of the relief and allows knowing the production of wells, explain changes in current flows and justify the fluctuations in the level of lakes and lagoons. Therefore, with the present investigation it is sought to determine the phreatic level in an area located on the shore of Laguna de la Cocha, on the village El Motilón, El Encano, Nariño. It should be noted that the lagoon provides an ecosystem service to the inhabitants of the area. In addition, it was declared Ramsar wetland. Therefore, it is necessary to study the variation of the phreatic level through a succession of wells located in a study area. Measurements were made in the months of February, March, April and May 2018, and they were processed by means of SURFER 11 software, which allowed the realization of four maps in which the vector flow of water from the gradient of the equipotential lines is shown, taking into account the height of the phreatic level. It was obtained that this is heterogeneous both spatially and temporally.

Key words: lagoon, phreatic level, spatio-temporal variation.

Variação do nível freático em uma área próxima à Laguna de La Cocha

Resumo

O nível freático é o local onde a pressão hidrostática é igual à pressão atmosférica sob as camadas do solo; tem sobre eles uma zona de aeração onde os poros do solo podem conter ar. Pode ser variável, subindo ou descendo, na tentativa de seguir a forma do relevo e permitir conhecer a produção dos poços, explicar as mudanças nos fluxos atuais e justificar as flutuações no nível dos lagos e lagoas. Portanto, com a presente investigação, procura-se determinar o nível freático em uma área localizada na costa de Laguna de la Cocha, na vila El Motilón, El Encano, Nariño. Note-se que a lagoa fornece um serviço ecossistêmico aos habitantes da área. Além disso, foi declarado pantanal de Ramsar. Portanto, é necessário estudar a variação do nível freático através de uma sucessão de poços localizados em uma área de estudo. As medidas foram realizadas nos meses de fevereiro, março, abril e maio de 2018 e processadas por meio do software SURFER 11, que permitiu a realização de quatro mapas nos quais é mostrado o fluxo vetorial de água do gradiente das linhas equipotenciais, levando em consideração a altura do nível freático. Foi obtido que isso é heterogêneo tanto espacial quanto temporalmente.

Palavras-chave: lagoa, lençol freático, variação espaço-temporal.

Introducción

En la vereda El Motilón, corregimiento El Encano, se presenta una condición especial, y es que se encuentra en la ribiera de la laguna de La Cocha, por lo tanto, permite estudiar la variación del nivel freático de una manera más sencilla. Esta zona al tener diferentes comportamientos, tanto a nivel espacial como temporal, resulta en una variación, esta fue determinada por medio de la metodología planteada por Huertas (2013), la cual permite monitorear la zona de estudio durante los meses de febrero a mayo, tiempo en el cual se realizaron los muestreos.

Por otra parte, es conocido que el nivel freático depende de factores como la cantidad y el tipo de precipitación, las características hidráulicas del suelo, la vegetación, entre otros (Gidahatari, s.f.). Los anteriores factores se contemplaron al momento de realizar el análisis de los nivel freáticos presentados en la zona, a partir de mapas estadísticos, los cuales tuvieron como resultado un comportamiento heterogéneo a nivel espacial y temporal dentro de la zona de estudio, la cual contenía 16 pozos, a los cuales semanalmente se realizaron las mediciones, obteniendo los datos que luego se promediaron, dando como producto los mapas estadísticos.

Desarrollo

Objetivo general

- Determinar la variación y movimiento del nivel freático en los meses de febrero, marzo, abril y mayo, en una zona cercana a la laguna de La Cocha, específicamente, en la vereda Motilón, corregimiento El Encano.

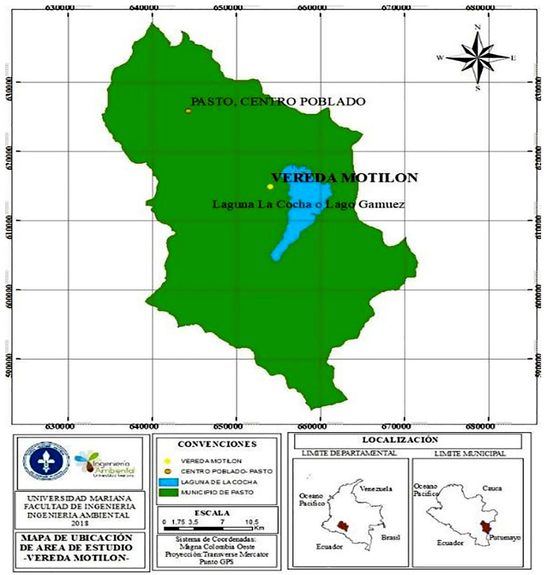


Figura 1. Mapa del área de estudio, vereda Motilón, corregimiento El Encano.

Marco contextual

La presente investigación se desarrolla en la vereda el Motilón, ubicada en el corregimiento El Encano, localizada a 0° 53´ 28.55" y 1° 20´36.40" latitud norte y 76° 50´50.41" y 77° 14´17.37" longitud oeste, a 20 kilómetros sobre el sur este de la ciudad de Pasto en el departamento de Nariño, con una altitud oscilante entre 2.760 y 2.830 m s. n. m. y temperaturas promedio de 11 °C, una humedad relativa de 87 %, además lluvias que varían entre los 1.300 mm anuales, con épocas de sequía para los meses junio, julio y agosto (Corponariño, 2002).

Se eligió la vereda el Motilón como área de estudio, debido a la riqueza de su cobertura vegetal, además, por el hecho de que en este punto existe un nivel freático cercano a la superficie, haciendo de este un lugar idóneo para realizar mediciones de este corte, y por su fácil acceso.

Diseño metodológico de la investigación

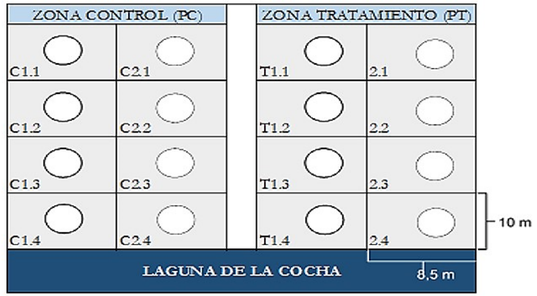


Figura 2. Diseño de experimentos zona de estudio

Para el desarrollo del presente estudio se contó con un área de 1.512 sobre la cual se realizó una división de cuatro parcelas: dos parcelas de tratamiento **(PT)** y dos parcelas control **(PC)**, en donde se construyó una serie de pozos (16) dispuestos así: 8 pozos en parcelas control y 8 pozos parcelas tratamiento, en pequeñas áreas de 10 m de largo por 8.5 m de ancho.

Este diseño fue basado en la investigación profesoral llamada *Evaluación del transporte, variación y remoción de nutrientes y materia orgánica en la zona saturada del suelo a lo largo de un transecto cercano a la laguna de La Cocha.* Dicho diseño se realizó con el fin de entender el movimiento del nivel freático en la zona, para lo cual se elaboró un levantamiento topográfico de los puntos de ubicación de los pozos con ayuda del teodolito South ET-02/05, a partir de lo cual se pudo realizar el mapa de curvas de nivel en el área, y así conocer el flujo vectorial del agua. Para obtener el valor de nivel freático (NF) se usó una cinta métrica acoplada a una plomada, que permitió medir el espejo de agua (NE), la altura de fondo (PP) y la altura de tubo (AT), a partir de los cuales fue posible calcular las vías de flujo de NF en los diferentes meses (ver Figura 3), haciendo uso de un análisis geoestadístico por medio del software Surfer 11 (Golden Software, Inc., Golden, Colorado, USA). Se realizaron mediciones temporales semanalmente (cuatro por mes) en cada uno de los pozos (16) a lo largo de los meses de: febrero, marzo, abril y mayo.

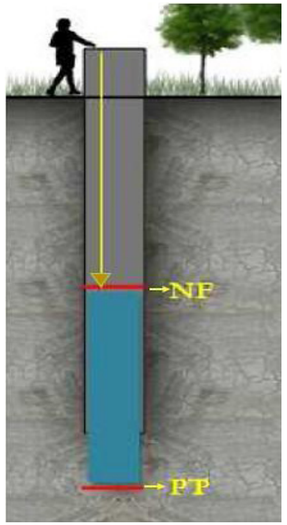


Figura 3. Metodología para toma de nivel freático.
Fuente: Huertas, 2013.

Resultados y análisis

Las características del suelo son parte fundamental para realizar el análisis de flujo vectorial del agua en la zona saturada, por lo tanto, es necesario conocer algunas características de este, como: clase textural, estructura, consistencia en húmedo y en saturado (*in situ*), pH, conductividad eléctrica y porcentaje humedad (en laboratorio), cuyos resultados se encuentran en la Tabla 1 y en la Tabla 2.

Tabla 1. *Resultados de parámetros in situ perfil de suelo en la zona de estudio*

Profundidad	Clase textural	Estructura	Consistencia en húmedo	Consistencia en saturado
0-20	Franco	Subangular	Firme	Ligeramente plástico-Ligeramente adhesivo
20-38	Franco-limoso	Subangular	Firme	Ligeramente plástico-Ligeramente adhesivo
28-58	Limoso	Angular	Firme	Plástico-adhesivo
58-80>	Arenoso	Subangular	Firme	Ligeramente plástico-Ligeramente adhesivo

Tabla 2. *Resultados por horizonte de los parámetros de suelo medidos en laboratorio*

Horizonte	Repetición	pH	% Humedad	CE us/cm
H1	1	5,32	14,33	128
	2	5,32	14,49	125,2
	3	5,33	14,55	129,4
H2	1	5,1	13,14	114,9
	2	5,22	13,56	135,1
	3	5,22	13,4	161,1

H3	1	5,26	19,1	37,6
	2	5,23	7,67	74,2
	3	5,24	7,6	46,2
H4	1	4,94	9,62	60,8
	2	5,06	9,71	64
	3	5,22	9,62	46,3

Según el área de estudio, se puede decir que el tipo de suelo encontrado es hidromórfico, presenta un nivel freático elevado o condiciones de saturación prolongada, debido a procesos de inundación o estancamiento durante un periodo suficientemente largo como para desarrollar condiciones anaerobias en el suelo, estos suelos son conocidos también como humedal o hídricos (USDA-NRCS, 2006).

Cabe resaltar que se realizó una calicata en la zona, a partir de la cual se encontró cuatro horizontes, que cuentan con características similares como la estructura, en 3 de los 4 horizontes son en bloques subangulares, esto debido a que la actividad biológica tiende a producir un efecto de granulación mediante la destrucción de estructuras masivas y compactas, aglutinando los componentes pulvurulentos (López, 2000), lo cual se puede complementar con los resultados de textura y consistencia en saturados encontrados en campo, ya que estas además de ser condicionantes de la estructura y porosidad, también brinda características únicas al suelo de estudio (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], s.f.).

Con respecto a lo anteriormente, las texturas: franco-limoso, limoso, franco y arenoso, contienen una cantidad considerable de poros, la diferencia es que la adhesividad y la plasticidad tienen un papel importante, ya que estas dos características, que están presentes en todos los horizontes, son las principales responsables del estancamiento del agua en la zona, en primer lugar, porque el suelo con presencia de partículas limosas no se adhieren y por lo tanto se vuelve resbaladizo, permitiendo que las aguas enfanguen, y en segundo lugar, por el contenido de arcillas expansibles dentro del suelo, que provocan cambios de volumen al retener el agua dentro de su estructura (Crosara, 2018).

En este sentido, los parámetros *in situ* no son los únicos que se midieron, también se realizaron análisis de laboratorio, como el pH, la humedad y la conductividad eléctrica. En el caso del pH, según el McKean (1993), el pH es uno de los parámetros que mejor reflejan las propiedades químicas del suelo y que determina la disponibilidad de muchos de los elementos necesarios para el crecimiento de las plantas.

De esta manera, el pH promedio que se encontró en los 4 horizontes es de 5, lo cual indica que es un suelo muy ácido y por tal motivo contiene una alta cantidad de aluminio intercambiable, el cual puede tener un efecto negativo sobre las "propiedades químicas del suelo como solubilización, disponibilidad y absorción de nutrientes, físicas como estructura y estabilidad de agregados y biológicas referente al tipo de organismos presentes en el suelo" (Oliva, 2009, p. 2).

Hay que agregar que la humedad está estrechamente relacionada con el pH, ya que entre mayor humedad haya en el suelo mayor será la acidez dentro del mismo, esto teniendo en cuenta que el porcentaje de humedad dentro de los horizontes tienen valores promedios de 12 %, lo que indica la cantidad de agua libre, capilar e higroscópica (Silva, Silva, Garrido y Acevedo, 2015). Dicho parámetro se puede comparar con la textura, ya que la cantidad de agua que hay en el suelo y, en este caso, por cada uno de los horizontes, como es el caso del Horizonte 4, el cual tiene una textura arenosa y un promedio de humedad de 9 %, que corresponde a lo expresado por Traxco (2009). Esto se puede explicar por el hecho que al ser un suelo arenoso, las arenas no retienen agua y en lugar de eso permite que ésta se movilice continuamente por el suelo.

Por otra parte, se destaca que la conductividad eléctrica es otro parámetro que se midió en laboratorio, el cual, según Observatorio Nacional de la Degradación de Tierras y Desertificación, es la capacidad de conducir la corriente eléctrica y está relacionada con la presencia de sales, cuya disociación genera iones positivos y negativos, capaces de transportar la energía eléctrica si se somete el líquido a un campo eléctrico, esto se evidencia en los 4 horizontes encontrados, los cuales poseen una conductividad alta, evidenciando que hay una alta cantidad de sales dentro del área de estudio, como se observa en la Tabla 3, donde se indica las clases de salinidad presentes en un suelo, basándose en la relación entre la conductividad y la salinidad.

Tabla 3. *Clases de salinidad según la FAO*

Clase de salinidad	CE ds/cm	Efecto en las plantas
No salino	0-2	Efectos despreciables
Ligeramente salino	2-4	Puede restringirse el rendimiento de los cultivos
Moderadamente salino	4-8	Restricción del rendimiento de varios cultivos
Fuertemente salino	8-16	Solo cultivos tolerantes rinden bien
Muy fuertemente salino	>16	Solo cultivos tolerantes rinden bien

Por otro lado, con el fin de obtener el nivel freático de la zona, se realizó un levantamiento topográfico, del cual se obtuvieron valores de altura sobre el nivel del mar y las coordenadas exactas de los pozos. Después de realizar todo el proceso del levantamiento topográfico, y de las visitas semanales a la zona de estudio, con el fin de realizar la medición del nivel freático, se obtuvieron los datos midiendo la altura del pozo, altura de fondo y espejo. De esta manera, se obtienen los valores del nivel freático desde el mes de febrero hasta el mes de septiembre de 2018 (4 mediciones por mes). Sin embargo, de los datos obtenidos se tomó un promedio mensual, como se indica en la Tabla 4.

Tabla 4. *Valores de nivel freático febrero-mayo de 2018*

Pozo	Norte	Este	Altitud	Nivel Freático			
				Febrero	Marzo	Abril	Mayo
C1.1	612453,60	-778552,60	2768,89	2768,73	2768,70	2768,75	2768,82
C1.2	612454,09	-778565,38	2768,86	2768,75	2768,74	2768,75	2768,85
C1.3	612452,37	-778576,49	2768,81	2768,72	2768,71	2768,72	2768,81
C1.4	612453,20	-778587,50	2768,83	2768,65	2768,67	2768,69	2768,80
T1.1	612430,82	-778554,37	2769,03	2768,89	2768,85	2768,91	2769,01
T1.2	612428,30	-778562,44	2768,95	2768,72	2768,84	2768,88	2768,90
T1.3	612428,87	-778576,30	2768,93	2768,74	2768,89	2768,87	2768,89
T1.4	612430,99	-778589,20	2768,90	2768,79	2768,80	2768,86	2768,85
C2.1	612445,03	-778552,04	2768,89	2768,77	2768,61	2768,80	2768,85
C2.2	612448,13	-778561,76	2768,86	2768,92	2768,71	2768,81	2768,81
C2.3	612443,70	-778575,29	2768,86	2768,69	2768,82	2768,80	2768,85
C2.4	612442,76	-778588,48	2768,80	2768,65	2768,68	2768,72	2768,77
T2.1	612416,50	-778552,40	2769,14	2768,99	2769,10	2769,06	2769,14
T2.2	612416,04	-778561,79	2768,99	2768,84	2768,91	2768,94	2768,96
T2.3	612418,10	-778577,57	2768,95	2768,55	2768,82	2768,80	2768,94
T2.4	612416,20	-778588,30	2768,93	2768,77	2768,86	2768,82	2768,89

Ahora bien, a partir de los datos de nivel freático se realizaron 6 mapas, en los cuales se muestra el flujo vectorial del agua a partir del gradiente de las líneas equipotenciales, teniendo en cuenta la altura del nivel freático a través de los datos presentados en la Tabla 4. (Ver Figura 4).

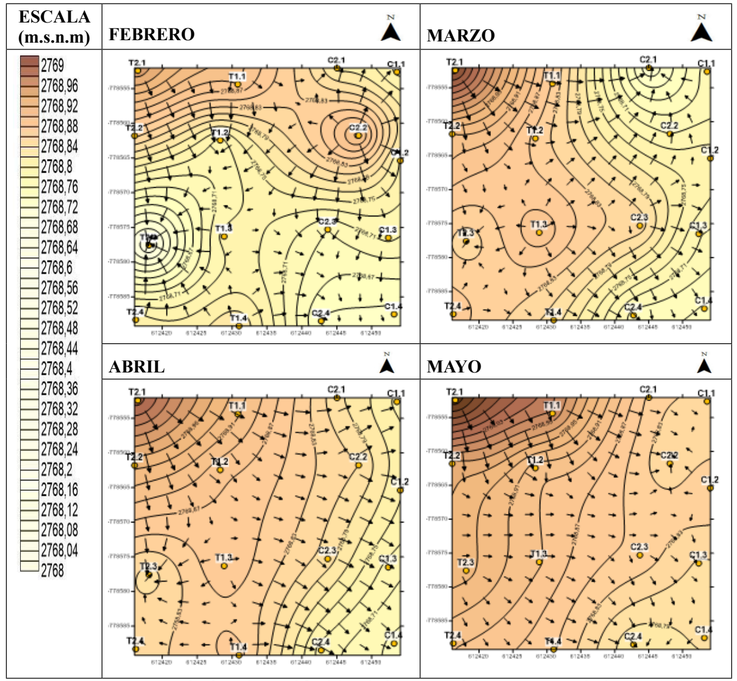


Figura 4. Mapas geoestadistícos de nivel freático de los meses febrero, marzo, abril y mayo de 2018.

En relación a la Figura 4, los puntos amarillos corresponden a los 16 pozos ubicados en el terreno con sus respectivas nomenclaturas, como tratamiento (T) o control (C), las líneas negras son las líneas equipotenciales que reflejan el nivel freático en m s. n. m. y las flechas de color negro son los vectores de flujo de agua subterránea, que representan el gradiente de las líneas equipotenciales en dirección de flujo y magnitud de acuerdo a la longitud de estas.

Por lo tanto, se evidencia que el flujo de agua en los diferentes meses es heterogéneo, sin embargo, en los mapas el nivel más alto se encuentra en T-2.1, a excepción del mes de mayo. En esta zona, durante los meses de estudio, se presentan distancias más grandes entre nivel freático respecto a los otros pozos, esto reflejado en la longitud más larga de las flechas en la zona mencionada.

Por otro lado, se observa que en cada uno de los mapas los gradientes de las líneas equipotenciales se dirigen hacia los pozos en los cuales el nivel freático es más bajo, independiente de la cercanía que esta tenga a la laguna. De manera agregada, a partir de los datos de NF que se obtienen, se denota la cercanía que tiene éste a la superficie, lo que puede apoyarse en el hecho de que, según Tarbuck & Ludgens (2005), en las zonas de lagos el nivel coincide muchas veces con la superficie o se encuentra por encima de este, así como a las características que presente el suelo, como tener ligeramente plásticos y adhesivos, dado que retienen el agua por sus pequeños poros, esto no permite el flujo libre del agua, reteniéndola y haciendo que aumente el valor de NF a la hora de las mediciones.

En este orden de ideas, se evidencia que existe correlación entre el NF y la variación climática (sequía o varias lluvias), ya que, según Tarbuck y Ludgens (2005), el aumento en el NF en una zona se encuentra relacionado con la cantidad, distribución y frecuencia de las precipitaciones. En la Figura 5 se indican los valores de precipitaciones de los meses en los cuales se realizó la toma de datos, para poder establecer una comparación entre los mapas geoestadistícos presentados en la Figura 4. Cabe resaltar que estos datos fueron obtenidos de la *NASA Prediction Of Worldwine Energy Resources*.

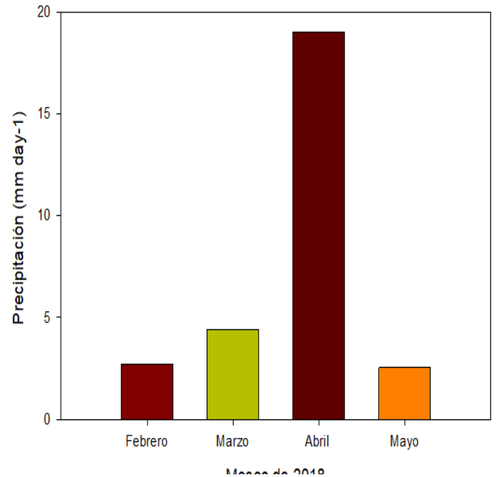


Figura 5. Precipitación de los meses febrero, marzo, abril y mayo en la zona de estudio.

A través de la Figura 5, se puede establecer una relación con la variación existente del nivel freático, como se evidencia en la Figura 4, en el mapa correspondiente al mes de febrero existen niveles freáticos más bajos y para el mes de marzo comienza a aumentar el nivel, sin embargo, se debe tener en cuenta las propiedades del suelo, que son el resultado de la influencia de la retención de agua y los valores de nivel freático.

Conclusiones

La profundidad a la que se encuentra el agua de los pozos siempre está determinada por las condiciones geográficas, climáticas y ambientales, las cuales pueden variar mucho.

Los parámetros característicos del tipo de suelo presente en la zona de estudio hacen que los niveles freáticos sufran grandes variaciones a nivel espacio-temporal.

A partir de los resultados obtenidos se evidencia que el nivel freático es heterogéneo, tanto a nivel espacial como temporal, esto porque depende de diferentes factores, como la precipitación, el aporte de la laguna, el nivel del suelo y el movimiento del agua dentro de la matriz suelo.

El suelo en la zona de estudio es un condicionante para el nivel freático, debido a los parámetros característicos de este tipo de suelos y porque ejerce su función de filtro regulador, que por medio de fenómenos de sorción permite retener dicho nutriente.

Referencias

Corponariño (2002). Humedal Ramsar Laguna de la Cocha. Recuperado de https://goo.gl/YFI5qB

Gidahatari. (s.f.). Principales factores que afectan el régimen de agua subterránea. Recuperado de http://gidahatari.com/ih-es/principales-factores-afectan-regimen-aguas-subterraneas

Huertas, J. (2013). *Evaluación de trasporte variación y remoción de nutrientes del agua subterránea a lo largo de una catena de suelos derivados de cenizas volcánicas en un sistema ripariano* (tesis de maestría). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

López, Y. (2000). Relaciones hídricas en el continuo agua-suelo-planta-atmósfera. Cali: División de Investigación de la Universidad Nacional de Colombia

McKean, S. (1993). *Manual de análisis de suelos y tejido vegetal una guía teórica y práctica de metodología.* Palmira: Centro Internacional de Agricultura Tropical.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (s.f.). Estructura del suelo. Recuperado de https://goo.gl/6ogCpQ

Oliva, D. (2009). *Determinación de la acidez intercambiable (Al+3+H) a partir del pH para la estimación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en suelos de la cuenca del Pacífico en El Salvador, Honduras y Nicaragua* (tesis de pregrado). Honduras. Recuperado de https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/386/1/T2804.pdf

Silva, P., Silva, H., Garrido, M. y Acevedo, E. (2015). *Manual de estudio y ejercicios relacionados con el contenido de agua en el suelo y su uso por los cultivos.* Santiago de Chile: Universidad de Chile.

Tarbuck, J. y Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la tierra: una introducción a la geología física* (Trad. AMR Traduciones Cientificas) (8.ª ed.). Madrid: Pearson Educación S. A

Traxco. (10 de diciembre de 2009). Humedad en suelos de diferente textura [Blog]. Recuperados de https://www.traxco.es/blog/tecnologia-del-riego/humedad-en-suelos-de-diferente-textura

Implementación de un Sistema de Tratamiento de Agua Segura en la vereda Pajajoy, Buesaco, Nariño

Renato Arturo Pantoja Guerrero[109]
Juan Fernando Muñoz Arturo[110]

Resumen

La investigación fue establecida para determinar un sistema de tratamiento de agua con fines de consumo humano. Para ello se realizó un breve diagnóstico socioeconómico y un análisis de la calidad del agua, con el fin de determinar las posibles causas que afectan el recurso hídrico y, de igual manera, la situación actual en la que se encuentra la calidad del agua. Para cumplir con el objetivo, se realizó encuestas y muestreos de agua, los cuales fueron contrastados con información del Esquema de Ordenamiento Territorial –EOT- e informes de calidad del agua. De esta manera se logró determinar que la calidad del agua servida por el acueducto no es apta para el consumo humano, puesto que no cumple con lo establecido en la Resolución 2115 de 2007. Ante esto, fue necesario evaluar tres sistemas de tratamiento que permitan mejorar la calidad del recurso, siendo el sistema más favorable para las condiciones del lugar, el de filtración por gravedad con cloración, ya que cuenta con aspectos positivos en condiciones tales como área, inversión, manejo, mantenimiento y durabilidad, en comparación a otros métodos de tratamiento.

Palabras clave: agua, cloración, filtración, sistema, tratamiento.

[109] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Marina. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: rapantoja@umariana.edu.co

[110] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Marina. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: juanfmunoz@umariana.edu.co

Implementation of safe drinking water treatment system in Pajajoy Village, Buesaco, Nariño

Abstract

The investigation was established to determine a water treatment system for human consumption purposes. For this, a brief socioeconomic diagnosis and an analysis of water quality were carried out, in order to determine the possible causes that affected the water resource and in the same way, the current situation in which the water quality was found. To meet the objective, surveys and water sampling were conducted, which were contrasted with information from the Territorial Planning Scheme and water quality reports. In this way, it was possible to determine that the quality of the water served by the aqueduct is not suitable for human consumption, since it does not comply with the provisions of Resolution 2115 of 2007. Given this, it was necessary to evaluate three treatment systems that allow improving the quality of the resource, being the gravity filtration with chlorinating system the most favorable, for the conditions of the place, since it has positive aspects in conditions such as area, investment, handling, maintenance and durability, compared to other methods of treatment.

Key words: water, chlorination, filtration, system, treatment.

Implementação de um Sistema de Tratamento de água segura em la Vereda Pajajoy, Buesaco, Nariño

Resumo

A investigação foi estabelecida para determinar um sistema de tratamento de água para fins de consumo humano. Para isso, foi realizado um breve diagnóstico socioeconômico e uma análise da qualidade da água. O acima, a fim de determinar as possíveis causas que afetaram o recurso hídrico e, da mesma forma, a situação atual em que a qualidade da água foi encontrada. Para realizar isso, foram realizados levantamentos e amostragem de água, que foram contrastados com as informações da EOT e os relatórios de qualidade da água. Desta forma, foi possível determinar que a qualidade da água servida pelo aqueduto não é adequada para consumo humano; desde então, não cumpre com as disposições da Resolução 2115 de 2007. Perante isso, foi necessário avaliar três sistemas de tratamento que permitem melhorar a qualidade do recurso, sendo o sistema mais favorável para as condições do local, a filtração por gravidade com cloração, dado que possui aspectos positivos em termos de área, investimento, manuseio, manutenção e durabilidade, comparado a outros métodos de tratamento.

Neste projeto, o sistema de tratamento de água foi determinado para fins de consumo humano. Para começar, foi necessário fazer um breve diagnóstico socioeconômico e de qualidade da água; tudo isso para determinar as possíveis causas que afetaram o recurso hídrico e da mesma forma a situação atual em que a água estava. A fim de cumprir com isso, foi necessário coletar informações primárias por meio de pesquisas e amostragem de água no distrito de Pajajoy e suporte de informação secundária (EOT Reports e qualidade da água). Portanto, foi determinado que a qualidade da água servida pelo aqueduto não está em conformidade com as disposições da Resolução 2115 de 2007, uma vez que, parâmetros como cor, turbidez, cloro residual livre e coliformes estão fora dos limites estabelecidos.

Palavras-chave: Água, cloração, Filtração, Sistema, Tratamento.

Introducción

Actualmente, el departamento de Nariño no cuenta con una cobertura total en cuanto al servicio de acueducto, tal como se puede observar en el Reporte de Estratificación y Coberturas (REC), certificado por las alcaldías de los municipios al Sistema Único de Información (SUI). Tan solo 12 municipios de los 64 existentes cuentan con abastecimiento de agua potable, lo cual permite evidenciar la notable demanda requerida en cuanto a soluciones prácticas que permitan obtener al consumidor agua en cantidad necesaria para suplir sus necesidades y con la calidad adecuada para no contraer enfermedades que agraven su problemática.

Es así como, el agua contaminada cuando sufre cambios que afectan su uso real o potencial y afectan su calidad, debe ser determinado mediante la aplicación de técnicas analíticas adecuadas para cada caso o uso, aplicando los procesos de muestreo, unidades y terminología aplicada (Vargas, 2004). Con el fin de lograr una calidad de agua apta para consumo humano, se deben realizar tratamientos sobre el recurso, con el propósito de mantener los valores permisibles establecidos por la normatividad, como la Resolución 2115 de 2007. Entre los tratamientos más comunes para lograr la calidad de este recurso, se encuentran los procesos de cloración, método de ebullición, filtración, desinfección solar y desinfección por rayos de luz ultravioleta (Horowick & Klein, 2011).

Ante esto, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), planteo los objetivos de milenio, donde se promueve el diseño y ejecución de proyectos para aumentar el acceso a agua y servicios de saneamiento en poblaciones vulnerables del área rural del país; con especial énfasis en captaciones de agua lluvia, filtros caseros para desinfección de agua y la mejora de infraestructura de acueducto y alcantarillado (PNUD, 2015). Por lo anterior, el objetivo del trabajo consistió en evaluar diferentes sistemas de tratamiento, con el fin de mejorar la calidad del agua para consumo seguro del agua en la vereda Pajajoy.

Metodología

Para dar cumplimiento a la investigación, se realizó un diagnóstico de la calidad y cantidad del recurso hídrico, como acercamiento a la realidad en la vereda, para lo cual, se realizó encuestas y muestreos de agua, lo cual fue contrastado con información presentada en el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) y los reportes del programa de vigilancia de la calidad del agua presentados por el Instituto Departamental de Salud de Nariño (IDSN).

Por lo tanto, se realizó la línea base del proyecto a través del diagnóstico socioeconómico de la población, lo que permitió evidenciar las relaciones presentes en la problemática del recurso hídrico. De esta manera, se profundizo en los aspectos económicos, académicos y de cobertura de servicios públicos de la población. Sumado a esto, se realizó y analizo la muestra de agua con base en la metodología establecida en el *Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater*, la cual se encuentra adaptada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Posteriormente, se procedió a calcular el Índice de Riesgo de Calidad del Agua para consumo humano (IRCA), mediante los puntajes establecidos para cada parámetro en la Resolución 2115 de 2007 y así determinar el nivel de riesgo en el que se encuentra el agua servida.

Una vez determinados los parámetros críticos, se evaluó tres alternativas, por su efectividad en el tratamiento de estos. Para esto se hizo necesario realizar una breve descripción de cada sistema, con sus posibles ventajas y desventajas ante la realidad del estudio. Una vez realizado esto, se procedió a evaluar los sistemas, según los establecido en el Manual para la identificación de necesidades en agua potable y saneamiento básico (Gobernación de Nariño Plan Departamental de Agua PAP- PDA, Grupo de Investigación Ambiental-GIA Universidad Mariana, 2016), en el cual se recomienda establecer criterios que potencien o afecten el funcionamiento o la implementación del sistema. Estos criterios se deben evaluar en relación a los componentes natural, social, institucional, técnico, financiero y de gestión predial, los cuales determinaran la viabilidad del sistema, siendo poco viable el sistema que obtenga una puntuación en la escala 10 a 30, medianamente viable el que posea una puntuación de 40 a 70, y altamente viable el sistema que posea un puntaje entre 80 a 100.

Resultados Diagnóstico

En la Tabla 1 se indica los valores determinados de parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua servida por el acueducto de la vereda Pajajoy. Donde se puede evidenciar que el recurso no cumple con lo establecido en la Resolución 2115 de 2007, con un puntaje de IRCA equivalente a 81 %, con un nivel de riesgo determinado como inviable sanitariamente. Ante lo cual, se justifica la implementación de un tratamiento que pueda reducir este índice de riesgo y servir agua segura para el consumidor.

Tabla 1. *Características fisicoquímicas y microbiológicas de la fuente de abastecimiento*

Característica	Método	Resultado	Unidades	Valores aceptables	Diagnostico
pH	Electrométrico	7.673	Unidades de pH	≥6.5≤9	Aceptable
Conductividad	Electrométrico	270.2	µ siemenes/cm	1000	Aceptable
Color aparente	Colorimetría	0	UPC	≥0≤15	Aceptable
Turbiedad	Nefelométrico	3.18	NTU	≥0≤2	No Aceptable
Alcalinidad	Volumétrico	33	mg $CaCO_3$/L	≥0≤200	Aceptable

Dureza total	Volumétrico EDTA	65	mg $CaCO_3$/L	≥0≤300	Aceptable
Cloro residual libre	Titulación	0.02	mg Cl2/L	≥0.3≤2	No Aceptable
Sulfatos	Gravimétrico	0.35	mg SO_4/L	≥0≤250	Aceptable
Hierro	Espectrofotométrico	0.08	mg Fe/L	≥0≤0.3	Aceptable
Nitritos	Espectrofotométrico	0.007	mg NO_2/L	≥0≤0.1	Aceptable
Nitratos	Espectrofotométrico	0	mg NO_3/L	≥0≤10	Aceptable
Coliformes totales	Sustrato definido	2800	UFC/100ml–NMP/100 ml	≥0≤0	No Aceptable
E. Coli	Sustrato definido	900	UFC/100ml–NMP/100 ml	≥0≤0	No Aceptable

La alteración de valores en el parámetro de turbiedad (ver Tabla 1) puede reflejarse principalmente a un deficiente tratamiento por parte del prestador del servicio, en el cual dentro del tratamiento estipulado se encuentra la adición de cloro, lo cual resulta preocupante. Lo anterior, debido a que la presencia de materia orgánica durante el proceso de cloración puede propiciar la generación de subproductos con propiedades químicas y toxicológicas particulares, como los trihalometanos, sustancias perjudiciales para la salud humana, causantes de enfermedades respiratorias y reproductivas (Freire et al, 2008).

Por otra parte, la ausencia de cloro residual libre (ver Tabla 1), se debe netamente a una deficiente dosificación de cloro, la cual puede estar influenciada directamente por el escueto diagnóstico y conocimiento que tiene el servidor sobre el cuerpo de agua y la falta de capacitación en cuanto a las prácticas para el manejo del acueducto. Además de esto, se recomienda que la determinación de la cantidad de desinfectante a utilizar, sea relacionada con los análisis microbiológicos y los valores de turbiedad, puesto que, según Montoya, Loaiza, Torres, Cruz y Escobar (2011), un alto valor en estos parámetros demandará una mayor cantidad de desinfectante.

La inadecuada o insuficiente dosificación de desinfectante permite que las bacterias y virus presentes en el agua se reproduzcan, incrementando el nivel de riesgo del recurso. Es así como, Gonzaga, Castro y López (2017) afirman que un alto número de bacterias (coliformes) pueden ser consideradas una alerta de contaminación, con una posible transmisión por medio del agua, de microorganismos patógenos como la salmonella, vibriocholerae y especies de shigella.

Por otra parte, el análisis de las condiciones socioeconómicas permite relacionar e integrar los resultados que se obtuvieron en el diagnóstico de la calidad del agua. Donde lo más relevante dentro de la población encuestada fueron las principales enfermedades que presenta la población con mayor frecuencia (ver Figura 1).

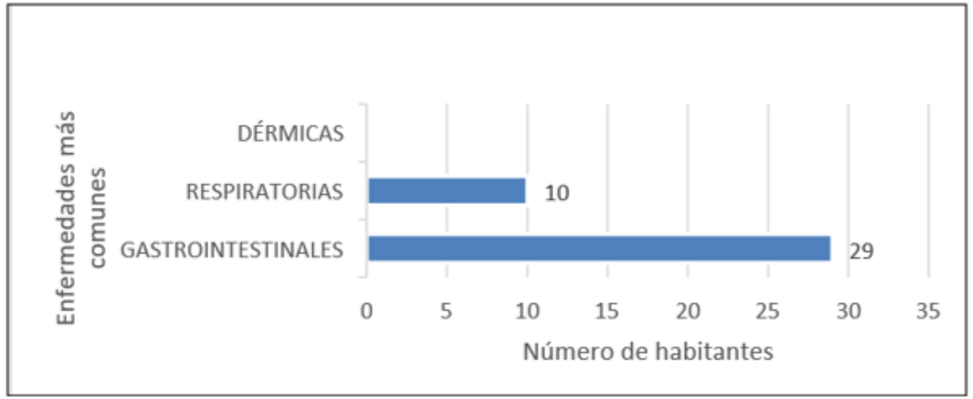


Figura 1. Principales enfermedades en la vereda Pajajoy.

Ante esto, se logró identificar que existe una estrecha relación entre las enfermedades que se presentan con mayor frecuencia en la población con la calidad del agua, puesto que, según los altos valores en los parámetros microbiológicos, se estarían propiciando las enfermedades gastrointestinales por la ingesta de agua no apta para consumo humano. De igual manera, la presencia de E. coli en el agua, puede ser indicativo de la contaminación con otras bacterias, virus o protozoos que pueden causar enfermedades y que no debe existir contacto con el agua contaminada por parte de los humanos o animales, hasta que la presencia de E. coli ya no sea detectada y el agua se considerada segura.

Por otra parte, en el diagnóstico se determinó que la población cuenta con un nivel básico académico, donde en su mayoría solo ha cursado de manera inconclusa la primaria escolar. Según Chan (2010), la salud y la educación están íntimamente unidas, siendo la educación, el arma más poderosa para romper el ciclo de pobreza, enfermedad y miseria. De igual manera, no se cuenta con las capacitaciones necesarias para el manejo de recurso hídrico y tratamiento de aguas residuales.

Por último, la calidad del recurso hídrico según el consumidor esta determinada como buena, dado que aseguran realizar captaciones de nacimiento de agua y de fuentes que pasan por sus predios. No obstante, esto no es correcto, ya que no se garantiza que el recurso posea la calidad para ser consumida.

Diseño del sistema de tratamiento

En la Tabla 2, se puede observar las características comunes del agua afectadas por los procesos y operaciones unitarias convencionales de tratamiento. Donde, para la calidad de agua del presente estudio, según la recomendación bibliográfica, se debe implementar una unidad de filtración rápida por gravedad, precedida de unidades de coagulación, floculación y sedimentación. Además de estas unidades, se debe adicionar una unidad

de cloración para inhibir el posible crecimiento de bacterias, en consecuencia, se propuso evaluar tres sistemas diferentes de tratamiento en relación a la incidencia sobre los parámetros críticos, sus criterios de diseño, costos de mantenimiento y durabilidad.

El primer sistema corresponde al tratamiento convencional, usualmente utilizado en la mayoría de plantas de tratamiento, con unidades de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración. Dicho sistema es ideal para tratar agua con grandes cantidades de turbiedad y sólidos, donde son retenidos principalmente en las primeras tres unidades, y que de no ser así, la unidad de filtración garantizará la remoción del total de partículas sólidas y remanentes, donde se pueden esconder microorganismos patógenos que afectan la salud humana y afectan a la unidad de desinfección (Cárdenas y Medina, 2017).

Tabla 2. *Atributos comunes del agua afectados por los procesos y operaciones unitarias convencionales de tratamiento*

Atributo	Aireación	Coagulación floculación y sedimentación	Ablandamiento con cal-soda y sedimentación	Filtración lenta en arena sin	Filtración rápida en arena precedida de	Cloración
(a)	(b)	(c)	(d)	(c)	(c)	(g)
Bacterias	0	+	(+++)[12]	++++	++++	++++
Color	0	+++	0	+	++++	0
Turbidez	0	+++	(++)[2]	(+)[3]	++++	0

Nota: 1. Mediante inclusión en los precipitados; 2. Por turbidez alta los filtros se taponan muy rápidamente; 12. Después de la aireación.

Fuente: Romero, 2006.

El costo aproximado para este sistema es de $ 58,000 dólares, equivalente a 168’200.000 pesos colombianos, con requerimientos de grandes áreas para su construcción, operadores (mínimo dos) capacitados para mantenimiento y operación. De lo anterior, se logró determinar que el tratamiento sería efectivo para la calidad del agua, pero sus altos costos no resultan beneficiosos para la población.

El segundo sistema de tratamiento correspondió a una unidad de filtración y a una unidad de desinfección no convencional, seleccionada por su efectividad ante los parámetros críticos, donde la unidad de filtración minimizará los valores de turbiedad y la desinfección será la encargada de eliminar todo microorganismo que resulte riesgoso para la salud humana.

Para la unidad de filtración, se optó por tomar tres tecnologías comerciales diferentes (ver Tabla 3), las cuales no requieren de grandes áreas para su implementación, son de fácil manejo y mantenimiento, mejoran la calidad del agua y su implementación prioriza las necesidades de zonas rurales, donde el acceso a agua potable no es posible, ya sea por su ubicación geográfica o por insuficientes recursos económicos para el mantenimiento de tecnologías que requiere mayores inversiones; así mismo, su implementación es útil en condiciones de emergencia ante situaciones de amenazas naturales (actividad volcánica, deslizamientos, etc.). En cuanto a la unidad de desinfección, se optó por tomar dos procedimientos no convencionales (ver Tabla 4), que brindan al usuario la seguridad de consumir agua fuera de cualquier contaminación de microorganismos patógenos, parásitos y virus.

Tabla 3. *Principales características de la unidad de filtración*

	Filtro de Rio módulo 2000	Filtro FiltreOZ	Lifestraw Community
Caudal servido	2000 L/h	90 L/h	11 L/h
Remoción	Bacterias patógenas (E. coli, Cholera, Salmonella, etc.), turbiedad	Elimina 100 % de bacterias y 99 % de parásitos; reduce 97 % de turbiedad.	Elimina 99,99 % de bacterias, protozoos, virus, microplasticos y turbidez
Valor comercial	$ 590.000 pesos colombianos	$ 750 pesos mexicanos. $ 116.000 pesos colombianos.	$ 375 dólares americanos. $ 1´087.500 pesos colombianos.
Fuente	Doulton Colombia (2016).	Instituto de Tecnologías Rurales (2018).	LifeStraw (2018).

Tabla 4. *Principales características de la unidad de desinfección*

	Método SODIS	Luz Ultravioleta
Tiempo de trabajo	7 horas	3 minutos
Remoción	90 % en inactivación de coliformes	Remoción de virus y bacterias del 99 %
Valor	$ 36 dólares americanos $ 105.000 pesos colombianos	$ 600 pesos mexicanos $ 93.000 pesos colombianos
Fuente	Bermudes (2015).	Instituto de Tecnologías Rurales (2018).

Ante estas tecnologías, se determinó que lo más viable era el trabajo de FiltreOZ, con desinfección mediante luz ultravioleta, debido a que poseen una alta remoción de los parámetros críticos determinados en esta investigación; así mismo su costo no es elevado en comparación a las demás tecnologías y sus diseños son desarrollados con base en las zonas rurales con situaciones de emergencia.

Por último, el tercer sistema corresponde a un filtro rápido por gravedad y una unidad de desinfección mediante cloración. Según Romero (Citado por Ángel y Morales, 2016), la filtración en medios granulares es la forma más económica y eficiente de separar solidos suspendidos que no son removidos por sedimentación, esto con base en la filtración realizada en medios granulares, la cual generalmente utiliza medios de filtración como

carbón activado, antracita y arenas de diferente tamiz, cuyos precios son bajos y han demostrado que al ser implementados de la manera correcta puede generar altas tasas de eficiencia en remoción de contaminantes.

La unidad de filtración se puede realizar en pequeñas y grandes áreas, según el caudal requerido, así mismo, su mantenimiento es sencillo, únicamente requiere de retrolavado, con flujo contrario al de trabajo. En cuanto a su costo, puede aproximarse a los $ 615.000 pesos colombianos.

Por otra parte, la unidad de cloración es el tratamiento más efectivo y utilizado para la desinfección del agua, para fines de consumo humano. Es así como el manejo de los dosificadores es sencillo, no requiere de operarios especializados, trabajan con sustancias que no son altamente toxicas para el ser humano (hipoclorito de calcio o sodio) y su costo puede variar desde los $ 200.000 pesos hasta valores superiores a $ 1´000.000 de pesos colombianos.

Selección del sistema de tratamiento

Una vez realizada la descripción de cada uno de los posibles sistemas de tratamiento, se seleccionó la alternativa con mayor viabilidad, según lo establecido en el Manual para la Identificación de Necesidades en Agua potable y Saneamiento Básico, descrito en la metodología.

Para esto, se profundizo en la descripción de cada alternativa por componente, para el componente natural se tuvo en cuenta los recursos naturales necesarios para su construcción, impactos que genera la tecnología y estudios necesarios para su diseño e implementación; para el componente social, se tuvo en cuenta los actores necesarios para que la tecnología trabaje adecuadamente y las ventajas y desventajas que se contemplan en su implementación, manejo y operación; en tanto al componente institucional, se determinó entidades u organizaciones encargadas de ejecución, construcción y operación de los sistemas de tratamiento, de manera que garanticen la sostenibilidad del mismo. En cuanto a los componentes técnico y financiero, se tuvo en cuenta, los parámetros de diseño, materiales de construcción, facilidad de operación, mantenimiento y costos a nivel de construcción, operación y mantenimiento de cada sistema.

De igual manera, se establecieron los criterios por cada componente, de los cuales se pueden resaltar, las fuentes de agua en cantidad y calidad, condiciones topográficas para instalación, gestión de los servicios públicos, capacidad y disponibilidad de pago, accesibilidad a materiales y soporte técnico local, eficiencia de la tecnología, disponibilidad de predios o áreas para la implementación y costos bajos en cuanto a diseño, implementación, mantenimiento y operación. Así mismo, cada criterio posee una valoración según su afinidad con la descripción de cada sistema, los criterios que se encuentran en rango bajo equivaldrán a un total de 0,20 (20 %), criterios en rango medio a 0,5 (50 %) y criterios en rango alto a 1 (100 %).

Para finalizar con la selección, se realizó la evaluación de cada tecnología con respecto a los criterios y puntajes establecidos. Ante esto, se obtuvo que el sistema con mayor viabilidad para ser implementado fue el de filtración por gravedad y cloración; puesto que el primer sistema (PTAP convencional) posee un bajo puntaje en la mayoría de sus componentes, principalmente en el financiero debido a sus altos costos; técnico al requerir operarios capacitados para su operación y mantenimiento y requiere de grandes predios para su implementación. Ante el segundo sistema, se tiene un puntaje medio, puesto que cumpliría satisfactoriamente con lo requerido para la zona, pero el mayor limitante es su durabilidad (2 años), la cual reduce notoriamente el puntaje de este sistema, dado que sus repuestos requieren una inversión similar a la inicial. Por lo anterior, se seleccionó el tercer sistema, dado que no requiere de grandes áreas de construcción, no requiere de personal altamente capacitado y es de fácil operatividad y mantenimiento, así mismo, su precio es inferior en relación a su durabilidad (3-5 años), dado que reemplazar los lechos filtrantes requiere una inversión menor que la inicial.

Dimensionamiento del sistema de filtración por gravedad y cloración

Para empezar, se determinó el área requerida para el filtro, según Romero (2006), la tasa de filtración para este tipo de filtros debe ser menor o igual a 120 m/día, y su estratificación se debe realizar desde el material más fino al más grueso. En la Tabla 5 se puede observar las ecuaciones utilizadas para el dimensionamiento del filtro rápido por gravedad; mediante las cuales se logró determinar inicialmente un área 0,0288 m2, con radio de 0,09 m y diámetro de 0,18 m (8”). De lo cual, se pudo determinar que se trata de un diseño de pequeñas dimensiones, debido a que la demanda requerida de agua no es grande, ante eso se optó por sobredimensionar la unidad de filtración, con el fin de reducir la frecuencia de mantenimiento y optimizar el funcionamiento del mismo. Por lo tanto, se calculó, la nueva área y el caudal máximo diario que brindara la unidad de filtración, teniendo en cuenta que se usó un bidón de 55 galones (208 litros), con diámetro de 0,55 m y altura de 0,9 m.

Por último, el sistema de drenaje está compuesto por una ramificación principal de 50 cm, de la cual se derivan 3 laterales a cada lado, con separación de 12 cm, donde cada lateral cuenta con 5 orificios de 0,004 mm de diámetro, según la recomendación de Castillo (2015).

Tabla 5. *Ecuaciones para el dimensionamiento del filtro rápido por gravedad*

Concepto	Formula	Resultado
Área total del filtro	$\frac{Caudal\ Maximo\ diario}{Tasa\ de\ filtración}$	0,0288 m²
Radio	$\sqrt{\frac{Área\ total\ del\ filtro}{\Pi}}$	0,09 m
Diámetro	2*Radio	0,18 m
Área superficial del cilindro	$2*\Pi*r*(r+h)$	2,03 m²
Caudal máximo diario	Área total del filtro*Tasa de filtración	243,6 m³/s
Longitud entre unidades	$\frac{Longitud\ de\ la\ tuberia}{Número\ de\ unidades\ por\ lato\ +\ 1}$	12.5 cm
Área orificio	$\frac{\Pi\ *\ (diámetro\ orificio)^2}{4}$	0,0000126 m²
Área transversal del filtro	$\frac{\Pi\ *\ (diámetro\ orificio)^2}{4}$	0,24 m²
Número de orificios totales	$\frac{Ro\ *\ Área\ transversal\ del\ filtro}{Área\ orificio}$	29
Número de orificios por lateral	$\frac{n}{Número\ de\ laterales}$	5

Conclusiones

La deficiente calidad de los servicios de saneamiento hace que la población realice sus vertimientos a los cuerpos de agua, afectando su calidad, como se pudo evidenciar en la caracterización fisicoquímica y microbiológica, con valores por fuera de los límites permisibles que refiere la normatividad para parámetros como la turbiedad, Coliformes totales, Escherichia coli y cloro residual libre.

La importancia de controlar parámetros como la turbiedad, radica principalmente en la relación que presenta este con la desinfección, ya que un tratamiento efectivo para controlar los valores de turbiedad, permitirá que la unidad de tratamiento sea más efectiva.

La selección de tecnologías debe contemplar un fácil mantenimiento y operación, así mismo, debe ser un dispositivo duradero que no implique altos costos para su manutención y que se asequible para toda la población.

Se evidenció que la unidad de cloración es la que brinda mayor seguridad en cuanto al control de parámetros microbiológicos, puesto que la implementación de otras alternativas no convencionales aun no contempla las constantes variaciones que puede presentar el agua, por lo cual se requiere de análisis más profundos y mayor complejidad en la operatividad de tecnologías no convencionales ante lo convencional.

El sistema de filtración rápida por gravedad y cloración debe seguir las recomendaciones propuestas en su operación y mantenimiento. Ante la presencia de solidos suspendidos en el agua servida se debe cerrar la válvula para su mantenimiento, puesto que la presencia de materia orgánica puede producir productos secundarios con la adición de cloro, como los trihalometanos.

Referencias

Ángel, J. y Morales, Y. (2016). *Propuesta para el diseño preliminar de un sistema de potabilización de agua subterránea en una institución educativa ubicada en el municipio de Chimichagua Cesar* (tesis de pregrado). Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia. Recuperado de http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/18701/41101094_2016.pdf?sequence=1

Bermudes, D. (2015). *Desinfección solar para abastecimiento de agua de consumo humano a nivel domiciliario en el sector de la Pereira, parroquia La Avanzada, Cantón Santa Rosa, Provincia del Oro. Universidad Técnica de Machala* (tesis de pregrado). Universidad Técnica de Machala, Machala, El Oro. Recuperado de http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/2944

Cárdenas, A. y Medina, J. (2017). *Diseño y construcción de una planta de tratamiento de agua potable a escala para el laboratorio de hidráulica. Universidad Santo Tomas* (tesis de pregrado). Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia. Recuperado de https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/9573/CardenasAndr%C3%A9s2017.pdf?sequence=2&is Allowed=y

Doulton Colombia. (2016). Módulo 2000 filtro rio [página en Internet]. Recuperado de https://goo.gl/moFV2A

Freire, C., Soler, R., Fernández, M., Villanueva, C., Grimalt, J. y Olea, N. (2008). Valores de trihalometanos en agua de consumo de la provincia de Granada (Spain). *Gaceta sanitaria, 22*(6), 520-526.

Gobernación de Nariño Plan Departamental de Agua PAP-PDA, Grupo de Investigación Ambiental-GIA, Universidad Mariana. (2016). Manual para la identificación de necesidades en agua potable y saneamiento básico. San Juan de Pasto.

Gonzaga, S., Castro, N. y López, G. (2017). El abasto de agua potable y la salud comunitaria: Machala, Ecuador. Estudio de caso. *Revista Universidad y Sociedad, 9*(1), 218-223.

Horowicz, L. & Klein, S. (2011). *Potabilizador de agua para consume familiar en zonas Rurales* (tesis de pregrado). Universidad de Buenos Aires, Argentina. Recuperado de http://diana.fadu.uba.ar/97/1/28_TESIS_Horowicz_Klein_2011_Galan_D5.pdf

Instituto de Tecnologías Rurales. (2018). Kit FiltreOZ Filtro de agua para zona rural o emergencias filtreoz certificado NOM-244-SSA1-100 % remoción microbios y parásitos. Recuperado de https://goo.gl/g8Mq7w

LifeStraw. (2018). LifeStraw Community High-Volume Water Purifier for Emergency Preparedness, Disaster Relief, and Public Health Settings. Recuperado de https://goo.gl/Kt9pKu

Ministerio de la Protección Social - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). Resolución 2115. Por medio de la cual se señalan las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n_del_agua/Resoluci%C3%B3n_2115.pdf

Montoya, C., Loaiza, D., Torres, P., Cruz, C. y Escobar, J. (2011). Efecto del incremento en la turbiedad del agua cruda sobre la eficiencia de procesos convencionales de potabilización. *Revista EIA, 16*, 137-148. doi: 10.24050/reia.v8i16.438

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2015). Objetivos de desarrollo del milenio informe 2015. Recuperado de https://www.undp.org/content/dam/colombia/docs/ODM/undp-co-odsinformedoc-2015.pdf

Romero, J. (2006). *Purificación del agua* (3.ª ed.). Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2017). Reporte de Estratificación y Coberturas al Sistema Único de Servicios Públicos. Recuperado de http://www.sui.gov.co/web/acueducto

Vargas, L. (Coord.). (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano, plantas de filtración rápida Manual I Tomo I*. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

Sistema Piloto para el control de olores – Caso: Industria Avícola 'Pollo al Día'

Diana Paola Coral Salcedo[111]
Juan Carlos Narvaez Burgos[112]
Karen Daniela Romo Timana[113]

Resumen

La investigación se enfocó en la implementación de un sistema piloto con tres controles: Biológico, Fisicoquímico y Físico con elementos de viruta de pino, empleando burbujeo y residuos de café-carbón activado respectivamente, para la mitigación de olores ofensivos. Para el desarrollo de la investigación se hizo visitas de campo en la planta de beneficio de 'Pollo al Día', con el propósito de diagnosticar fuentes emisoras de olor. Al corroborar los datos con evaluadores arbitrarios, se determinó que las fuentes corresponden a las áreas de recepción, escaldado, desplume y evisceración, debido a la generación de residuos como estiércol, pluma, víscera no comestible, que producen generación de olores ofensivos. Por otra parte, se desarrolló encuestas de opinión dirigidas a la población aledaña, para determinar si existe molestia por las actividades de la Planta. Mediante el protocolo FIDO (llamado así por las iniciales de: Frecuencia, Intensidad, Duración, Ofensividad) se estableció que existe molestia atribuida a concentraciones elevadas de sustancias provenientes de la Planta. Posteriormente se realizó una etapa experimental, donde se construyó el prototipo con tres sistemas de control y, por último, una medición directa de olores, empleando la técnica de Olfatometría dinámica. Como resultado final se determinó la eficiencia de remoción en cada sistema de control.

Palabras clave: control, industria avícola, panel de evaluación sensorial, olfatometría dinámica, olores ofensivos.

[111] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: dianacoral@umariana.edu.co

[112] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: jcnarvaez@umariana.edu.co

[113] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: karromo@umariana.edu.co

Pilot System for odor control – Case: 'Pollo al Día' Poultry Industry

Abstract

The research focused on the implementation of a pilot system with three controls: Biological, Physicochemical and Physical with elements of wooden of pine, using bubbling, coffee residues and activated carbon. For the development of the research, field visits were done at 'Pollo al día' processing plant, with the purpose of diagnosing odor sources. When corroborating the data with arbitrary evaluators, it was determined that the sources correspond to the areas of reception, scalding, plucking and evisceration, due to the generation of waste such as manure, feather, non-edible viscera, which produce offensive odors. On the other hand, opinion polls aimed at the surrounding population were developed to determine if there is annoyance for the activities of the Plant. Through the FIDO protocol (named after the initials in Spanish of: Frequency, Intensity, Duration, Offensiveness) it was established that there is discomfort attributed to high concentrations of substances from the Plant. Later, an experimental stage was carried out, where the prototype with three control systems was built and, finally, a direct measurement of odors, using the dynamic olfactometry technique. As a result, the removal efficiency in each control system was determined.

Key words: control, poultry industry, sensory evaluation panel, dynamic olfactometry, offensive odors.

Sistema piloto para controle de odores - Caso: Indústria Avícola 'Pollo al Día'

Resumo

A pesquisa teve como foco a implementação de um sistema piloto com três controles: Biológico, Físico-Químico e Físico com elementos de madeira de pinus, utilizando borbulhamento, resíduos de café e carvão ativado. Para o desenvolvimento da pesquisa, foram realizadas visitas de campo à planta de processamento 'Pollo al día', com o objetivo de diagnosticar as fontes de odor. Ao corroborar os dados com avaliadores arbitrários, determinou-se que as fontes correspondem às áreas de recepção, escaldamento, arrancada e evisceração, devido à geração de resíduos como adubo, penas, vísceras não comestíveis, que produzem odores ofensivos. Por outro lado, foram desenvolvidas pesquisas de opinião direcionadas à população do entorno para determinar se há incômodo por as atividades da Planta. Através do protocolo FIDO (nomeado após as iniciais em espanhol de: Frequência, Intensidade, Duração, Ofensividade), foi estabelecido que existe um desconforto atribuído a altas concentrações de substâncias provenientes da planta. Posteriormente, uma etapa experimental foi realizada, com o qual foi construído o protótipo com três sistemas de controle e, finalmente, uma medida direta de odores, utilizando a técnica de olfatometria dinâmica. Como resultado, a eficiência de remoção em cada sistema de controle foi determinada.

Palavras-chave: controle, indústria avícola, painel de avaliação sensorial, olfatometria dinâmica, odores ofensivos.

Introducción

En Colombia, las industrias avícolas ocupan el "segundo lugar entre las principales actividades de la economía agropecuaria nacional" (Cubides, 2014), convirtiéndose en uno de los sectores alimenticios más dinámicos que ha venido evolucionando de manera favorable en los últimos años, de esta manera, se ha extendido su productividad en más del 50 % como resultado del aumento por el consumo per cápita de kilogramo de pollo, que pasó del año 2008 de 23,4 kg/hab a 32,2 kg/hab en el año 2017 (Fenavi, 2017). En este sentido, el sector avícola está relacionado con la contaminación atmosférica, debido a procesos de mortalidad que se desarrollan en la cadena productiva, en la cual sus sistemas intensivos de producción hacen que se incremente problemas de polución, creando alteración con el medio ambiente y a los cercos urbanos (Mora, 2005).

Sin embargo, el sector avícola, siendo uno de los campos más rentables a nivel económico, genera una elevada cantidad de subproductos, como residuos sólidos (estiercol, plumas, vísceras, polvo), líquidos (sangre) y gaseosos (malos olores), entre otros, en los diferentes procesos, estos desechos orgánicos son de fácil descomposición, generan gases tóxicos y olores ofensivos que tienen impacto directo con la sociedad y el ambiente (Gomez, 2012).

Debido a que el olor es inherente a la actividad avícola, es necesario implementar medidas de control con la finalidad de minimizar las molestias en el área de influencia de las unidades productivas, para ello se tiene en cuenta la norma técnica sensorial europea UNE-EN-137225, que obedece un desarrollo empírico de la concentración de olor, aunque la percepción de olor sea subjetiva, y la Norma Colombiana 1541 de 2013, por la cual se establecen los niveles permisibles de calidad del aire de actividades que generan olores ofensivos (Baena y Hernández, 2012).

En este sentido, el objetivo fundamental de esta investigación es implementar un sistema de control de olores, que permita mitigar olores ofensivos considerando un sistema piloto, a partir de la simulación del proceso crítico proveniente del Sector Avícola, compuesto por una mezcla de residuos avícolas identificado en las condiciones del esquema productivo del sector avícola (vísceras, estiércol, plumas). Para llevar a cabo la aplicación de metodologías estandarizadas se plantean tres tipos de controles, determinando en primer lugar, un control físico en el proceso de adsorción con el aprovechamiento de residuos de café y carbón activado, seguido de un control físico-químico, empleando burbujeo con agua, y biológico usando viruta de corteza de pino.

Desarrollo

La contaminación atmosférica ha estado marcada por eventos negativos, que son el resultado de las actividades antrópicas, esto implica molestia para la población y bienes de la naturaleza, de esta manera, las causas que dan origen a esta contaminación son diversas, pero las principales, son provocadas por las emisiones industriales que afectan la calidad del aire. Para esta investigación se tiene en cuenta el sector avícola,que, al estar en contacto directo con la sociedad y el ambiente, afecta la calidad de vida de las familias que habitan en el área circundante.

De acuerdo a lo anterior, se realiza la siguiente pregunta con respecto a la problemática de investigación ¿Qué sistema de control presenta mayor eficiencia en la reducción del tono hedónico proveniente del proceso crítico dentro de la producción de la industria avícola? Para dar respuesta a la pregunta, se realizó experimentalmente en los laboratorios de Alvernia de la Universidad Mariana, la implementación de un sistema para el control de olores, utilizando residuos de café y carbón activado, proceso de burbujeo con agua y viruta de la corteza de pino, que al evaluar la concentración de olor mediante la metodología de olfatometría dinámica, el control físico presenta un 20 % de remoción frente a los otros sistemas de control. Por consiguiente, se presenta el primer objetivo, su desarrollo y principales resultados: *Diagnosticar el esquema productivo de industria avícola Pollo al Día.*

Para dar cumplimiento al objetivo 1, se identificaron las industrias avícolas existentes en el departamento de Nariño, en primera instancia se solicitó el inventario de industrias avícolas registradas en la Cámara de Comercio,

de acuerdo con los criterios de priorización en los resultados de registro, se seleccionó la industria avícola de beneficio Pollo al Día ubicada en la vereda Chávez. Posteriormente, en la visita a la industria, se realizó la identificación del esquema productivo, comprendida desde la recepción del pollo hasta la obtención de su beneficio. Con el fin de diagnosticar las fuentes emisoras de olor, se realizaron fichas de campo, para determinar las características del olor por parte de las investigadoras y se rectificaron los datos recopilados con evaluadores arbitrarios, que proporcionaron información subjetiva sobre la caracterización del tono hedónico. También, se aplicaron encuestas a operarios que intervienen en los diversos procesos productivos, con el fin de corroborar la fuente emisora de olor. Además, se realizó un balance de masas, que hace referencia a la cuantificación de emisiones, estableciendo las pérdidas y ganancias en peso del producto en la etapa final de engorde y durante todo el proceso de beneficio. Por último, se realizó encuestas de opinión a la población aledaña para determinar si existe o no molestia por actividades generadas en la Planta de Beneficio. Además, dentro de la información proporcionada por la industria, se logró establecer las diferentes zonas con sus respectivas áreas, en las cuales se encuentra el esquema productivo que se desarrolla en la Planta de Beneficio de Pollo al Día (ver Figura 1).

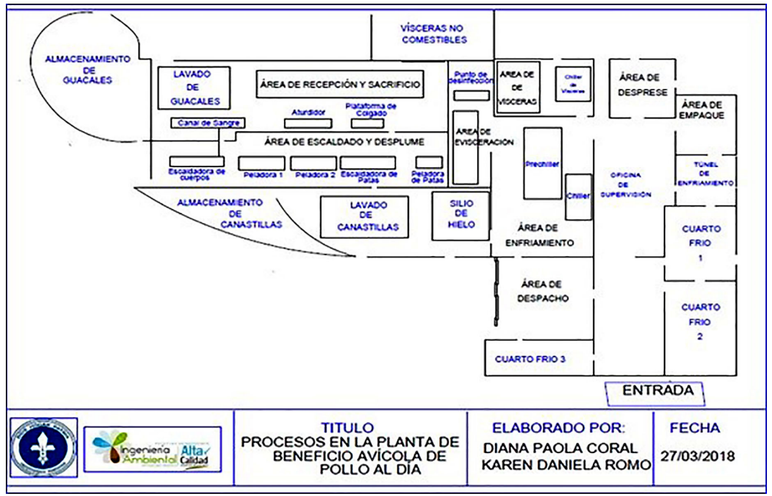


Figura 1. Vista de la Planta de Beneficio Avícola de los procesos de Pollo al día.

Aplicación de la Ficha de Campo de Características de Olor por parte de las investigadoras de la presente investigación

La segunda visita se efectuó el día 21 de marzo del 2018, con el objetivo de recolectar información para determinar el punto crítico de la emisión de olor, se desarrollaron fichas de campo a cargo de las investigadoras, con las características de olor, como la intensidad, clasificación, frecuencia, duración y agradabilidad, además, se presenta los residuos generados en cada esquema productivo como se indica en Tabla 1.

Tabla 1. *Características del olor en cada esquema productivo-Investigador 1 y 2*

ZONA	AREA	CARACTERISTICA DE OLOR	DATOS INVESTIGADOR 1	DATOS INVESTIGADOR 2	RESIDUOS
Zona Sucia	Área de recepción	Intensidad	Muy fuerte	Muy fuerte	Estiércol
		Clasificación	Ofensivo	Desagradable	
		Frecuencia	Diaria	Diaria	
		Duración	8 - 12 horas	8 - 12 horas	
		Agradabilidad	Muy Insoportable	Muy Insoportable	
	Área de colgado y sacrificio	Intensidad	Fuerte	Moderado	Sangre
		Clasificación	Desagradable	Desagradable	
		Frecuencia	Diaria	Diaria	
		Duración	8 - 12 horas	8 - 12 horas	
		Agradabilidad	Ligeramente	Ligeramente	
Zona Semisucia	Área de Escaldado y Desplume	Intensidad	Muy Fuerte	Muy Fuerte	Plumas Cutícula de Patas
		Clasificación	Ofensivo	Ofensivo	
		Frecuencia	Diaria	Diaria	
		Duración	8 - 12 horas	8 - 12 horas	
		Agradabilidad	No lo Soporto	No lo Soporto	
Zona de Evisceración	Área de evisceración	Intensidad	Fuerte	Moderado	Viscera no comestible Tripas, pulmones Grasa de la molleja Cloacas Grasa buche
		Clasificación	Desagradable	Desagradable	
		Frecuencia	Diaria	Diaria	
		Duración	8 - 12 horas	8 - 12 horas	
		Agradabilidad	Ligeramente	Ligeramente	
Zona de Enfriamiento	Área de enfriamiento	Intensidad	Moderado	Débil	Residuos Ordinarios Guantes, cofia tapabocas
		Clasificación	No Desagradable	No Desagradable	
		Frecuencia	Diaria	Diaria	
		Duración	8 - 12 horas	8 - 12 horas	
		Agradabilidad	Indiferente	Indiferente	
Zona de Almacenamiento y Despacho	Área de Almacenamiento	Intensidad	Débil	Débil	Residuos Ordinarios Guantes, Cofia, Tapabocas
		Clasificación	No Desagradable	No Desagradable	
		Frecuencia	Diaria	Diaria	
		Duración	8 - 12 horas	8 - 12 horas	
		Agradabilidad	Lo tolero	Lo tolero	

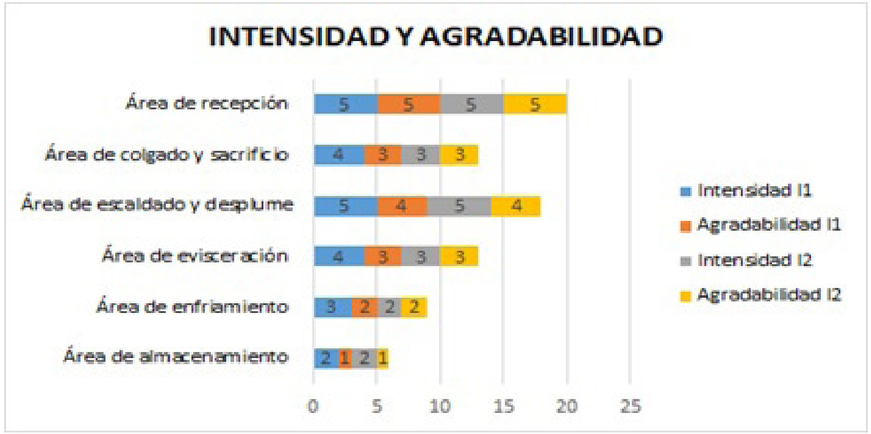


Figura 2. Intensidad y Agradabilidad en cada Esquema productivo de la planta de Beneficio Pollo al Día desarrollados por el investigador 1 (I1) y por el investigador 2 (I2).

En la Figura 2 se hace referencia a la evaluación de características de olor, como intensidad y agradabilidad, denotando (I1) y (I2) para cada investigador, la información sobre las áreas de recepción, de escaldado y desplume, presenta una intensidad muy fuerte, que hace referencia al numeral 5, de acuerdo al protocolo para el monitoreo, control y vigilancia de olores ofensivos, se evidencia una clasificación de olor desagradable y ofensivo, con una agradabilidad de muy insoportable y no soportable, presenta una duración de 8 a 12 horas, teniendo en cuenta que dentro de este rango el tiempo de realizar la producción es de 30 minutos a 1 hora dependiendo de la llegada de los carros con los huacales de pollos, a esto se le atribuye la presencia de residuos como estiércol, plumas, cutícula de patas; en el área de escaldado se manejan líneas de alta temperatura, se genera mayor volatilización de gases y partículas de olor desprendidos de cada esquema, lo cual favorece su difusión (Aguilar, 2002).

Visita arbitraria del proceso crítico para el análisis específico del punto crítico

La visita arbitraria a la planta de beneficio se realizó con el fin de corroborar con un tercer evaluador el planteamiento de los puntos críticos para su posterior análisis. Se realizó un acompañamiento con tres evaluadores arbitrarios, la visita fue atendida por la coordinadora ambiental Magda Pantoja (ver Figura 2), a cada arbitrario se le hizo entrega de una ficha de campo para la posterior identificación del esquema productivo con sus respectivas tablas de rangos de intensidad y agradabilidad del olor.



Figura 3. Evaluadores arbitrarios en la Planta de Beneficio Pollo al Día.

Se realizó el recorrido por las diferentes etapas de producción, en donde cada arbitrario iba evaluando la característica en cuanto a la percepción del olor presente en cada área.

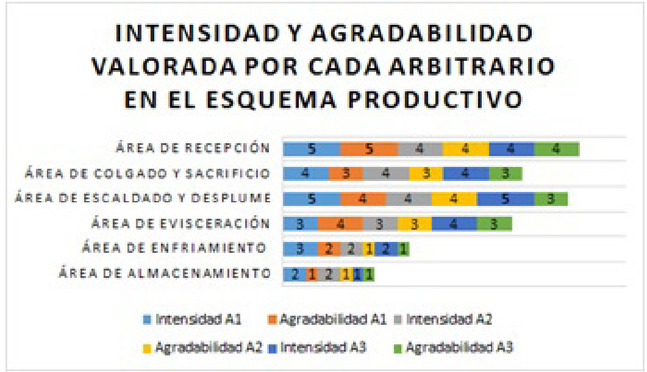


Figura 4. Valoración de intensidad y agradabilidad por arbitrario.

En la Figura 4 se tienen en cuenta parámetros como intensidad y agradabilidad del olor, presentes en cada esquema productivo, la intensidad en mayor proporción es en el proceso de recepción, con característica de 5 equivalente a muy fuerte, y una agradabilidad de 5 que significa muy insoportable para dos de los evaluadores, uno de los evaluadores indicó una agradabilidad de 4, que significa no lo soporto. Dentro de este proceso, el área con tendencia crítica es el área de escaldado y desplume, con una intensidad de 5 (Muy Fuerte) y agradabilidad 4 (No lo soporto) para el evaluador A1; para el evaluador A2, presenta una intensidad 4 (Fuerte) y agradabilidad 4 (No lo tolero); y finalmente, el evaluador A3, una intensidad de Muy fuerte y agradabilidad 3 (ligeramente), afirma que la presencia de una intensidad muy fuerte en este proceso se debe al manejo de altas temperaturas. En cuanto a la intensidad, la magnitud de la percepción del olor aumenta con la concentración, pero la relación es logarítmica, en bajas concentraciones el olfato humano detecta el olor, al aumentar su concentración el olfato humano logra su reconocimiento, a concentraciones muy elevadas las sustancias pueden generar molestias e irritación en las vías respiratorias (Hómez, 2014)

Recolección de información con operarios para la determinación del punto crítico en la planta de beneficio de Pollo al Día

Con el objetivo de identificar el foco de mayor emisión de olor, se aplicaron técnicas de recolección de información, como encuestas dirigidas a los operarios que se encuentran en contacto directo con los procesos ligados a la generación del tono hedónico, teniendo en cuenta el criterio de evaluación de olores ofensivos con respecto a sus propiedades.

Las encuestas fueron dirigidas a 8 operarios de la Planta de Beneficio, en la zona limpia, zona sucia, zona semisucia, zona de enfriamiento, zona de almacenamiento y áreas en cuanto a la emisión de olor para la determinación del punto crítico, molestias y efectos en la salud con respecto a la emisión de olor generado en los esquemas productivos (ver Figura 5).

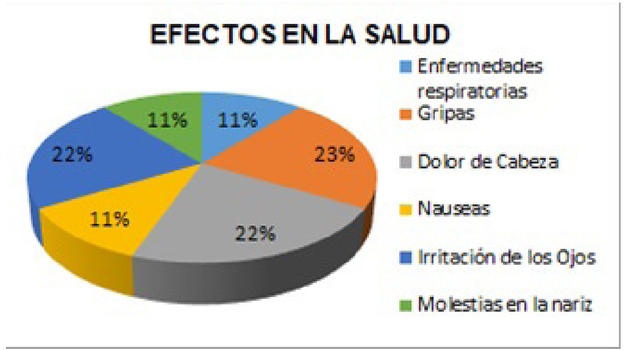


Figura 5. Efectos negativos en la salud de los operarios debido al olor presentados en la Planta de beneficio Pollo al Día.

A partir de la figura 5, se establece que los operarios que se encuentran en contacto con los diferentes procesos en la planta de beneficio, presentan efectos negativos sobre la salud, indicando en mayor relevancia gripas, dolor de cabeza e irritación de los ojos a causa de la emisión de olores desagradables. La generación de emisiones asociadas a sustancias provenientes de olores ofensivos son percibidas como compuestos orgánicos volátiles, que son inhaladas por el olfato, entendido como un sistema sensorial, ocasionando molestias o enfermedades respiratorias, principalmente por las cantidades de desechos, con respecto a las condiciones de calidad del aire, reflejado en la zona sucia, donde los operarios se encuentran afectados por náuseas, irritación en los ojos y molestias en la nariz.

Por el contrario, los operarios encuestados que laboran en la zona limpia, perciben un nivel de detección bajo, comprendiendo que los olores presentes no causan sensación de molestia en relación con un aire limpio carente de contaminantes, sin embargo, el metabolismo es diferente en cada operario, de modo de que es posible que tengan efectos en la salud con respecto a reacciones fisiológicas del sistema nervioso o dependiendo de la exposición continua al olor es factible la presencia de fatiga olfativa a corto o largo plazo según la duración del mismo.

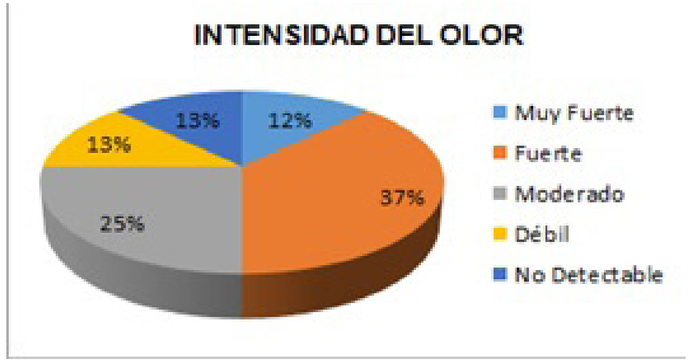


Figura 6. Escalas de intensidad de olor presentado en la Planta de beneficio Pollo al Día.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Figura 6, se indica una escala de intensidad que se presentan en las diferentes etapas de producción. En cuanto a la intensidad con grado de percepción muy fuerte, se ve atribuida por el desarrollo de actividades que manejan en los esquemas productivos y residuos que se presentan en cada zona y área, debido a que la mayoría de los operarios perciben la fuerza del olor por encima de su umbral de detección y para olores débiles quiere decir que la percepción de la intensidad se encuentra próxima al umbral de detección de los olores, ya que los olores son difíciles de percibir (Hómez, 2014)

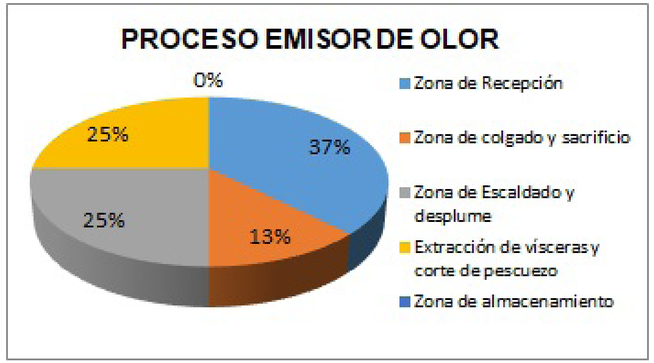


Figura 7. Identificación del proceso emisor de olor en la Planta de Beneficio Pollo al Día.

A partir de la identificación de las etapas de producción consideradas como punto crítico, se obtiene que el proceso con mayor desagrado se encuentra en la zona de recepción, zona de escaldado-desplume y la zona de extracción de vísceras corte de pescuezo, por consiguiente, el punto de menor emisión corresponde a la zona de almacenamiento. Cabe señalar que para los resultados se tuvo en cuenta una evaluación cualitativa de la subjetividad del receptor.

Balance de masa para la cuantificación de emisiones por balance de materia del sector avícola

El balance de masa se realizó con pesajes parciales con la ayuda de una balanza, con el fin de obtener un promedio de resultados. El pesaje se inicia en el momento que el pollo es recibido de la granja Camila y descargado de los camiones (ver Figura 8), para ello se seleccionaron tres pollos, con la colaboración del personal de la planta se les colocó cintas de color azul, rojo y amarillo para su respectiva diferenciación en el recorrido por las diferentes etapas de producción.



Figura 8. Peso Pollo vivo.



Figura 9. Peso pollo sin pluma.



Figura 10. Peso Pollo sin patas.



Figura 11. Peso grasa de molleja

Se presenta el Balance de Masa desarrollado en la Planta de Beneficio Pollo al Día, realizando una cuantificación para determinar la perdida de residuos en cada esquema productivo hasta obtener un pollo sin patas, vísceras, cabeza, entre otros, tal como se indica en la Figura 12, de esta manera, se pesa el pollo cuando ha pasado por el proceso de aturdimiento y es degollado, seguidamente cuando pasa por el pelado de cuerpos, de patas, en la extracción de vísceras, para un mayor detalle se tiene en cuenta el peso de la cutícula de patas y grasa de molleja, entre otros, obteniendo así los pesos en unidades de kilogramos. (Ver Figuras 13, 14, 15 y 16).



Pollo vivo = Pollo muerto + Sangre

2.196 Kg = 2.117Kg + 0.079 Kg

Figura 12. Balance de masa etapa de degollado.



Pollo muerto = Pollo sin plumas + plumas

2.117 Kg = 1.955 Kg + 0.162 Kg

Figura 13. Balance de masa en área de escaldado y desplume.



Pollo sin plumas = Pollo sin patas + patas

1.955 Kg = 1.870 Kg + 0.085 Kg

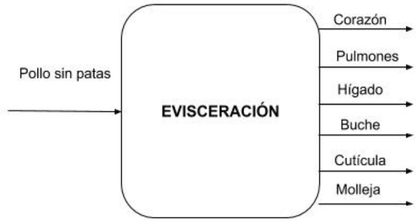
Figura 14. Balance de masa en área de corte de patas.



Pollo sin patas = Pollo sin vísceras + Vísceras

1.870 Kg = 1.760Kg +0.110 Kg

Figura 15. Balance de masa en zona de evisceración.



Pollo sin patas = Corazón + Pulmones + Hígado + Buche + Cutícula de Patas + Molleja + Grasa molleja + Vísceras No comestibles

1.870 Kg = 0.014Kg + 0.016Kg + 0.035Kg + 0.015Kg + 0.06Kg + 0.025Kg + 0.004 Kg + 0.102 Kg

Figura 16. Balance de masa de los residuos de evisceración.

En la obtención de resultados del balance de masa se identifican los residuos sólidos generados en las diferentes etapas del esquema productivo, en la cual se tiene en cuenta los aspectos ambientales y las sustancias generadoras de olor.

En la zona de recepción se genera el estiércol, considerado como principal emisor de sustancias que contribuyen a la contaminación, debido a que la carga de compuestos, como el nitrógeno y el fósforo son precursores de otros compuestos; todo esto dependerá del metabolismo del pollo y la descomposición del excremento donde se emite amoníaco (NH3), metano (CH4), óxido nitroso (N2O), y sulfuro de hidrógeno (H_2S), los cuales son generadores de impactos ambientales (Hómez, 2014).

La cuantificación de masa en la etapa de degollado se presenta como principio de entrada, el pollo vivo y la sangre correspondiente a las salidas del proceso, calculando que un pollo en promedio produce 0.008 kg de sangre, esto indica que la cantidad depende del tamaño, peso y estado fisiológico del ave. En el área de escaldado y desplume se estimó como subproducto, además de plumas, la cutícula de patas, con un peso de 0.162 kg y 0.006 kg respectivamente, generando malos olores y compuestos orgánicos volátiles (VOC) presentes en el aire, esto determina la calidad de aire al interior de las instalaciones.

Para una mayor compresión sobre el esquema productivo de la Planta de Beneficio de Pollo al Día y los puntos críticos se presenta el siguiente flujograma.

Flujograma del Proceso de la Planta de Beneficio de Pollo al Día

Se determina aspectos ambientales a partir de una tabla de insumo–residuo, se recolecta información de cada área del esquema productivo, de la cual se obtiene un diagrama de los procesos, teniendo en cuenta los residuos de cada esquema productivo del pollo (ver Figura 17).

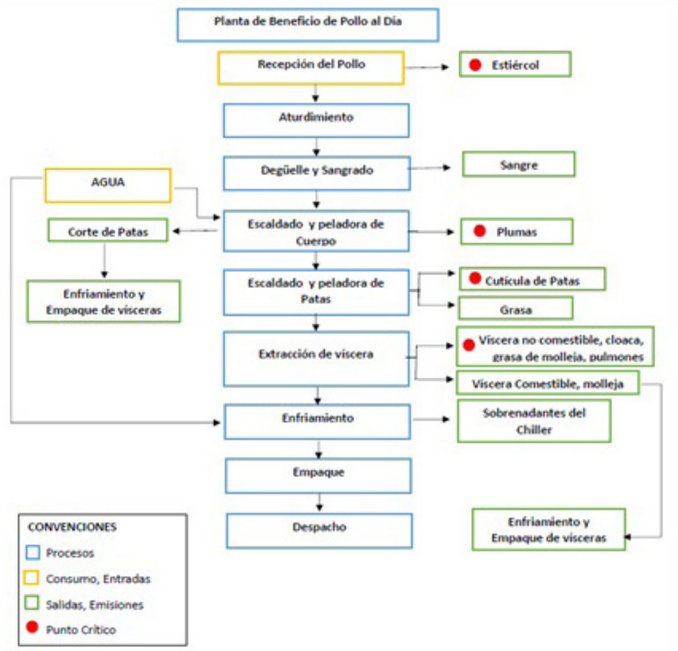


Figura 17. Flujograma del Proceso de la planta de Beneficio de Pollos al Día.

En la Figura 17 se describe el proceso productivo de la planta de Beneficio de Pollo al Día con sus respectivas entradas y salidas y se presentan los puntos críticos en cada esquema productivo, se tienen en cuenta los aspectos ambientales en cada proceso, ya que en la mayoría de las áreas se presenta generación de olores desagradables y residuos orgánicos, emisión de ruido para el área de escaldado y desplume, evisceración y generación de agua contaminada en el enfriamiento del pollo.

Identificación del punto crítico a partir de la caracterización del proceso productivo en la Planta de Beneficio Pollo al Día

A partir de la caracterización de olor desarrollada en la planta de beneficio Pollo al Día junto con la información recolectada por operarios de las diferentes áreas de la planta, así como también evaluadores arbitrarios, se determinó que el punto crítico se presenta en la zona sucia, comprendida por el área de recepción, zona semisucia, área de escaldado, desplume y la zona de evisceración, que debido a la generación de residuos como estiércol, pluma, cutícula de patas, grasa de molleja, vísceras no comestibles, buche, pulmones, cloaca, producen una emisión de olor en el esquema productivo.

Debido a que los residuos generados en cada proceso presentan una emisión de partículas odoríferas volátiles que se asocian al grado de intensidad muy fuerte, que en estas áreas se encuentra por encima del umbral de detección, esta información fue corroborada con las encuestas a operarios y del grupo arbitrario, que también define al punto crítico como la mezcla de estiércol, plumas y vísceras como el foco de mayor molestia.

Encuestas de Opinión dirigidas a la población aledaña a la Planta de Beneficio de Pollo al día



Figura 18. Ubicación de la población aledaña a la Planta de Beneficio Pollo al Día.

En la Figura 18 se presenta la ubicación de la población y los tipos de establecimiento, como viviendas, industrias y comerciales, que habitan cerca de la Planta de beneficio pollo al Día, con el objetivo de determinar si la población está siendo afectada por los olores generados en el esquema productivo de la planta. Por lo tanto, se desarrollaron 8 encuestas de opinión (el día 20 de abril a las 8:30 a. m.), para verificar si se está perjudicando su calidad de vida (ver Figura 19).



Figura 19. Desarrollo de encuestas a la población aledaña a la Planta de Beneficio Pollo al Día.



Figura 20. Afectación en la salud de la población por olor generado en la Planta de Beneficio.

En consideración a la afectación de la salud por olores ofensivos (Figura 20), la población determina con una apreciación del 100 % que los agentes odoríferos no solo causan molestia sino que también son perjudiciales para la salud, atribuyendo a la presencia de olores desagradables, náuseas. De esta manera, se confiere dichas afecciones a la existencia de factores que contribuyen en la percepción de un olor, entre ellas, la dispersión por causa de las condiciones meteorológicas frente a la interacción de la atmósfera con subsistemas, originando contaminación por olores generados por las materias primas bajo el proceso industrial avícola (Pontificia Universidad Bolivariana, 2010).

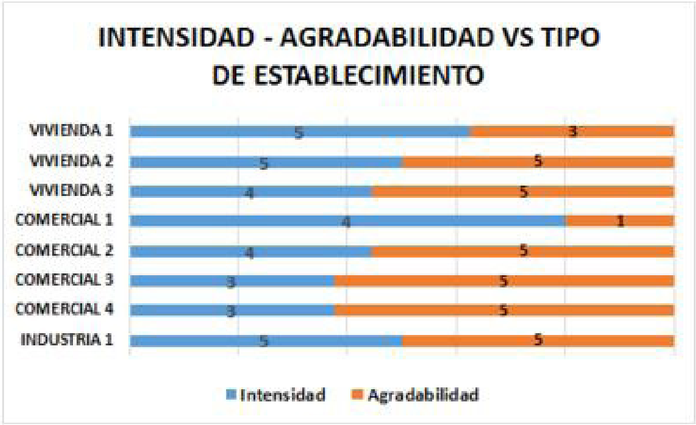


Figura 21. Intensidad y agradabilidad con el tipo de establecimiento de la población aledaña.

De la información brindada por parte de los residentes que se ubican alrededor de la planta de beneficio de Pollo al Día, se presenta la Figura 21, correspondiente a los parámetros de intensidad y agradabilidad, asociada con el tipo de establecimiento, para lo cual los aportes en cuanto a datos más significativos se evidenciaron en el tipo de establecimiento vivienda, se considera información coherente, debido a la cercanía de ubicación en la que se encuentran, presentando intensidad 5 (Muy fuerte) y agradabilidad 5 (Muy Insoportable).

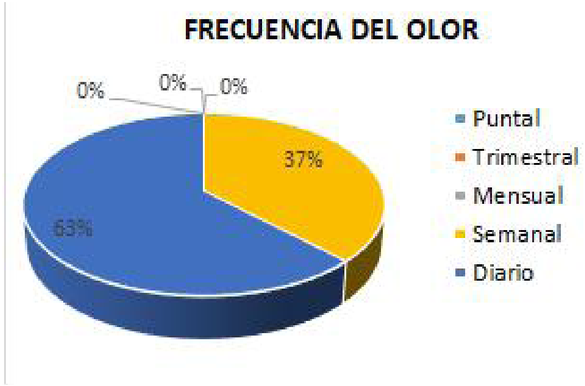


Figura 22. Frecuencia de olor generado por el esquema productivo de la Planta de Beneficio.

La Figura 22 corresponde a la percepción del episodio del olor diaria, asociado con los efectos negativos en la salud debido a la exposición, se presenta síntomas como náuseas (mayor molestia), seguido de dolores de cabeza, tos, vista irritada, en la cual pueden presentarse por concentraciones muy por debajo de las asociadas con efectos tóxicos y pueden causar un efecto significativo sobre las actividades diarias de las personas, el efecto a largo plazo se desconoce (Scottish Environmental Protection Agency, 2010).

Aplicación del Protocolo FIDO como Herramienta Metodológica para Determinar la Molestia por Olores

Debido a que la sensibilidad y caracterización de los olores dependen en gran medida de la cultura en la que éstos sean percibidos y que en términos generales el rechazo a ciertos olores es más persistente que las preferencias. De esta manera, el sector avícola emite olores que pueden llegar a causar molestias a la población que habita cerca donde se desarrollan actividades avícolas, y por ende, el resultado de numerosas quejas (Lázaro, 2008).

De acuerdo a lo anterior la capacidad de generar molestia depende de los siguientes parámetros: frecuencia, intensidad, duración y ofensividad; la combinación de estos cuatro factores se conoce como protocolo FIDO, de manera que el factor más relevante es del de la frecuencia de percepción y el de ofensividad el factor de menor importancia.

Considerando a la Planta de Beneficio de Pollo al Día como fuente emisora de olor, se determina el grado de molestia de olor para la población aledaña. Para ello se tiene en cuenta el protocolo FIDO, donde se encuestan a las personas que se encuentran cerca de la Planta de Beneficio. Una vez obtenida la información de encuestas de opinión, se procede a clasificar los olores de la Planta de Beneficio, según la tabla propuesta por Montañez (2014), titulada Clasificación de diferentes tipos de olores que provocan quejas en el entorno.

Los tipos de olores se clasifican en Muy ofensivos, Ofensivos, Desagradables y No Degradables, para lo cual los olores provenientes de actividades avícola, en cuanto al sacrificio, se encuentran en una clasificación de tipo Muy Ofensivo según Montañez (2014), por ello, se adoptó una Tabla FIDO del Departamento de Calidad Ambiental de Texas (USA). (Ver Tabla 2).

Tabla 2. *Protocolo FIDO (Frecuencia, Intensidad y Duración del olor)*

INTENSIDAD DEL OLOR						
MF		**F**		**M**	**D**	**MB**
Muy Fuerte		**Fuerte**		**Moderado**	**Débil**	**Muy Débil**
OLORES MUY OFENSIVOS						
		FRECUENCIA				
		Puntual	**Trimestral**	**Mensual**	**Semanal**	**Diario**
DURACIÓN	1 Minuto	N/A	N/A	MF	F	M
	10 Minutos	N/A	MF	F	M	D
	1 hora	MF	F	M	D	MB
	4 horas	F	M	D	MB	MB
	>12 horas	M	D	MB	MB	MB
*N/A No Aplica						

Fuente: adaptado de: Evaluación del impacto odorífero sobre el entorno – Generalitat de Catalunya

En la Tabla 2 se presenta del protocolo FIDO, con información obtenida de las encuestas de Opinión, desarrolladas a la población aledaña de la Planta de Beneficio. Se encuentra que para habitantes del tipo de establecimiento vivienda, las personas afirman que se percibe un episodio de olor semanal con una duración de 4 horas y una intensidad moderada; para residencia comercial, la percepción del olor se da en un episodio diario con una duración mayor a 12 horas y una intensidad de Fuerte, presentándose olor desagradable pero soportable; y en el tipo de establecimiento Industrial, se tiene un episodio con frecuencia diaria, con una duración mayor a 12 horas y una intensidad muy Fuerte, presentándose olor desagradable que puede causar náuseas.

De esta manera, de determinó que existe molestia para el tipo de establecimiento vivienda de acuerdo al protocolo FIDO, teniendo en cuenta que la susceptibilidad de la población apunta a una mayor intensidad de emisión de olor y de molestia de la que debería presentar, en el Protocolo FIDO, las características que se presentan en cuanto a la frecuencia y duración es semanal y de 4 horas respectivamente, para lo cual la molestia debería ser débil, sin embargo esto no se refleja en los resultados obtenidos en el Protocolo FIDO, en relación al establecimiento Comercial e Industrial para dicha frecuencia y duración aplica lo mencionado en el establecimiento de vivienda.

Conclusiones

En el proyecto de investigación se puede observar que la raíz del problema por olores ofensivos, tiene su origen en los procesos desarrollados por industrias, este estudio se enfoca en el sector avícola, debido a que su actividad económica está basada en un consumo per cápita mundial, que se incrementa con el transcurso del tiempo, de esta manera se intensifica la producción y también la dispersión de olores ofensivos, afectando a los habitantes que viven cerca de este tipo de industrias, además se adecua a lo determinado por la caracterización realizada en el estudio técnico que sirve como sustento a la Resolución 1541 de 2013.

Debido a las encuestas de opinión realizadas a la población, se pudo constatar el grado de molestia por actividades desarrolladas en la Planta de Beneficio de Pollo al Día, a partir de la generación de sustancias olorosas emitidas, implicando molestia grave, riesgo o daño para la seguridad o la salud de las personas y el medio ambiente

Referencias

Baena, S. y Hernández, L. (2012). *Análisis de la regulación colombiana en materia de olores ofensivos* (trabajo de grado). Universidad de Medellín, Colombia. Recuperado de https://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/1154/An%c3%a1lisis%20de%20la%20regulaci%c3%b3n%20colombiana%20en%20materia%20de%20olores%20ofensivos.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gomez, E. (2012). *Estudio de gestión ambiental para la empresa agrícola mercantil el cauca, Agricca.S.A* (tesis de maestría). Universidad de Manizales, Colombia. Recuperado de http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/563/402_Gomez_Daza_Elcy_2012.pdf?sequence=1

Hómez, J. (2014). *Formulación de un plan de buenas prácticas ambientales para la prevención, control y seguimiento de la generación de olores ofensivos en el subsector avícola* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. Recuperado de http://www.bdigital.unal.edu.co/45827/1/2562113.2014.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2013). Resolución 1541. Por la cual se establecen los niveles permisibles de calidad del aire o de inmisión, el procedimiento para la evaluación de actividades que generan olores ofensivos y se dictan otras disposiciones. Recuperado de http://parquearvi.org/wp-content/uploads/2016/11/Resolucion-1541-de-2013.pdf

Montañes, J. (2014). El perfil meteo-fido: una nueva herramienta para la discriminación entre fuentes de olores y la verificación de quejas. Recuperdo de https://www.malosolores.org/pdf/comunicacionCONAMA14.pdf

Mora, J. (2005), La producción avícola en Colombia: Connotaciones. Universidad nacional de Colombia.

Ovín, M. (2003). *Depuración de Efluentes Industriales con Carbón Activo. Adsorción de contaminantes y regeneración del adsorbente* (tesis doctoral). Universidad de Oviedo. Recuperado de file:///C:/Users/UMARIANA/Downloads/Tesis%20CO%20Ania_2003.pdf

Scottish Environmental Protection Agency. (2010). Odour guidance 2010. Recuperado de https://bit.ly/2OgzsbE

Determinación de la calidad del agua por parámetros biológicos en la Quebrada Piquisiqui - Pasto

Héctor Alexander de la Cruz Parra[114]
Sandra Milena Madroñero Palacios[115]

Resumen

El estudio se desarrolló en la quebrada Piquisiqui en el municipio de Pasto, siendo el objetivo principal, caracterizar la calidad del agua con la aplicación del índice BMWP/Col, para lo cual se propuso la aplicación de la metodología desarrollada por Roldan, que contempla métodos de recolección y clasificación de los macroinvertebrados acuáticos. Particularmente, en la zona de estudio se estableció tres puntos de muestreo, distribuidos en la parte alta, media y baja de la quebrada. Para la obtención del material biológico se aplicó el método de la red de surber y de muestreo directo, que consiste en la captura de los organismos bentónicos, realizando la limpieza de rocas; posteriormente, los organismos obtenidos por los dos métodos fueron conservados en alcohol al 70 % y transportados al laboratorio de la Universidad Mariana para su correspondiente clasificación.

Dentro de los principales resultados obtenidos se establece que, para la parte alta las familias más representativas fueron Calamoceratidae, Hydrobiidae, Planariidae, Baetidae, Hyalellidae, con un índice BMWP/COL de 69, considerando aguas de calidad aceptable; la zona media de la quebrada presentó como principales familias a hydrobiosidae, planariidae, ancylidae tipulidae, ceratopogonidae, chironomidae y tubificidae, con un índice BMWP/Col de 31, constituyendo aguas de calidad crítica, como consecuencia de las actividades agropecuarias desarrolladas por la población presente en el área; finalmente, en la parte baja de la quebrada, se resalta la presencia de las familias planariidae, tipulidae, ceratopogonidae, chironomidae y tubificidae con un índice BMWP/COL de 16, significando una calidad de agua crítica, situación que responde a los impactos mencionados anteriormente para la zona media.

Palabras clave: índice BMWP/Col, calidad del agua, macroinvertebrados.

Determination of water quality by biological parameteres in the Quebrada Piquisiqui - Pasto

Abstract

The study was developed in the Quebrada Piquisiqui in San Juan de Pasto, whose main objective was to characterize the water quality with the application of BMWP / Col index for which the application of the methodology developed by Roldan was proposed. It includes the methods of collection and classification of macroinvertebrates. In the study three sampling points, distributed in the upper, middle and lower part of the quebrada were particularly established. For obtaining biological material the method of Surber network and direct sampling was applied, which involves the capture of benthic organisms, performing cleaning rocks; subsequently, the organisms obtained by the two methods were preserved in 70% alcohol

[114] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: hede@umariana.edu.co

[115] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: smadronero@umariana.edu.co

and transported to Mariana University laboratory for their corresponding classification.

Among the main results at the top of the quebrada, the most representative families were Calamoceratidae, Hydrobiidae, Planariidae, Baetidae, Hyalellidae with BMWP / COL index of 69, considered acceptable water quality. The middle of the quebrada showed as main families, Hydrobiosidae, planariidae, ancylidae tipulidae, ceratopogonidae, chironomidae and tubificidae, with an index BMWP / Col index of 31 establishing a water of critical quality, because of agricultural activities developed by the present population in the area.

Finally, at the bottom of the quebrada there was the presence of planariidae families, tipulidae, ceratopogonidae, chironomidae and tubificidae with BMWP / COL index of 16, meaning a quality of critical water, situation that responds to impacts for middle area.

Key words: BMWP / Col index; water quality, macroinvertebrates.

Determinação da qualidade da água por parâmetros biológicos na Quebrada Piquisiqui - Pasto

Resumo

O estudo foi desenvolvido na Quebrada Piquisiqui, em San Juan de Pasto, cujo principal objetivo era caracterizar a qualidade da água com a aplicação do índice BMWP / Col, para o qual foi proposta a aplicação da metodologia desenvolvida por Roldan, que inclui os métodos de coleta e classificação de macroinvertebrados. No estudo, foram particularmente estabelecidos três pontos de amostragem, distribuídos na parte superior, média e inferior da quebrada. Para obtenção do material biológico, foi aplicado o método de rede Surber e amostragem direta, que envolve a captura de organismos bentônicos, efetuando a limpeza de rochas; posteriormente, os organismos obtidos pelos dois métodos foram preservados em álcool a 70% e transportados para o laboratório da Universidade Mariana para sua classificação correspondente.

Entre os principais resultados no topo da quebrada, as famílias mais representativas foram Calamoceratidae, Hydrobiidae, Planariidae, Baetidae, Hyalellidae com índice BMWP / COL de 69, considerada uma qualidade aceitável da água. O meio da quebrada mostrou como principais famílias, Hydrobiosidae, planariidae, ancylidae tipulidae, ceratopogonidae, chironomidae e tubificidae, com um índice BMWP / Col de 31, que estabelece uma água de qualidade crítica, devido às atividades agrícolas desenvolvidas pela população atual na área.

Finalmente, no fundo da quebrada, houve a presença de famílias planariidae, tipulidae, ceratopogonidae, chironomidae e tubificidae com o índice BMWP / COL de 16, significando qualidade da água crítica, situação que responde aos impactos na área média acima referida.

Palavras chave: índice BMWP / Col. qualidade da água, macroinvertebrados.

Introducción

Los indicadores biológicos han sido categorizados como indicadores de gran jerarquía, los cuales, con el trascurso del tiempo han adquirido una fuerte importancia en el estudio de calidad de fuentes hídricas, por ello, se planteó realizar la evaluación de la calidad de agua, por medio de parámetros biológicos, en la quebrada Piquisiqui, en el municipio de Pasto, ya que existe una problemática ocasionada por diversas actividades antrópicas agrícolas y ganaderas, que se desarrollan cerca a la quebrada, lo cual ha traído como consecuencias alteraciones en las características naturales del recurso.

Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue el determinar la calidad de agua con la aplicación del índice BMWP para Colombia, propuesto por Roldan (2003), la cual se basa en la identificación de organismos bentónicos. Por lo tanto, para su desarrollo en la zona de estudio, se llevaron a cabo 3 muestreos, distribuidos en la parte alta, media y baja de la microcuenca, en cada una de estas áreas se tomaron muestras de macroinvertebrados acuáticos, para posteriormente ser clasificados en el laboratorio de la Universidad Mariana.

Con respecto a los resultados se logró evidenciar, para la parte alta que, las familias con mayor abundancia fueron *Calamoceratidae, Hydrobiidae, Planariidae, Baetidae, Hyalellidae* con un índice BMWP/Col de 69, considerandolas como aguas de calidad aceptable, entre las principales causas se resalta la presencia de fuentes difusas como la actividad agrícola y ganadera. Para la zona media de la quebrada sobresalen las familias *hydrobiosidae, planariidae, ancylidae tipulidae, ceratopogonidae, chironomidae y tubificidae* con un índice BMWP/Col de 31, constituyéndolas como aguas de calidad crítica, en donde el impacto se incrementa representativamente por parte de las actividades anteriormente mencionadas. Finalmente, para la parte baja sobresale la presencia de las familias *planariidae, tipulidae, ceratopogonidae, chironomidae y tubificidae* con un índice BMWP/COL de 16, considerándola una calidad de agua crítica, situación que responde a los impactos antrópicas, tanto de uso de suelo como a la mayor apertura de esta área a la ubicación de la población, lo cual incrementa representativamente la cantidad de residuos que se generan en la zona.

Metodología

Recolección de información secundaria

Esta fase se desarrolló con el fin de tener un acercamiento a las características generales de la zona de estudio, para lo cual se realizó una revisión de toda la información concerniente a la misma, como artículos, tesis y demás documentos generados por las instituciones que han tenido participación en el área.

Recolección de información primaria

A continuación, se presenta las etapas que contemplo dicha fase:

Identificar los puntos de muestreo. Se realizó un recorrido de reconocimiento del área de estudio, que permitió identificar los puntos de muestreo (ver Tabla 1) en las tres zonas de la quebrada, para cada tramo de muestreo se tomó una longitud de 100 m, en los cuales existieran zonas de remanso y rápidos.

Tabla 1. *Puntos de muestreo de macroinvertebrados*

Punto de muestreo	Coordenadas	Altitud (msnm)
Alto	1° 10′ 5,14′′ N y 77° 20′ 18,3′′ O	3290
Medio	1° 0,9′ 49′′ N y 77° 17′ 0,7′′ O	2750
Bajo	1° 11′ 22,7′′ N y 77° 16′ 38,8′′ O′′	2577

Muestreo de organismos bentónicos. Se basó en la metodología desarrollada por Roldan (2003) que hace uso de dos métodos de recolección de organismos bentónicos.

Método Red Surber. Se utilizó una red, la cual está sujeta a un arco metálico o de madera, con un tamaño de 900 cm^2, esta se la utilizó ubicándola contra corriente, con el fin de que el agua pase y los organismos bentónicos queden atrapados en esta. Dicho procedimiento se desarrolló en las zonas de rápidos, remansos y orillas. Posteriormente, cada muestra se depositó en un recipiente de 1.000 ml con alcohol al 70 %, para asegurar su conservación y luego ser clasificados en los laboratorios de la Universidad Mariana.

Método de recolección de organismos bentónicos adheridos a rocas. Este método se realizó con la ayuda de pinceles, alcohol al 70 % y recipientes plásticos, haciendo uso de estos materiales se procedió a levantar las rocas de la quebrada, en donde se encuentran gran cantidad de larvas y organismos adheridos, con cuidado se barrió la roca para no estropear los bentos que se puedan encontrar, haciendo uso del mismo pincel estos se depositaron en los recipientes plásticos para posteriormente ser analizados en el laboratorio.

Clasificación de los organismos. Una vez recolectado los bentos, se procedió al transporte a las instalaciones de Alvernia, el laboratorio de biología y biotecnología se clasifico los organismos capturados, para lo cual se utilizó las claves taxonómicas (Roldan, 2003), posteriormente, se aplicó el índice BMWP/col, el cual establece una puntuación a las distintas familias encontradas, considerando el nivel de sensibilidad a la contaminación, la suma de todas las familias encontradas en el sitio de estudio brinda un valor del índice para cada una de las zonas (Roldan, 2003).

Resultados análisis y discusión

A continuación, se da a conocer los resultados obtenidos por medio de la clasificación taxonómica y de la aplicación del índice BMWP/col para cada zona, de igual manera, mediante revisión bibliográfica se profundizo en su análisis.-

- **Parte Alta:** A continuación, se presenta la Tabla 2, en la cual se puede apreciar la diversidad de macroinvertebrados acuáticos.

Tabla 2. *Clasificación de macroinvertebrados parte alta*

Familia	Numero	Porcentaje
Baetidae	36	15
elmidae	33	14
hyalellidae	118	50
planariidae	8	3
Polycentropodidae	17	7
ancylidae	3	1
hydrobiidae	8	3
calamoceratidae	8	3
tipulidae	2	1
lutrochidae	2	1
	235	**100**

De lo anterior, se puede apreciar que de los 235 organismos recolectados, la familia más abundante fue *hyalellidae* con el 50 % con respecto a las demás familias, la relevancia de ésta puede estar relacionada con la baja contaminación de la zona. Por su parte, Moya et al. (2009) afirman que su presencia es más abundante en zonas con bajos niveles de oxígeno. En relación a la zona de estudio esto se puede explicar, ya que a pesar de que se desarrollan actividades agrícolas y ganaderas, la gran mayoría de la zona está destinada para actividades de conservación, a cargo de Parques Nacionales Naturales, por lo tanto, las acciones que se realizan en la zona afectan en menor proporción la calidad del recurso hídrico.

No obstante, en cuanto a las familias que presentaron más bajos porcentajes, *tipulidae, lutrochidae y ancylidae,* estas se encontraron con una abundancia relativamente baja, con porcentajes de 1 % respectivamente para cada una. Roldan (2003) afirma que estos organismos suelen presentarse en hábitats donde se desarrollan procesos de descomposición de materia orgánica. Esto puede presentarse, debido a que en la zona se realizan diversidad de actividades, como ganadería, riego, cultivos de papa, maíz, entre otras, las cuales han contribuido incipientemente a la alteración de las condiciones de la calidad de agua.-

Índice BMWP/Col

Teniendo en cuenta la información obtenida y considerando el índice BMWP/col, a continuación, se establece la calidad para la parte alta de la quebrada Piquisiqui. (Ver Tabla 3).

Tabla 3. *Calidad para la parte alta de la quebrada Piquisiqui*

Número de familias	Familia	índice biótico
1	Baetidae	7
2	Elmidae	6
3	Hyalellidae	7
4	Planariidae	7
5	Polycentropodidae	9
6	Ancylidae	6
7	Hydrobiidae	8
8	Calamoceratidae	10
9	Tipulidae	3
10	Lutrochidae	6
Total BMWP		69

El resultado de la puntuación del índice BMWP/col para la parte alta de la quebrada Piquisiqui fue de 69, lo que corresponde a una calidad aceptable, esto se debe a que en la zona alta se presentaron focos de contaminación difusa, que según Korbut (s.f.), se caracterizan por ser fuentes provenientes de extensas superficies de tierra, que descargan contaminantes sobre una gran área de aguas superficiales, entre dichas fuentes se resalta las actividades agrícolas y ganaderas (ver Figura 1), la presencia de pozos sépticos, entre otros contaminantes que fueron observados a lo largo de toda la fuente.



Figura 1. Actividad agrícola en zonas aledañas a la quebrada.

En el estudio similar desarrollado por Garcia, Carmona y Montoya-Moreno (2012), en la parte alta de la microcuenca de la quebrada la Cimarronas, el Carmen de Viboral (Antioquia) establecieron la calidad de agua como aceptable, situación similar a la obtenida en la presente investigación, a pesar que las familias identificadas no son las mismas en los dos estudios, sí coincide la calidad de la fuentes, entre las principales causas establecidas se encuentran relacionadas con la presencia he intervenciones antrópicas asociadas con el uso del suelo, en el que predominan cultivos transitorios como fríjol, maíz, arracacha, habichuela, hortalizas y pastos con fines ganaderos.

Algo semejante ocurre con el estudio realizado por Posada, Roldan y Ramírez (2000), en el cual se estableció una calidad de agua aceptable, ambiente que presenta similitud con la presente investigación para la zona alta de la quebrada, además se presenta semejanza en los individuos identificados, los cuales son indicadores de aguas ligeramente contaminadas, esto puede presentarse porque existen fuentes difusas, que, según Carpenter et al. (1998), son características de actividades como la ganadería, agricultura, las cuales causan un efecto negativo en la calidad en agua.

De igual manera, Gutierrez y Morales (2015) plantearon un estudio de caracterización de la calidad de agua, donde se estableció una calidad de agua aceptable, este estudio presenta características similares a la presente investigación en cuanto a la calidad de agua, sin embargo, las familias presentes variaron, algunos aspectos que han influenciado en ello son las actividades agrícolas y ganaderas en las cercanías a la quebrada.

- **Parte media:** En la Tabla 4 se puede apreciar la clasificación de los macroinvertebrados en la parte media.

Tabla 4. *Clasificación macroinvertebrados parte media*

Familia	Numero	Porcentaje
tubificidae	46	16
planariidae	58	20
chironomidae	134	46
ceratopogonidae	38	13
hydrobiosidae	3	1
tipuliddae	10	3
ancylidae	5	2
	294	**100**

De lo anterior, se puede apreciar que de los 294 organismos recolectados, las familias que presentaron una mayor abundancia fueron *chironomidae tubificidae y planariidae,* esto se puede evidencia, ya que en la zona se desarrollan gran cantidad de actividades relacionadas con la agricultura y la ganadería, además, se encuentran centros poblados, los cuales realizan sus descargas de aguas residuales directo a la fuente, haciendo que

la contaminación aumente y, por tal razón, los niveles de oxígeno disminuyan, a causa de esto, dichos individuos van a sobresalir ante las demás, debido a la tolerancia que estas presentan. Paggi (1999) afirma que estos organismos proliferan debido a los impactos antrópicos que se generan en una zona, donde los porcentajes de materia orgánica son abundantes y los niveles de oxígeno presente son mínimos, de igual manera, la autora hace referencia a que el habitat de estos organismos son lugares que presentan aguas loticas y lenticas. Además, se debe tener en cuenta que estos individuos son de los más tolerantes a todo tipo de contaminantes, tanto orgánicos como inorgánicos

Respecto a las familias que presentaron una baja abundancia, fueron *ancylidae, hydrobiosidae, tipuliddae,* esto puede estar relacionado con la tolerancia que presentan estos organismos frente a la contaminación, Roldan (2003) establece que estos organismos habitan en lugares donde las aguas se caractericen por ser mesotróficas, es decir, en un nivel intermedio de contaminación, además, Byers (1981) afirma que esta familia se encuentra en ecosistemas loticos y lenticos, entre fango y materia orgánica en descomposición, y la sensibilidad de estos se ve influenciado con las variaciones ambientales.

Índice BMWP/Col

Teniendo en cuenta la información obtenida de los muestreos y considerando el índice BMWP/col, a continuación se establece la calidad para la parte media de la quebrada Piquisiqui.

Tabla 5. *Calidad del agua para la parte media de la quebrada Piquisiqui*

Número de familias	Familia	índice biótico
1	Tubificidae	1
2	Planariidae	7
3	Chironomidae	2
4	Ceratopogonidae	3
5	Hydrobiosidae	9
6	Tipulidae	3
7	Ancylidae	6
Total BMWP		31

El resultado de la puntuación del índice BMWP/Col para la parte media de la quebrada Piquisiqui fue de 31, que representa un agua de calidad crítica, esto puede deberse a que en la zona se presentan descargas de aguas residuales, las cuales son consideradas como fuentes puntuales, por ello, Korbut (s.f.) establece que estas son aportantes de contaminación antrópica, además son considerados como aquellos puntos en que una masa de contaminantes se descargan en cuerpos de agua en lugares precisos, a través de tuberías o canales. Estas fuentes son fáciles de identificar, monitorear y regular. Además, se debe tener en cuenta que en esta zona se presentan actividades agrícolas al igual que en la zona alta, por lo tanto, son consideradas como fuentes difusas de contaminación, como anteriormente se mencionó para la parte alta (Figura 2).



Figura 2. Pastoreo en zonas aledañas a la quebrada.

Dentro de este orden de ideas, Meza, Rubio, Dias y Walteros (2012) realizaron un estudio, en el cual establecieron una calidad de agua dudosa, ya que presenta similitud con la presente investigación, en cuanto a las propiedades de la fuente hídrica que se presentan en la zona, sin embargo, las familias presentes difieren en ambos estudios; en cuanto a los impactos que se generan en la zona, están influenciados por la población aledaña a la quebrada.

Por consiguiente, Hahn-vonHessberg, Toro, Grajales, Duque y Serna (2009) desarrollaron un estudio en la vereda Santágueda (municipio de Palestina), Colombia, en donde se determinó la calidad de agua mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos, en el cual establecieron una calidad de agua dudosa (aguas moderadamente contaminadas), situación que presenta similitud en las familias identificadas y del mismo modo en la calidad, todo esto debido a las fuentes puntuales y difusas identificadas a lo largo de la zona, las cuales han causado un deterioro en la fuente hídrica.

- **Parte Baja:** En la Tabla 6 se puede apreciar la clasificación de los macroinvertebrados en la parte baja, cabe mencionar que en esta área existe un alto grado de intervención antrópica, manifestada en actividades agrícolas y pecuarias.

Tabla 6. *Clasificación macroinvertebrados parte baja*

Familia	Numero	Porcentaje
Tubificidae	325	73
Ceratopogonidae	53	12
Planaridae	9	2
Chironomidae	33	7
Tipulidae	23	5
	443	**100**

Se puede apreciar que, de los 443 organismos recolectados, las familias que sobresalen fueron *Tubificidae Ceratopogonidae,* su abundancia puede ser por la alta contaminación presente en la zona. Aston (1995) establece que estos organismos pueden vivir a varios metros de profundidad donde el oxígeno escasea, en los ríos contaminados con materia orgánica y aguas negras, estos individuos se encuentran en términos de miles por metro cuadrado, constituyéndose en indicadores de contaminación acuática. En relación a la zona, esto se logró evidenciar, ya que en la zona se realizan descargas residuales por parte de la población, sin tratamientos previos, se presentan cultivos como papa y maíz en las cercanías de la quebrada y por último se evidencian porquerizas y establos. Todas estas actividades han generado en gran proporción un efecto negativo al recurso hídrico.

Por otro lado, las familias que presentaron una menor abundancia fue la familia *planaridae* con un porcentaje de 2 %, esto puede estar reflejado por la contamiacion presente en la zona, Alba-Tercedor (1996) establece que dichas familias se caracterizan por habitar cuerpos de agua de flujos rápidos y aguas bien oxigenadas, por ello, esta familia se ve considerablemente afectada, ya que en la zona se presentan focos de contaminación puntuales y difusos que alteran la calidad del recurso.

Aplicación del índice BMWP/Col

Teniendo en cuenta la información obtenida de los muestreos y considerando el índice BMWP/col, a continuación, se establece la calidad para la parte media de la quebrada Piquisiqui.

Tabla 6. *Calidad para la parte media de la quebrada Piquisiqui*

Número de familias	Familia	índice biótico
1	tubificidae	1
2	chironomidae	2
3	ceratopogonidae	3
4	planaridae	7
5	tipulidae	3
Total BMWP		16

El resultado de la puntuación del índice BMWP/Col para la parte baja de la quebrada Piquisiqui fue de 16, lo cual representa una calidad de crítica, esto puede deberse a que en la zona existe una gran perturbación generada por la población en las cercanías a la quebrada, por ello, Corponariño (2012) establece que los asentamientos encontrados a lo largo del afluente desarrollan

actividades de agricultura y ganadería, donde el principal componente afectado es el agua, ya que estas acciones dejan como residuo sustancias químicas y desechos orgánicos del ganado vacuno, porcino y aves de corral.

En este sentido, Toledo y Mendoza (2016) desarrollaron un trabajo, donde se estableció una calidad de agua dudosa, situación que presenta similitud con la presente investigación, esto pudo presentarse, ya que, por lo general, los individuos identificados en estas zonas son característicos de aguas contaminadas, a causa de esto se presentan características similares en cuanto a la presencia de estos organismos en las fuentes hídricas.

En relación con los estudios desarrollados, Yépez-Rosado et al. (2017) realizaron una investigación, en la cual se estableció una calidad crítica, todo esto debido a la generación de residuos sólidos, los cuales se depositaron de forma directa en la fuente hídrica. Sin embargo, este estudio presenta similitud con la presente investigación, ya que se presentan individuos característicos de aguas contaminadas, pero debido a la carga contaminante que se presentó en el estudio anteriormente mencionado difiere en la calidad de las dos investigaciones.

Conclusiones

Los macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de la calidad del agua son altamente viables, debido a su alta sensibilidad a las variaciones de los parámetros físicos, químicos y biológicos en una fuente hídrica, las cuales son ocasionadas por las actividades antrópicas. Durante el desarrollo de esta investigación, se observó que varias familias identificadas durante el muestreo en la parte alta van a ser diferentes a las familias presentes en las zonas media y baja, debido a la contaminación generada en estas zonas, lo cual ha provocado que las especies menos tolerantes a la contaminación desaparezcan.

Por medio de los muestreos realizados y las familias encontradas en la quebrada, se puede decir que se comprobó la hipótesis, ya que las características que presentan estos organismos hacen que la fuente hídrica presente una calidad de agua dudosa, esto se comprobó mediante la aplicación de índice BMWP/col, el cual es un indicador confiable para el diagnóstico de en una fuente hídrica, sin embargo, dicho índice debe aclarar que no es útil para determinar si un agua superficial es apta para el consumo humano, simplemente permite hacer una aproximación de las condiciones de calidad que tiene una fuente.

Asimismo, se pudo determinar que las diferentes actividades que se desarrollan en las cercanías de la quebrada causan un deterioro considerable en toda la fuente, puesto que las actividades que se desarrollen en la parte alta van a repercutir a toda la quebrada, ya que la contaminación se extenderá, causando un deterioro en la calidad de agua. Además, cabe recalcar que la zona baja se encuentra altamente impactada por la considerable cantidad de residuos sólidos, tanto orgánicos como inorgánicos, que son desechados por la población aledaña.

Referencias

Alba-Tercedor, J. (1996). Macroinvertebrados Acuaticos y Calidad de las aguas en los ríos. *Almeria, II,* 203-213.

Aston, R. (1995). Tubificids y la calidad del agua: una revisión.

Byers, G. (1981). The crane flies (Diptera: Tipulidae) of Cocos Island, Costa Rica with descriptions of fou new species. *Contributions in science, 335,* 1-8.

Carpenter, S., Chair, N., Correl, D., Howarth, R., Sharpley, A. & Smith, V. (1998). Contaminacion no puntual de aguas superficiales con fosforo y nitrogeno. *Tópicos en ecología, 3,* 1-13.

Corponariño. (2012). Plan de ordenamiento del recurso Hidrico Quebrada Miraflores .

Garcia, J., Carmona, J. y Montoya-Moreno, Y. (2012). Caracterización de la calidad del agua de la parte alta de la microcuenca de la quebrada La Cimarronas, El Carmen de Viboral (Antioquia), utilizando macroinvertebrados acuáticos. *Investigación, Biodiversidad y Desarrollo, 31*(1), 5-18. doi: 10.18636/ribd.v31i1.269

Gutierrez, K. y Morales, D. (2015). *Caracterización de la calidad del agua de la quebrada los Cáquezas, mediante la utilización de macroinvertebrados acuaticos* (tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco Jose´de Caldas, Bogotá, Colombia. Recuperado de http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/4713/1/Guti%C3%A9rrezPradaKarenViviana2015.pdf

Hahn-vonHessberg, C., Toro, D., Grajales, A., Duque, G. y Serna, L. (2009). Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos y fisicoquímicos, en la estación piscícola, Universidad de Caldas, municipio de Palestina, Colombia. *Boletín científico centro de museos. Museo de historia natural, 13*(2), 89-105.

Korbut, S. (s.f.). Contaminacion en Agua [diapositivas]. Recuperado de http://www.ingenieroambiental.com/agua2.pdf

Meza, A., Rubio, J., Dias, L. y Walteros, J. (2012). Calidad de agua y composición de macroinvertebrados Acuáticos en la subcuenca alta del río Chinchiná. *Caldasi, 34*(2), 443-456.

Moya, C., Valdovinos, C., Moraga, A., Romero, F., Debels, P. y Oyanedel, M. (2009). Patrones de distribución espacial de ensambles de macroinvertebrados bentónicos de un sistema fluvial Andino Patagónico. *Revista Chilena de Historia Natural*, *82*(3), 425-442. doi: 10.4067/S0716-078X2009000300009

Paggi, A. (1999). Los Chironomidae como indicadores de calidad de ambientes dulceacuícolas. *Revista de la sociedad entomológica argentina, 58*(1-2), 202-207.

Posada, J., Roldan, G. y Ramírez, R. (2000). Caracterización fisicoquímica y biológica de la calidad de aguas de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Revista de Biología Tropical, 48*(1), 59-70.

Roldan, G. (1996). En Guia para el estudio de macroinvertebrados acuaticos en el departamiento de Antioquia (págs. 11-12).

Roldan, G. (2003). *Bioindicacion de la calidad de agua en Colombia. Uso del método BMWP/Col.* Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia.

Toledo, M. y Mendoza, B. (septiembre de 2016). Estudio de la calidad de agua utilizando Bio-indicadores, en la microcuenca del río Chimborazo. En XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Lima, Perú.

Yépez-Rosado, A., Yépez-Yanez, A., Urdánigo, J., Morales, D., Guerrero, N. y Tayhing, C. (2017). Macroinvertebrados acuaticos como indicadores de la calidad hidrica en areas de descargas residuales Quevedo, Ecuador. Quevedo- Ecuador. *Ciencias ambientales, 10*(1), 27-34.

Comparación de las propiedades fisicoquímicas de un suelo de uso pecuario y un suelo de bosque altoandino, municipio de Túquerres

Johanna Sthefanny Lagos Riascos[116]
Jenny Lucia Huertas Delgado[117]

Resumen

El uso y manejo indiscriminado del suelo se relaciona íntimamente con las actividades agropecuarias, que a lo largo del tiempo han sobreexplotado y causado alteraciones en el comportamiento de sus propiedades. En ese sentido, el municipio de Túquerres, se ha dedicado tradicionalmente a la producción ganadera, como base de su economía, lo cual ha intensificado la problemática sobre este recurso, ocasionando una afectación en la estabilidad estructural y modificando la relación existente entre agua-suelo-aire. Al respecto, en la presente investigación se realizó una comparación entre las propiedades fisicoquímicas de un suelo de uso pecuario con un suelo de bosque altoandino. Para el cumplimiento del objetivo, se tomó muestras de suelo en campo en cada una de las zonas. Posteriormente, se realizó una caracterización de las propiedades fisicoquímicas (Da y Dr, porosidad, textura, humedad, MO, CIC, pH, CE), demostrando que las zonas presentaron una textura franco arenosa.

Los resultados fueron sometidos al test de comparación de medias de Duncan, el cual indicó que, MO, pH, CIC, CE, humedad, Da y Dr evidenciaron diferencias estadísticamente significativas (p<0,05), donde las mejores condiciones del suelo estuvieron en el bosque, ostentando un alto contenido de MO (12,75 %), lo cual influyó en otras propiedades, como Da, porosidad, humedad, pH, CIC. Por otra parte, el suelo de uso pecuario no mostró indicios de degradación marcada, debido a que presentó un contenido medio de MO y baja Da, lo cual es característico de suelos andisoles de Nariño, permitiendo incrementar la resiliencia a procesos de compactación.

Palabras clave: bosque altoandino, degradación, propiedades fisicoquímicas, resiliencia, suelo andisol, uso pecuario.

Comparison of the physicochemical properties of a land for livestock use and a high Andean forest floor, in Túquerres, Nariño

Abstract

The indiscriminate use and management of the soil is closely related to agricultural activities, which over time have overexploited and caused alterations in the behavior of their properties. In that sense, the municipality of Túquerres has been dedicated by tradition to livestock production, as the basis of its economy, which has intensified the problem about this resource, causing an impact on structural stability and modifying the relationship between water-soil -air.

This research carried out a comparison between the physicochemical properties of a soil for livestock use with a high Andean forest floor. To fulfill the objective, soil samples were taken in the field in each of the zones. Subsequently, a characterization of the physicochemical properties (Da and Dr, porosity, texture, humidity, MO, CIC, pH, CE) was performed, demonstrating that the areas presented a sandy loam texture.

Results were submitted to the Duncan means comparison test, which indicated that, MO, pH, CIC, EC, humidity, Da and Dr showed statistically significant differences (p <0.05), where the best soil conditions were in the forest, showing a high content of MO (12.75%), which influenced other properties, such as Da, porosity, humidity, pH, CIC. On the other hand, the land for livestock use did not show signs of marked degradation, because it presented an average content of MO and low Da, which is characteristic of Nariño andisols soils, allowing increasing the resilience to compaction processes.

Key words: high Andean forest, degradation, physicochemical properties, resilience, andisol soil, livestock use.

Comparação das propriedades fisico-quìmicas de um solo de uso pecuário e um solo de floresta alto andina, no município de Tùquerres

Resumo

O uso indiscriminado e o manejo do solo estão intimamente relacionados às atividades agrícolas, que com o passar do tempo exploraram demais e causaram alterações no comportamento de suas propriedades. Nesse sentido, o município de Túquerres tem sido dedicado, por tradição, à produção pecuária, como base de sua economia, o que intensificou o problema desse recurso, causando impacto na estabilidade estrutural e modificando a relação água-solo-ar.

Esta pesquisa realizou uma comparação entre as propriedades físico-químicas de um solo para uso animal em relação a um solo de floresta andina. Para cumprir o objetivo, foram coletadas amostras de solo no campo em cada uma das zonas. Posteriormente, foi realizada uma caracterização das propriedades físico-químicas (Da e Dr, porosidade, textura, umidade, MO, CIC, pH, CE), demonstrando que as áreas apresentavam textura arenosa.

Os resultados foram submetidos ao teste de comparação de médias de Duncan, que indicou que MO, pH, CIC, CE, umidade, Da e Dr apresentaram diferenças estatisticamente significantes (p <0,05), onde as melhores condições de solo estavam na floresta, mostrando alto teor de MO (12,75%), o que influenciou outras propriedades, como Da, porosidade, umidade, pH, CIC. Por outro lado, os terrenos para uso animal não apresentaram sinais de degradação acentuada, pois apresentaram um teor médio de MO e baixo Da, o que é característico dos solos andisols de Nariño, permitindo aumentar a resiliência aos processos de compactação.

Palavras-chave: floresta alto andina, degradação, propriedades físico-químicas, resiliência, solo andisol, uso de gado.

Introducción

En Colombia, los sistemas de producción agropecuarios se basan, principalmente, en la explotación indiscriminada de los recursos naturales, a través de la implementación de monocultivos y de ganadería intensiva, ocasionando un sobreuso y manejo inadecuado del suelo, una degradación y abandono de la tierra. Al respecto, CORPONARIÑO (2002), afirma que "el departamento de Nariño se ha caracterizado por explotación ganadera, con la implementación de sistemas de pastoreo, con predominio de pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*)" (p. 5), esto ha ido ocasionando a través del tiempo efectos negativos, como la compactación y la erosión, alterando de tal manera algunas de sus propiedades fisicoquímicas, debido al pisoteo permanente que realizan estos animales (Fernández, 2014). Por otro lado, los suelos que se encuentran ubicados en un bosque altoandino, puede presentar una mejor condición en sus propiedades, debido a que son tierras que no se han visto afectadas por las actividades antrópicas y que aun presentan un grado de conservación adecuado, relacionadas con diferentes factores asociados al clima, la altitud y la humedad.

> El 9,1 % del territorio nacional tiene vocación agrícola y el 9 % es de vocación ganadera, mientras un 19 % tiene vocación agroforestal, el 62,5 % tiene vocación forestal, de conservación y recuperación, por lo tanto, se estima que se presenta una sobre utilización de tierras en 37,2 %, así, alrededor del 80 % de la zona andina está afectada por la erosión [y compactación], por lo tanto,

[116] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: jolagos@umariana.edu.co

[117] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: jlhuertas@umariana.edu.co

uno de los mayores causantes del fenómeno es el uso del suelo por actividades agropecuarias, con tecnologías inadecuadas y sin considerar la aptitud de uso, el proceso de degradación de suelos en la región, avanza cerca de 2000 ha anuales. (Arteaga, Navia y Castillo, 2016, p. 63).

Ante tal circunstancia, se requiere obtener el comportamiento de algunas propiedades del suelo en diferentes usos, para tomar las medidas necesarias que permitan disminuir el impacto sobre este importante recurso.

Al respecto, Arteaga, Navia y Castillo, (2016), en su estudio consideraron que, las condiciones de un suelo de bosque altoandino son mejores en comparación a un suelo de pradera, donde el contenido de MO fue superior en los suelos que presentan abundante cobertura vegetal (bosque protector), en relación al manejo de un monocultivo de pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), debido al aporte de material orgánico en forma de hojarasca y a la lenta mineralización de la reserva orgánica, que la ocurrida en praderas a plena exposición del sol.

De las Salas (1987) afirma que, en los ecosistemas boscosos naturales, los contenidos de materia orgánica tienden a ser altos, de acuerdo a una dinámica interna de ciclo cerrado, por lo cual reduce pérdidas significativas de MO en el sistema, a diferencia de sistemas productivos intensivos convencionales, que responden a una mayor tasa de mineralización por efecto de manejo.

En este sentido, es importante conocer el comportamiento de las propiedades de un suelo de uso pecuario y un suelo de bosque altoandino, para así poder obtener los posibles efectos, como la compactación y la erosión, ocasionados por el manejo y uso inadecuado del suelo y algunos factores que intervienen en sus propiedades del suelo. Por lo tanto, en la presente investigación se comparó las características fisicoquímicas de un suelo de uso pecuario y un suelo de bosque altoandino, en el municipio de Túquerres, Nariño.

Materiales y Métodos

Este estudio se desarrolló en un suelo de uso pecuario en una finca ubicada en la vereda la Jardinera (Z1), y en un suelo perteneciente a un bosque altoandino situado en la vereda San Roque Alto (Z2), localizados a 1° 4'27.85" latitud N y 77°37'27.42" longitud O y a una altitud de 2.980 m s. n. m. y 3.416 m s. n. m. respectivamente, ambos en el municipio de Túquerres, Nariño (ver Figura 1). La temperatura fluctúa entre 6 y 16 ºC, y son considerados como suelos de alta fertilidad, con texturas franco arenosas, con un pH moderadamente ácido par la Z1 y fuertemente ácido para la Z2 (Romero, 2012). En la Z1, predomina el pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y en la Z2 hay presencia de diferentes especies forestales, donde las más destacadas son: el Mortiño *(Vaccinium meridionale*), Romero (*Rosmarinus officinalis*), Aliso *(Alnus acuminata),* Chaquilulo (*Macleania rupestris*), Encino negro (*Weinmania engleriana*), Pumamaque (*Schefflera marginata*), Amarillo (*Miconia sp.*) y Motilón silvestre (*Hyeronima macrocarpa*).

Para cada zona se empleó dos métodos de muestreo: en zig zag (Z1) y al azar (Z2), obteniéndose una muestra representativa por cada suelo, a una profundidad de 20 cm, las cuales fueron transportadas al laboratorio de la Universidad Mariana, para realizar el análisis de las propiedades físicas (Da, Dr, Textura, Contenido de humedad y Porosidad) y químicas (MO, CIC, CE y pH). Posteriormente, dichas variables fueron sometidas al test de comparación de medias de Duncan, con el fin de determinar si existieron diferencias estadísticamente significativas entre zonas, haciendo uso del software InfoStat Statistical Package.

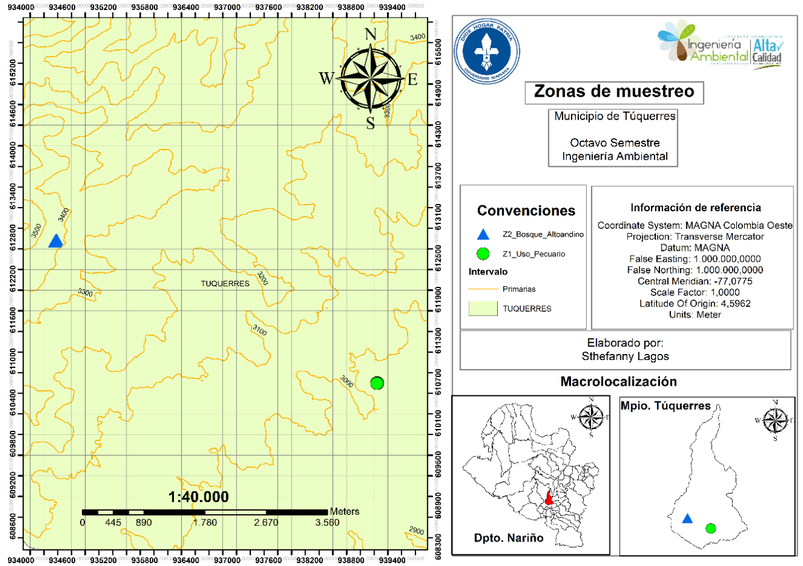


Figura 1. Zona de estudio en el municipio de Tuquerres.

La metodología empleada para determinar los valores de los diferentes parámetros tanto físicos como químicos se describen en la Tabla 1.

Tabla 1. *Metodología utilizada para la evaluación de los parámetros físicos y químicos*

Parámetro	Método
Materia Orgánica	Walkley-Black (Colorímetro) NTC 5403
Capacidad de Intercambio Catiónico	Acetato de Amonio 1N pH 7,0-Titulometrico
pH	Potenciómetro, relación suelo-agua 1:1-NTC 5264
Conductividad Eléctrica	Conductivimètro
Densidad aparente	Cilindro Graduado
Densidad Real	Picnómetro
Porosidad	Calculada a partir de la densidad real y aparente
Contenido de humedad	Gravimétrico secado a 150ºc peso constante
Textura	Bouyoucos

Fuente: Guía de laboratorio de suelos de la Universidad Mariana.

Resultados, Análisis y Discusión

Propiedades químicas del suelo

Tabla 2. *Propiedades químicas de un suelo de uso pecuario (Z1) y suelo de un bosque altoandino (Z2)*

Parámetros	N		Media		E.E.		CV	
	Z1	Z2	Z1	Z2	Z1	Z2	Z1	Z2
MO (%)	3	3	8,72	12,75	0,09	0,17	1,86	2,36
pH	3	3	5,67	5,46	0,02	0,01	0,49	0,23
CIC (meq/100g)	3	3	37,65	45,23	0,57	1,30	2,62	4,99
CE (µs/cm)	3	3	159,67	278,67	4,88	4,98	5,29	3,09

*n número de datos, *E.E error estándar, *CV coeficiente de variación.

Según la Tabla 2, el suelo de bosque altoandino, presentó los valores más altos en relación a los parámetros químicos, como MO, CIC y CE, en comparación al suelo de uso pecuario. Donde la MO en el bosque ostentó una diferencia de 46,21%, la CIC una divergencia de 20,13 % y la CE un 74,52 %, con respecto a la Z1. En relación al pH, el suelo de uso pecuario presentó un valor de 5,67 ± 0,03, siendo un dato superior al pH del suelo de Bosque Altoandino (5,46 ± 0,01), ostentando una diferencia de 3,84 %. Respecto a lo anterior, se procedió a determinar las diferencias estadísticamente significativas de los parámetros entre cada zona de estudio, las cuales se indica a continuación:

Materia orgánica

Tabla 3. *Comparación de medias de Duncan para Materia Orgánica*

.Parámetro	Test de Comparación de medias de Duncan			
	Zonas	n	Media	
Materia Orgánica (%)	Z1 (Uso pecuario)	3	8,72	**A**
	Z2 (Bosque Altoandino)	3	12,75	**B**
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05)				

De acuerdo a resultados presentados en la Tabla 3, la prueba de comparación de medias de Duncan indicó que el contenido de MO en el suelo de Bosque Altoandino presentó diferencias estadísticamente significativas frente al suelo de uso pecuario, con un promedio de 12,75 % y 8,72 % respectivamente (p<0.05). Esto se debe a la presencia de diferentes especies forestales que ostenta el bosque, puesto que éstas permiten que haya un mayor ingreso o acumulación de residuos orgánicos en el suelo (Benavides, Morales y Navia, 2015). De igual manera, posiblemente pueden influir otros factores, como los climáticos y altitudinales, en donde la Z2 presenta unas características resaltables al ubicarse a más de 3.400 m s. n. m., las cuales actúan impidiendo la mineralización de la MO y, por ende, ocasionan su mayor acumulación (Charry, 1987). Respecto a lo anterior, según Jaramillo (2002), los resultados de MO tanto para la Z1 y Z2, se clasifican como un nivel de alto y medio respectivamente, lo cual concuerda y reafirma lo mencionado.

Por otra parte, el suelo de uso pecuario, al estar sometido a un monocultivo con predominio de pasto Kikuyo (*Pennisetum candestinum*), ostentó una disminución en el contenido de MO, relacionado con la menor incorporación de residuos orgánicos (Arteaga et al., 2016). Por lo cual, según el estudio realizado por Benavides et al. (2015), obtuvieron en una zona de pradera, un contenido de MO más bajo (8,09 %) en comparación a suelos con árboles dispersos en potreros de Quillotocto y un suelo de bosque con árboles de Encino (13,73 y 13,34 % respectivamente), debido al aporte de residuos vegetales. Esto concuerda con el resultado de este parámetro en la presente investigación, en vista de que en la Z1 hay una menor incorporación de residuos, debido al manejo y uso del suelo, lo que posiblemente influye en la reducción del contenido de MO (Arteaga et al., 2016).

pH

Tabla 4. *Prueba de comparación de medias de Duncan para pH*

Parámetro	Test de Comparación de medias de Duncan			
	Zonas	n	Media	
pH	Z1 (Uso pecuario)	3	5,67	B
	Z2 (Bosque Altoandino)	3	5,46	A
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05)				

De acuerdo a la Tabla 4, fue posible apreciar que la zona 1 (uso pecuario), presentó diferencias estadísticamente significativas en relación a la zona 2 (bosque Altoandino) (p<0.05). Respecto a esto, la Z2 ostentó un valor menor de pH, debido a la alta concentración de MO. Ante ello, hay que considerar que al ser este suelo procedente de cenizas volcánicas y encontrarse a una gran altitud, presenta una fracción coloidal denominada complejo de humus-Al y alófana, lo cual permite que haya una disminución del pH e incremento en el contenido de MO (Shioji, Fujiwara, Yamada & Saigusa, 1982; Zehetner & Miller, 2006; Zehetner, Miller y West, 2003). El valor obtenido en esta investigación se puede clasificar como fuertemente ácido, puesto que se encuentra entre un rango que va desde 5,1 a 5,5 (Jaramillo, 2002), lo cual concuerda con el estudio realizado por Cerón y García (2009), pues el suelo de bosque derivado de cenizas volcánicas presentó un pH de 5.3.

Respecto al suelo de uso pecuario (pradera de pasto Kikuyo), la ausencia de material vegetal sobre la superficie ha hecho que presente una variación en esta propiedad, en este sentido, dicho suelo presentó un valor de 5,66, lo que permite considerarlo como moderadamente ácido, es decir que, se encuentra entre un rango que va desde 5,6 a 6,0, según la calificación de pH del suelo establecida por Jaramillo (2002). Este valor, se relaciona con la investigación realizada por Zambrano y Obando (2013), en la cual, el suelo presentó un valor de pH de 5,63, lo que corrobora la condición de los suelos en el departamento de Nariño, especialmente, los derivados de cenizas volcánicas con alto contenido de MO (Bernal, 2003).

Capacidad de Intercambio Catiónico

Tabla 5. *Comparación de medias de Duncan para Capacidad de Intercambio Catiónico*

Parámetro	Test de Comparación de medias de Duncan			
	Zonas	n	Media	
CIC (meq/100g)	Z1 (Uso pecuario)	3	37,65	**A**
	Z2 (Bosque Altoandino)	3	45,23	**B**
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05)				

Respecto a la CIC, dos zonas presentaron diferencias estadísticamente significativas (p<0.05), donde el suelo de bosque altoandino presentó un valor superior en relación al suelo de uso pecuario. Este comportamiento se debe principalmente a la relación existente entre MO y CIC (Kapland & Estes, 1985), en vista de que el suelo de bosque ostentó una gran cantidad de residuos orgánicos que influyeron en el alto contenido de MO. Al respecto, según el estudio realizado por Arteaga et al. (2016), en el corregimiento de Obonuco-Pasto, el suelo de bosque presentó un alto valor de CIC de 53,43 meq/100g, atribuyendo este resultado a la probable alta concentración de MO (16,9 %) y en menor medida al contenido de arcillas (4,8 %). Lo anterior, puede estar relacionado con este estudio, puesto que, el bosque altoandino al presentar diferentes especies vegetales, que aportan una gran concentración de MO, permitieron aumentar su CIC (45,23 meq/100g), por lo cual, según Metson (1956), la clasifica entre un rango

alto, es decir, > a 40 meq/100g. Respecto a ello, se puede deducir que la MO puede influir positivamente en la capacidad que tiene este suelo para intercambiar cationes, lo cual favorece a la vegetación existente (Garrido, 1993) y trae muchos efectos positivos (Fernández, 2014).

En cuanto a la CIC que se presentó en el suelo de uso pecuario (37,65 meq/100g), fue posible apreciar que se encuentra entre un rango alto (Metson, 1956), al igual que el suelo de bosque altoandino, lo cual está relacionado en gran medida a la concentración de MO (ver Tabla 2) y posiblemente al contenido de arcillas (ver Tabla 12), en vista que estas últimas, también son capaces de retener y liberar cationes (Ccapa, 2014). En este sentido, el resultado obtenido en la presente investigación, se relacionó con el estudio realizado por Arteaga et al. (2016), donde fue posible apreciar que, un suelo de pradera Kikuyo presentó un valor de CIC (21,20 meq/100g) menor en comparación a un suelo de bosque, debido a la menor incorporación de residuos orgánicos y, por ende, a la mineralogía de influencia volcánica, donde se destaca la presencia de alófana (Fassbender y Bornemizsa, 1994). Razón por la cual, posiblemente existió una correlación positiva entre MO y los nutrientes disponibles, que pueden ser fácilmente asimilables por la planta de pasto Kikuyo (Zambrano, Apráez y Navia, 2014), los cuales, permiten mejorar la fertilidad en este suelo (Intagri, s.f).

Conductividad Eléctrica

Tabla 6. *Comparación de medias de Duncan para conductividad eléctrica*

Parámetro	**Test de Comparación de medias de Duncan**			
	Zonas	n	Media	
Conductividad Eléctrica (µs/cm)	Z1 (Uso pecuario)	3	159,67	**A**
	Z2 (Bosque Altoandino)	3	278,67	**B**
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05)				

Respecto a la CE, las dos zonas presentaron diferencias estadísticamente significativas con un p<0.05. El anterior comportamiento se debe a la relación existente con el contenido de MO que posee el suelo de bosque altoandino (12,75 %), en vista de que algunos componentes de esta conllevan a la formación y estabilización de los agregados, los cuales, generan poros continuos que permiten un mayor aumento en su capacidad de conducir electricidad (Lal, 2004). Razón por la cual, se deduce que existe una fuerte correlación entre la MO y CE, en vista que su mayor concentración en el suelo de bosque posiblemente influyó en el mantenimiento de sus propiedades fisicoquímicas y biológicas (Martínez et al., 2009).

Por otro lado, el suelo de uso pecuario presentó un valor de (159,67 µs/cm) menor en comparación al suelo de bosque altoandino, hecho que se debe a la disminución del contenido de MO. A su vez, la textura en este suelo, posiblemente influyó en la conducción de electricidad, ya que los suelos que presentan mayor porcentaje de partículas finas como arcillas y limos, están totalmente correlacionados con este parámetro (Simón, Peralta y Costa, 2013). Razón por la cual, el contenido de arcillas (11,72 %) y limos (32,82 %) en el suelo de uso pecuario posiblemente permitieron el paso de la corriente eléctrica a través de sus partículas cargadas. Sin embargo, Herber (2011) relacionó esta propiedad con la fracción más gruesa del suelo (arena), y evidenció que existe una relación negativa entre estos parámetros. Por lo cual, el contenido de arena en este suelo (55,46 %) probablemente no provocó la conducción de la electricidad.

Propiedades Físicas del Suelo

Tabla 7. *Propiedades físicas de un suelo de Pradera y un suelo de bosque Altoandino*

Parámetros	n		Media		D.E.		E.E.		CV	
	Z1	Z2	Z1	Z2	Z1	Z2	Z1	Z2	Z1	Z2
Contenido de humedad (%)	3	3	5,79	7,02	0,31	0,18	0,18	0,11	5,43	2,62
Da (g/cm^3)	3	3	0,72	0,60	0,03	0,04	0,02	0,02	4,71	6,80
Dr (g/cm^3)	3	3	2,24	2,03	0,11	0,03	0,07	0,02	5,07	1,28
Porosidad (%)	3	3	67,60	70,29	3,20	2,36	1,85	1,36	4,73	3,35

*n número de datos, *E.E error estándar, *CV coeficiente de variación.

Según la Tabla 7, el suelo de Bosque Altoandino, presentó los valores más altos en relación a los parámetros físicos, como contenido de humedad, Da y Dr, porosidad, respecto al suelo de uso pecuario, en el cual el contenido de humedad ostentó una diferencia de 21,24 %, la Da una divergencia de 20 %, la Dr con un 10,34 % y la porosidad con un 3,97 %, en comparación a la Z1. De acuerdo a lo anterior, se procedió a determinar las diferencias estadísticamente significativas de los parámetros entre cada zona de estudio, las cuales se indican a continuación.

Contenido de humedad

Tabla 8. *Comparación de medias de Duncan para el contenido de humedad*

Parámetro	**Test de Comparación de medias de Duncan**			
	Zonas	n	Media	
Contenido de Humedad	Z1 (Uso pecuario)	3	5,79	**A**
	Z2 (Bosque Altoandino)	3	7,02	**B**
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05)				

De acuerdo a los resultados establecidos en la Tabla 8, fue posible evidenciar que ambas zonas presentaron diferencias estadísticamente significativas (p<0,05). Este comportamiento se debe principalmente a la alta cantidad de MO (12,75 %) que presentó el suelo de bosque altoandino, ya que influyeron los aportes generados por las diferentes especies vegetales, las cuales presentaron una gran capacidad de absorber y almacenar humedad (Fernández, 2014), motivo por el cual, el contenido de humedad en este suelo fue el más alto (7,2 %), en comparación al suelo de uso pecuario. Lo anterior puede estar relacionado con el porcentaje de humedad de un bosque, evaluado por Molina et al. (2017), el cual presentó un valor mayor en comparación con una pradera, en vista de que está totalmente asociado con la alta concentración de MO, a pesar de contener altos niveles de arenas (74,76 %). Así mismo, Martínez-Gonzales, Sosa-Pérez y Ortiz-Medel (2010), señalan que "existe una correlación positiva entre la altitud y el incremento de la humedad" (p. 12), puesto que la Z2 se encuentra a una altura mayor a los 3.400 m s. n. m., y posee un clima frio-húmedo, con bajas temperaturas (10,9 ºC) (Alcaldía Municipal de Túquerres, 2002).

Por el contrario, el suelo de uso pecuario presentó un contenido de humedad menor respecto al suelo de bosque Altoandino, lo cual, probablemente se deba a la disminución en el contenido de MO (8,72 %); el valor encontrado de humedad en la presente investigación concuerda con lo reportado por Martínez-Gonzales et al. (2010), donde evidenciaron que, una pradera con baja cobertura vegetal ocasionó mayor pérdida de humedad (6,1 %), en comparación a un suelo de bosque de encinos (*Quercus* sp), los cuales obtuvieron valores de 7,9 % y 7,02 %, respectivamente. En consideración a lo anterior, los suelos que están

totalmente expuestos a los rayos del sol (Gonzales y Nogues, 2012) y que están sometidos constantemente a cualquier tipo de estrés mecánico, tienden a disminuir de una manera considerable su contenido de humedad (Molina et al., 2017). Al mismo tiempo, la textura posiblemente influyó en la retención de humedad, ya que este suelo presentó mayor cantidad de partículas (arcillas y limos) (ver Tabla 12) en comparación al suelo de bosque altoandino, las cuales probablemente controlaron la retención y el transporte de agua debido a la presencia de dos fuerzas como la cohesión y adhesión (Fernández, 2014), que en realidad dependen de los mecanismos físico mecánicos (Osorio, 2010).

Densidad Aparente

Tabla 9. *Prueba de comparación de medias de Duncan para la Densidad Aparente*

Parámetro	Test de Comparación de medias de Duncan			
	Zonas	n	Media	
Densidad Aparente (g/cm3)	Z1 (Uso pecuario)	3	0,72	**A**
	Z2 (Bosque Altoandino)	3	0,60	**B**
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05)				

En cuanto a la Da, las zonas presentaron diferencias significativas con un (p<0.05), considerando que en el suelo de bosque Altoandino se encontró el valor más bajo (0,60 g/cm3), atribuyéndolo al gran aporte de residuos orgánicos y la concentración de raíces que influyen de una manera positiva en la disminución de la Da y en la adecuada distribución de los poros, lo cual permite inferir que se presenta una relación inversamente proporcional al contenido de MO (12,75 %), es decir que, a medida que aumenta la MO, disminuye la Da. Contrario a lo ocurrido en el suelo de uso pecuario, que ostentó una Da más alta (7,02 g/cm^3) y por ende un valor medio de MO (8,72%). Respecto a ello, Molina et al. (2017) evaluaron un suelo de bosque, donde evidenciaron que este presentó un valor más bajo de Da (0,61 g/cm3), en comparación a un suelo de pradera, debido al gran aporte de residuos orgánicos, lo cual posiblemente sea por el menor peso por unidad de volumen que tiene estos materiales orgánicos. Además, el resultado obtenido en el suelo de bosque altoandino coinciden con el valor encontrado por Volverás (2005), quien señala que “en los suelos de la región Andina de Nariño, la DA se encuentra entre un rango de 0,4 g/cm3 y 0,8 g/cm3” (p. 15), lo cual es característico de los suelos Andisoles (Forsythe, Gavanade, & Gonzales, 1969).

Por otro lado, el suelo de uso pecuario ostentó un valor de Da de 0,72 g/cm3, el cual se encuentra entre el rango establecido por Burbano, Blasco y Unigarro (1988) sobre la Da encontrada en los suelos volcánicos en el departamento de Nariño. Atribuyéndolo a las prácticas adecuadas que se realizan en la Z1 y en gran medida a su alta capacidad de resiliencia, al ser característico de los Andisoles, presentan excelentes propiedades como baja Da, alta capacidad de almacenamiento de agua y alto contenido de MO, lo cual tiende a recuperar sus funciones, es decir, sus propiedades físicas y químicas a través del tiempo y después de una intervención o proceso de degradación (compactación) (Ivelic et al., 2015). Respecto a lo anterior, los valores obtenidos en el presente estudio se relacionaron con la investigación realizada por Alarcón, Dorner, Dorota, López & Balocchi, (2010), donde evaluaron la Da en un suelo con diferentes intensidades de pastoreo, en el cual fue posible apreciar que esta propiedad no fue totalmente afectada (0,69 y 0,68 g/cm3 respectivamente). Permitiendo inferir que probablemente este suelo fue capaz de soportar el tránsito y pisoteo animal, sin producir una deformación significativa en su volumen, debido a la capacidad de resiliencia que este puede presentar.

Porosidad

Tabla 10. *Prueba de comparación de medias de Duncan para la Porosidad*

Parámetro	Test de Comparación de medias de Duncan			
	Zonas	n	Media	
Porosidad (%)	1 (uso pecuario)	3	67,60	**A**
	2 (Bosque Altoandino)	3	70,29	**A**
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05)				

En la Tabla 10 se hace alusión a la comparación de medias de Duncan para el parámetro de Porosidad en las dos zonas de estudio, donde se no presentaron diferencias estadísticamente significativas (p>0.05), siendo mayor el porcentaje en el suelo de bosque, dado que influye de una manera positiva la abundante cobertura vegetal, y sobre todo el sistema radicular de las diferentes especies arbóreas, las cuales permiten que haya una adecuada penetración hacia los diferentes horizontes, lo que generaría una buena de red de canales, que facilitarían la entrada de aire y, por ende, la infiltración del agua hacia el subsuelo (Shaxson & Barber, 2005). Respecto a lo anterior, Cerón y García (2009) evaluaron las propiedades fisicoquímicas de un suelo de bosque en ladera, donde se presentó un valor alto de porosidad (66 %), ya que influyó de una manera positiva la acumulación de MO, atribuida a las condiciones de vegetación, al clima frio-húmedo, debido a su gran altura, y la procedencia de cenizas volcánicas. Lo anterior está estrechamente relacionado con la presente investigación, puesto que el suelo de bosque altoandino, se encuentra ubicado a una altura de 3.400 m s. n. m., presenta un clima frio-húmedo y diferentes especies vegetales, las cuales se relacionan con el incremento de MO en la superficie del suelo y en su porosidad (Doornbos, 2015).

Por otro lado, el suelo de uso pecuario con predomino de pasto Kikuyo contiene una gran concentración de raicillas bien profundas con tallos demasiado gruesos (Vicuña, 1985), relacionados con el aporte de MO, los cuales influyen en la adecuada capacidad de aireación e infiltración del agua hacia el subsuelo y en el favorecimiento a su porosidad (67,60 %). Después de estar sometido este suelo a un tipo de estrés (pisoteo de animales), probablemente, ha ido recuperando su funcionalidad e integridad estructural, debido a su alta capacidad de resiliencia (Ivelic et al., 2015), en vista de que, los suelos derivados de cenizas volcánicas (Andisol), al presentar excelentes propiedades físicas, como baja Da, alto contenido de MO, alta capacidad de almacenamiento y conducción de agua (Shoji et al., 1993; Doner et al., 2010), y alta porosidad (69 %), influyeron sobre este parámetro. Razón por la cual, Dorner et al. (2010) obtuvieron un valor de 70,2 % y 70,5 %, en un suelo sometido a diferentes intensidades de pastoreo, lo cual permite inferir que estos suelos fueron capaces de soportar este tipo de estrés mecánico (pisoteo de animales), sin producir ninguna deformación en su volumen poroso. Por tal motivo, la porosidad, tanto en la Z1 como la Z2, se encontró dentro de un rango clasificado como excelente (Jaramillo, 2002).

Densidad Real

Tabla 11. *Prueba de comparación de medias de Duncan para Densidad real*

Parámetro	Test de Comparación de medias de Duncan			
	Zonas	N	Media	
Densidad Real (g/cm3)	1 (uso pecuario)	3	2,24	**A**
	2 (Bosque Altoandino)	3	2,03	**B**
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05)				

Respecto a la densidad real en los suelos de las dos zonas, se presentaron diferencias estadísticamente significativas con un p<0.05, siendo el valor más alto el de uso pecuario (2,24 g/cm^3) y ostentando una diferencia de 0,21 g/cm^3 en comparación a suelo de bosque. Una posible explicación a ello, se basa en que el valor de Dr cambia en función del tipo de minerales del material parental y de la cantidad de MO.

De acuerdo a lo anterior, el suelo de bosque Altoandino presentó un valor de MO mayor, ya que esté pesa mucho menos que un volumen igual de sólidos minerales (Buckman y Brady, 1977). Ante ello, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, (2004), reporta que los suelos ricos en MO poseen una densidad real por debajo de 2,65 g/cm^3, lo cual permite inferir que ambas zonas de estudio tienen un mayor contenido de MO, haciendo que la Dr sea menor. Además, según la investigación realizada por Cerón y García, (2009), en la cual evaluaron las propiedades fisicoquímicas de un suelo de bosque, fue posible apreciar que este presentó un valor de Dr de 2,4 g/cm3, valor que posiblemente puede estar relacionada con la presente investigación, debido a que ostentó una relación inversamente proporcional al contenido de MO, principalmente al mayor aporte de residuos orgánicos generados por las distintas especies vegetales sobre la parte superficial de este suelo.

Por otra parte, de acuerdo al estudio realizado por Molina et al. (2017), fue posible evidenciar que, un suelo de pradera presentó un valor de Dr de 2,33 g/cm^3, en comparación a un suelo de bosque, que ostentó un valor de

2,24 g/cm^3, lo cual permite deducir que, en las dos zonas de estudio influyó de una manera positiva el contenido de MO. Por lo cual, Chinchilla, Mata y Alvarado (2011) afirman que los suelos procedentes de cenizas volcánicas presentan altos contenidos de MO y valores de Dr que pueden oscilar entre 1,8 y 2,8 g/cm^3 respectivamente.

Textura

Tabla 12. *Análisis de la clase Textural de los suelos de estudio*

	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura
Uso pecuario	55,46	32,82	11,72	Franco arenosa
Bosque Altoandino	79,59	22,43	5,98	Franco arenosa

Respecto a la textura, el suelo de bosque Altoandino presentó mayor cantidad de arenas (79,59 %), en comparación al suelo de uso pecuario (55,46 %). Debido a que los suelos que se encuentran ubicados en laderas altas presentan una textura Franco arenosa, con predominio de condiciones fisicoquímicas adecuadas, lo cual quiere decir que, este suelo no presentó ningún tipo de alteración antrópica (Avella, Torres, Gómez & Pardo, 2014). Al mismo tiempo, el suelo de pradera presentó más cantidad de limos (32,82 %) y arcillas (11,72 %), respecto al suelo de bosque. De acuerdo a lo anterior, tanto el suelo de uso pecuario como el suelo de bosque, presentaron una textura franco-arenosa, denotando un alto contenido de arenas, lo cual es característico de los andisoles del departamento de Nariño.

Conclusiones

El suelo de bosque altoandino presentó las mejores condiciones fisicoquímicas respecto al suelo de uso pecuario.

El suelo de uso pecuario, posiblemente presentó una alta capacidad de resiliencia al proceso de degradación de tipo mecánico (pisoteo de animales), por lo cual no mostró unas condiciones fisicoquímicas totalmente degradadas.

El suelo de bosque altoandino ostentó una gran abundancia de especies vegetales con un mayor aporte de residuos vegetales y una alta cantidad de MO, la cual tuvo una influencia directa sobre otras propiedades, como Da, pH, CIC, CE, porosidad y contenido de humedad.

Referencias

Alarcón, C., Dorner, J., Dorota, D., López, I. & Balocchi, O. (2010). Efecto de dos intensidades de pastoreo sobre las propiedades hidráulicas de un Andisol (Duric Hapludand). *Agro Sur, 38*(1), 30-41.

Alcaldía Municipal de Túquerres. (2002). Plan de Ordenamiento Territorial 2002-2011. Recuperado de http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/t%C3%BAquerres%20-%20nari%C3%B1o%20-%20pbot%20-%2002%20-%2011.pdf.

Arteaga, J., Navia, J. y Castillo, J. (2016). Comportamiento de variables químicas de un suelo sometido a distintos usos, departamento de Nariño, Colombia. *Revista de Ciencias Agrícolas, 33*(2), 62-75. doi: 10.22267/rcia.163302.53

Avella, A., Torres, S., Gómez, W. y Pardo, M. (2014). Los páramos y bosques altoandinos del pantano de Monquentiva o pantano de Martos (Guatavita, Cundinamarca, Colombia): Caracterización ecológica y estado de conservación. *Biota Colombiana, 15*(1), 3-39.

Benavides, E., Morales, L. y Navia, J. (2015). Propiedades físicas y contenido de materia orgánica en diferentes usos del suelo en Samaniego, Colombia. *Agroforesteria Neotropical, 1*(5), 27-41.

Bernal, E. (2003). *Pastos y Forrajes tropicales, Producción y Manejo* (4.ª ed.). Colombia: Banco Ganadero.

Buckman, H. & Brady, N. (1977). *Naturaleza y propiedades de los suelos*. Barcelona: Montaner y Simón.

Burbano, H., Blasco, M. y Unigarro, A. (1988). Caracterización de suelos volcánicos de Nariño, Colombia, con énfasis en el componente biológico. *Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, 1*(1-2), 55-73.

Ccapa, B. (2014). *Criterios de estudio de suelos para zonas Altoandinas* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú. Recuperado de http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/2902/MTcccabn033.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cerón, P. y Gracia, H. (2009). Propiedades del suelo en bosque y pajonal, reserva natural pueblo Viejo, Nariño, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad e Divulgación Científica, 12*(1), 113-120.

Charry, J. (Ed.). (1987). *Naturaleza y Propiedades Físicas de los Suelos*. Palmira: Universidad Nacional.

Chinchilla, M., Mata, R. y Alvarado, A. (2011). Andisoles, Inceptisoles y Entisoles de la Subcuenca del Río Pirris, Región de Santos, Talamanca, Costa Rica. *Agronomía Costarricense, 35*(1), 83-107.

CORPONARIÑO. (2002). Plan de Gestión Ambiental Regional 2002-2012. Recuperado de http://corponarino.gov.co/expedientes/pgar20022012/pgar2002-2012.pdf

De Las Salas, G. (1987). *Suelos y ecosistemas forestales con énfasis en América tropical*, San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA.

Doner, J., Dec, D. Peng, X. & Horn, R. (2010). Effect of land use change on the dynamic behaviour of structural properties of an Andisol in southern Chile under saturated and unsaturated hydraulic conditions. *Geoderma, 159*(1-2),189-197. doi: 10.1016/j.geoderma.2010.07.011

Doornbos, B. (2015). El valor de los bosques altoandinos en asegurar agua y suelo en un contexto de creciente riesgo climático: ¿(re) conocemos lo imperdible? Perú. Recuperado de http://www.bosquesandinos.org/wp-content/uploads/2015/12/061115_articulo_n3.pdf

Fassbender, H. & Bornemizsa, E. (1994). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina* (2.ª ed.). Costa Rica: IICA.

Fernández, M. (2014). *Indicadores de calidad del suelo en áreas de pastoreo* (tesis doctoral). Universidad de Extremadura, España. Recuperado de http://dehesa.unex.es/bitstream/handle/10662/1621/TDUEX_2014_Pulido_Fernandez.pdf?sequence=1

Forsythe, W., Gavanade, S. & Gonzales, M. (1969). *Propiedades físicas de suelos derivados de cenizas volcánicas, considerado algunos suelos de América Latina*. Turrialba, Costa Rica: IICA.

Garrido V. (1993). Interpretación de análisis de suelos. *Hojas divulgadoras*, 5/93. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Recuperado de https://www.miteco.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf

Gonzales, M. y Nogues, E. (2012). Pisoteo animal y su efecto en la densidad aparente del suelo en un haplustol franco arenoso bajo diferentes manejos. *Divulgación técnica Agrícola y Agroindustrial*, 31, 1-9.

Herber, L. (2011). *Conductividad Eléctrica aparente como herramienta para delimitar zonas de Manejo Sitio Especifico en Maíz (Zea mays) en la Provincia de Corrientes* (tesis de maestría). Universidad Nacional de la Plata, Argentina. Recuperado de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/25089/Documento_completo__.%20G.%20Herber%20dic%202011.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Instituto Geografico Agustín Codazzi. (2004). Estudio general de suelos y zonificación de tierras departamento de Nariño. Recuperado de https://www.academia.edu/38164592/Estudio_General_de_suelos_y_zonificaci%C3%B3n_de_tierras_del_departamento_de_Nari%C3%B1o

Intragri, (s.f.). Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo [página en Internet]. Recuperado de https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo

Ivelic, J., Zuñiga, F., Valle, S., López, I., Dec, D. y Dorner, J. (2015). Funtional resistence and resilience of the pore system of an andisol exposed to different strategies of pasture improvement under sheep grazing. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 15*(3), 1-17.

Jaramillo, D. (2002). *Introducción a ciencia del suelo.* Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Kaplasnd, D. & Estes, G. (1985). Organic matter relationship to soil nutrient status and aluminum toxicity in alfalfa. *Agronomy Journal Abstrac, 77*(5), 735–738. doi:10.2134/agronj1985.00021962007700050017x

Lal, R. (2004). Soil carbón sequestration impacts on global change & food security. *Science, 304*(5677), 1.623-1.627. doi: 10.1126/science.1097396

Martínez, G., Vanderlinden, K., Giráldez, J., Espejo, A., Rodríguez, E., Ordoñez, R. y Muriel, J. (2009). Use of apparent electrical conductivity as secondary information for soil organic carbón spatial characterization. En O. Silva, J. Carrera (Eds.). *Estudios en la zona no saturada del suelo* (pp. 129-136). Barcelona: CIMNE.

Martínez-Gonzales, F., Sosa-Pérez, F. y Ortiz-Medel, J. (2010). Comportamiento de la humedad del suelo con diferente cobertura vegetal en la Cuenca la Esperanza. *Tecnología y Ciencia del Agua, antes de la Ingeniería hidráulica en México, 1*(4), 89-103.

Metson, A. (1956). *Methods of chemical analysis for soil survey samples.* Wellington, Nueva Zelanda: D.S.I.R.

Molina, D., Moreno, A., Navia, J., Castillo, J., Mosquera, J. y Benavides, F. (2017). Evaluación de propiedades fisicoquímicas en diferentes usos y manejos de suelo, Región Altoandina de Pasto. *Ciencias Agrícolas*, 1-34.

Osorio, S. (2010). La consistencia del suelo. Geotecnia. Recuperado de: http://geotecnia-sor.blogspot.com/2010/11/consistencia-del-suelo.html

Romero, J. (2012). *El bosque Alto-Andino: una oportunidad para llevar al educando al aprendizaje significativo a las estrategias de conservación* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. Recuperado de http://www.bdigital.unal.edu.co/8030/1/1186494.2012.pdf

Shaxson, F. y Barber, R. (2005). Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal el significado de la porosidad del suelo. *Boletín de suelos de la FAO* 79. Recuperado de http://www.fao.org/3/a-y4690s.pdf

Shoji, S., Fujiwara, Y., Yamada, I. & Saigusa, M. (1982). Chemistry and clay mineralogy of Ando soils, Brown Forest soils, and Podzolic soils formed from recent Towada ashes, northeastern Japan. *Soil Science, 133*(2), 69–86.

Shoji, S., Nanzyo, M. & Dahlgren, R. (1993). Volcanic Ash Soils Genesis, Properties and Utilization. EE. UU.: Elsevier Science.

Simón, M., Peralta, N. y Costa, J. (2013). Relación entre la conductividad eléctrica aparente con propiedades del suelo y nutrientes. *Ciencia del suelo, 31*(1), 45-55.

Vicuña, P. (1985). Pastos y forrajes de clima frio (cartilla 3). Bogotá. Recuperado de https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/446/12/vol3_pastos_clima_frio_op.pdf

Zambrano, G., Apráez, J. y Navia, J. (2014). Relación de las propiedades del suelo con variables bromatològicas de pastos, en un sistema lechero de Nariño. *Ciencias Agrícolas. 31*(*2*), 106-121. doi: 10.22267/rcia.143101.46

Zambrano, H. y Obando, V. (2013). *Determinaciòn de los factores edafoclimàticos que afectan la productividad y la calidad nutritiva del pasto kikuyo (pennisetum clandestinum), en el municipio de la Florida, departamento de Nariño* (tesis de pregrado). Universidad de Nariño, Colombia. Recuperado de http://biblioteca.udenar.edu.co:8085/atenea/biblioteca/89519.pdf.

Zehetner, F. & Miller, W. (2006). Soil variations along a climatic gradient in an Andean agro-ecosystem. *Geoderma, 137*(1-2), 126-134. doi: 10.1016/j.geoderma.2006.07.005

Zehetner, F., Miller, W. & West, L. (2003). Pedogenesis of Volcanic Ash Soils in Andean Ecuador. *Soil Science Society of America Journal, 67*(6), 1.797-1.809. doi: 10.2136/sssaj2003.1797

Evaluación de la eficiencia de un biofiltro artesanal con musgo español para depuración de Co_2

Daniel Esteban Montufar Padilla[118]
Claudia Lorena Duque Villa [119]

Resumen

La presente investigación evalúa la capacidad del musgo español (*Tillandsia Usneoides*) para depurar concentraciones de dióxido de carbono en el aire. Para ello se realizó una caracterización del musgo, de la cual los aspectos más relevantes fueron: la toma de la muestra, la forma de cultivar, el estudio taxonómico y la evolución del musgo. Posteriormente, se construyó un sistema a escala laboratorio que tuviera la generación de emisiones de CO_2 en un hogar combustor, un medio filtrante y un pistón elaborado para retirar el volumen de aire del biofiltro, justo antes de que el CO_2 del combustor entre al biofiltro. Finalmente, se utilizó un analizador de gases que mide la concentración de CO_2 en el combustor y en el biofiltro, de modo que fuera posible evaluar si la biomasa dentro del filtro era capaz de asimilar el gas entrante.

Los resultados más relevantes de la investigación están centrados en que el musgo español posee la capacidad de adaptarse a condiciones ambientales diferentes a las habituales; asimismo, el estudio taxonómico, fisiomorfológico y el seguimiento de la planta concluyen que el género de la planta pertenece a las bromelias y no a los musgos, y posee una buena capacidad de transformación de dióxido de carbono a oxígeno.

[118] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: damontufar@umariana.edu.co

[119] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: lduque@umariana.edu.co

Palabras clave: analizador de gases, caracterización, biofiltro, control de contaminación atmosférica, dióxido de carbono, musgo español.

Evaluation of the efficiency of an artisanal biofilter with Spanish moss for Co_2 Purification

Abstract

The present investigation evaluates the ability of Spanish moss (*Tillandsia usneoides*) to purify concentrations of carbon dioxide in the air. For this, a characterization of the moss was carried out, where the most relevant aspects were: the taking of the sample, the way of cultivating, taxonomic study and evolution of the moss. Subsequently, a laboratory-scale system was built that would generate CO_2 emissions in a combustor hearth, a filtering medium and a piston designed to remove the volume of air from the biofilter just before the CO_2 from the combustor enters the biofilter. Finally, a gas analyzer that measures the concentration of CO_2 in the combustor and in the biofilter was used, so that it were possible to evaluate if the biomass inside the filter was capable of assimilating the incoming gas.

The most relevant research results are focused on the ability to adapt of Spanish moss to different environmental conditions than usual; also, the taxonomic, physomorphological study and the monitoring of the plant conclude that the genus of the plant belongs to the Bromeliads and not to the mosses, and has a good capacity of transformation of carbon dioxide to oxygen.

Key words: gas analyzer, characterization, biofilter, air pollution control, carbon dioxide, Spanish moss.

Avaliação da eficiência de um biofiltro artesanal com musgo espanhol para purificação de CO_2

Resumo

A pesquisa experimental é da capacidade do musgo español (*Tillandsia Usneoides*) para depurar concentraciones de dióxido de carbono no ar. Para ello, se realiza uma caracterização do musgo, sobre os aspectos mais relevantes do fueron: a toma da mestra, a forma de cultivar, o estéreo taxonómico e a evolução do musgo.

Posteriormente, construindo um sistema de tratamento de calor que produz a geração de CO_2 em um combustor de combustão interna, um meio de filtração e uma pistola elaborada para extrair o volume de ar do biofiltro justo antes do CO_2 do combustor entre o biofiltro.

Finalmente, utilizando um analisador de gases de combustão, a concentração de CO_2 no combustor e o biofiltro de modo a que possa ser avaliada e a biomassa dentro do filtro, é capaz de asimilar o gás entrante.

Resultados mais relevantes da pesquisa fueron: el musgo español posée la capacidade de resolver a condiciones ambientais diferentes a usuales, el eston taxonómico, fisiomorfologico y el seguimiento de la planta concluye que o género de planta a las bromelias y no a los musgos, y that posee una buena capacidad de transformación de dióxido de carbono a oxígeno.

Palabras clave: caracterização, biofiltro, musgo español, dióxido de carbono, analisador de gases, controle de contaminação aérea.

Introducción

Los continuos procesos de transformación del hombre, el crecimiento demográfico y la necesidad de mejorar la calidad de vida de todas las personas desde la revolución industrial, han traído como consecuencias actuales los diferentes fenómenos de contaminación, uno de ellos se evidencia en el cambio climático. Asi las cosas, uno de los problemas ambientales más relevantes ha sido el aumento de gases de efecto invernadero, los cuales en conjunto han generado la alteración de las condiciones ambientales, tales como sequías, inundaciones, pérdida de bosques, enfermedades, etc.

Por lo anterior, desde un enfoque ambiental, se buscó desarrollar un estudio en el cual fuese posible mitigar al menos uno de los gases de efecto invernadero, que año tras año viene aumentando. Este gas es el dióxido de carbono (CO_2), el cual es producido por múltiples fuentes, tanto naturales como antrópicas. A partir de ello, se seleccionó una planta que tuviera la función de medio filtrante y, a la vez, se realizó una revisión bibliográfica, donde se encontró que, en Europa, exactamente en Alemania, el musgo es utilizado en estructuras denominadas paredes verdes, las cuales poseían una alta eficiencia para depurar (CO_2) producto de automóviles e industrias en su mayoría.

Con base en ello, en la presente investigación se seleccionó una planta, que se encuentra en el departamento de Nariño, conocida como musgo español. Posteriormente, se planteó la siguiente hipótesis: el musgo español removería al menos un 50 % de dióxido de carbono; y se planteó un objetivo general: evaluar la eficiencia de depuración de (CO2) de la planta en un sistema a escala laboratorio, junto con 3 objetivos específicos, para lograr el objetivo general, a saber:

- Caracterizar y adaptar el musgo español a condiciones ambientales del campus Alvernia, que le permitan la remoción de (CO2) dentro del biofiltro.
- Diseñar y construir a escala laboratorio un biofiltro artesanal con musgo español.
- Determinar la depuración de emisiones de dióxido de carbono que posee un biofiltro artesanal.

Con base en la documentación estudiada y teniendo los implementos necesarios para empezar a desarrollar la investigación, se puso en marcha las acciones requeridas para cada objetivo.

Desarrollo

Para realizar la caracterización y adaptación del musgo español a condiciones ambientales del campus Alvernia que le permitan la remoción de CO_2 dentro del biofiltro, se tuvo en cuenta varios factores, los cuales se menciona a continuación:

Toma de muestra

Para llevar a cabo el desarrollo de este objetivo, inicialmente se tuvo que extraer una pequeña muestra de una finca ubicada en la vereda el Capulí, municipio de Iles. Cabe mencionar que, se procuraron medidas cautelosas para tomar la muestra, que fue aproximadamente de 2.5 kg, con el fin de no ocasionar un daño dentro del ecosistema. Para ello, fue necesario tomar pequeñas muestras de entre 30 y 50 gramos de musgo por cada árbol, ya que en esta medida se evita generar un impacto negativo en el posible hábitat de algunos animales que utilicen la planta para su propio beneficio. En la Figura 1 se observa parte de la muestra obtenida de uno de los árboles de la zona.



Figura 1. Esquema de evolución del musgo barba vieja.

Cultivo y mantenimiento

El musgo español fue trasladado hasta la sede de la universidad Mariana campus Alvernia, en donde fue dispuesto en una zona boscosa, exactamente en árboles de gran rugosidad, puesto que se comprobó que el musgo se adapta perfectamente a estos, y no a árboles de superficie lisa; esto se llevó a cabo entre los meses de agosto y septiembre de 2017. Una vez se adaptó la muestra de musgo se realizó un mantenimiento básico, hidratándolos una vez a la semana.

Definición taxonómica

De acuerdo a diferentes fuentes bibliográficas, fue posible sintetizar a través de la Tabla 1, la taxonomía de la planta, que permite identificar las características de la misma,

Tabla 1. *Taxonomía del musgo español*

Taxonomía del musgo español	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Bromelacieae
Genero	Tillandsia
Subgenero	Diaphoranthema
ESPECIE	Tillandsia usneoides

Fuente: Mundo de la Red Naturista, 2018.

Evolución y seguimiento del musgo español

Cabe mencionar que, en el mundo de la biología, a este tipo de planta, algunos biólogos la describen netamente como un musgo. Por otra parte, existen biólogos que consideran que el musgo español se asemeja más a un liquen, que se define abstractamente como una relación simbiótica entre un hongo y un alga.

Al cabo de dos meses, algunas muestras de musgo español se desarrollaron a plenitud, es decir, en un primer aproximamiento se empezó a detallar la evolución de este espécimen. Es importante destacar que el brote de flores en esta especie es muy raro, lo cual indica que la planta tiene un pleno desarrollo. Por otra parte, al cultivar la muestra madre y ver el desarrollo sin complicaciones de la planta, se determinó que el musgo barba vieja posee propiedades facultativas, es decir, puede adaptarse a las condiciones del medio ambiente (precipitaciones, radiación solar, temperatura, entre otros factores meteorológicos). En la Figura 1 se evidencia el seguimiento y registro fotográfico de la planta en un lapso de dos meses.

Mecanismo de transformación y desarrollo

En contraste, se realizó una revisión bibliográfica para entender de mejor manera cual es el proceso de transformación del (CO_2) que realizan las plantas, específicamente el musgo español. Generalmente existen tres clasificaciones de transformación que pueden desarrollar las plantas, también llamados mecanismos de respiración, estos son C_3, C_4 y CAM.

Las plantas clasificadas como C_3 (plantas normales) no poseen adaptaciones especiales para llevar a cabo el proceso de fotorespiración, y realizan sus procesos regulares durante el día únicamente. Se denominan C_3 por el número de carbonos (3) que posee la encima 3-PGA, la cual interviene en el ciclo de Calvin en la fotosíntesis. Se estima que, del reino vegetal, aproximadamente el 85 % poseen esta condición, entre ellos: el arroz, el trigo, la soya y todos los árboles (Khan academy, s.f.).

> Las plantas C_4, en las cuales las reacciones dependientes de la luz y del ciclo de Calvin están separadas físicamente: las reacciones dependientes de la luz se producen en las células del mesófilo (tejido esponjoso en el centro de la hoja) y el ciclo de Calvin ocurre en células especiales alrededor de las venas de la hoja. Estas células se llaman **células del haz vascular**. (Khan academy, s.f.).

Finalmente, se encuentran las plantas CAM (*Crasulaseas acid metabolism*) a la cual pertenece la especie *Tillandsia usneoides* (musgo español), las cuales se puede inferir que son un subconjunto de las plantas C_4. Se caracterizan por llevar a cabo su proceso de fotosíntesis en 2 ciclos, durante el día y durante la noche. En la primera etapa, que ocurre en la noche, la planta abre sus estomas y de esta manera realiza fijación de dióxido de carbono (CO_2) temporalmente, lo cual ocurre dentro de las células del mesófilo, cabe mencionar que la planta no sufre el riesgo de perder vapor de agua. Esta fijación de (CO_2) ocurre por la enzima fotosintética llamada fosfoenol piruvato carboxilasa (Pepc). Al mezclarse la (Pepc) con el (CO_2) la transformación que generan se denomina malato o ácido málico, una cadena de 4 carbonos que se almacena en las vacuolas. Cuando ocurre este fenómeno se afirma que es la forma como la planta hace fijación o guarda dióxido de carbono durante la noche. Durante el día, la planta cierra sus estomas para evitar perder vapor de agua y la fotosíntesis se da cuando el malato sale de la vacuola y queda inmerso dentro del cloroplasto. Aquí el ácido málico sufre un proceso de división del cual se genera piruvato, que son azucares que produce la planta, y dióxido de carbono. Este dióxido de carbono entra en el proceso de transformación del ciclo de Calvin el cual permite convertir el (CO_2) en (O_2) (Khan academy, s.f.).

Resultados de la caracterización

Dentro de la información adquirida, el continuo seguimiento a través de fotografías de la evolución de la planta, la taxonomía recopilada de fuentes bibliográficas y el respaldo de la bióloga María Elena Solarte de la Universidad de Nariño, permiten inferir que el musgo español realmente no pertenece a la especie de musgo, es decir, no son briofitas, y por el contrario se asemeja más a las características de una Bromelia. Además de ello, en la Figura 1 se puede apreciar el surgimiento de flores en múltiples brotes y sus características morfológicas, e incluso el hecho de ser una epífita, es decir que, para subsistir depende de otra planta, permiten respaldar la teoría de que el musgo barba vieja (*Tillandsia usneoides*) pertenece al género Bromelia.

Como anexo, cabe resaltar que su nombre científico, bien permitiría afirmar que al ser del grupo usnea, podría clasificarse como un liquen y no como Bromelia o musgo, sin embargo, el género *Tillandsia* permite ratificar que sus características son las de una Bromelia.

Diseñar y construir a escala laboratorio un biofiltro artesanal con musgo español

Materiales de construcción y diseño convencional

Para el desarrollo del segundo objetivo fue necesario, inicialmente realizar un diseñó de un esquema-prototipo, en el cual fuera posible recrear un ciclo que contemple las fases de generación, control y medición; procesos que ocurren o deberían ocurrir en un sistema que tenga por finalidad realizar combustión. En este caso específico, el sistema creado para el presente trabajo trabaja netamente con carbón vegetal. No obstante, el sistema puede trabajar con cualquier tipo de combustible, siempre y cuando se logre la generación de dióxido de carbono, dado que es el gas a mitigar.

Una vez se realizó el diseño del sistema, como primera medida, se construyó un horno denominado hogar, en el cual se realiza la generación de dióxido de carbono (CO_2) controlada, para ello se contó con los siguientes materiales:

- Lata de aluminio.
- Manguera de gas.
- Válvula reguladora de gas (llave mariposa de cristal).

Es importante inferir que este mencionado hogar de combustión posee algunas características particulares, como su forma, la cual permite que el flujo de gas sea continuo sin que tenga algún tipo de obstrucción, y por otra parte cuenta con dos orificios que tienen una funcionalidad particular, el primero diseñado exclusivamente para introducir la lanceta del analizador de gases “Bacharach”, que tiene por función indicar el porcentaje de (CO_2), que puede almacenarse en el hogar producto de la combustión de carbón vegetal. En cuanto al otro orificio busca que la válvula reguladora calce para que no se generen fugas y, a su vez, controle el paso de gases.

En segundo lugar, para la construcción del biofiltro fueron necesarios los siguientes materiales:

- Botella PET de 3 litros.
- Corcho.
- Musgo Barba Vieja (*Tillandsia usneoides*).
- Cinta aislante.

Finalmente, se elaboró un pistón con una capacidad de 3 litros, con el propósito de retirar el aire contenido dentro del biofiltro antes de entrar el gas a depurar (CO_2), el cual viaja a través de la manguera y entra al biofiltro, accionando la llave mariposa de cristal. En la Figura 2 se puede ver el diseño del sistema y en la Figura 3 se puede apreciar el sistema ya construido y puesto en marcha.

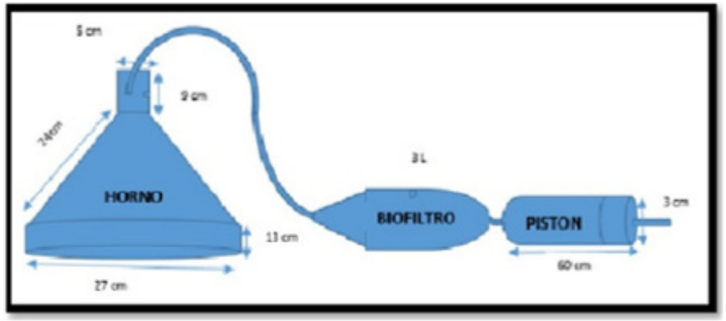


Figura 2. Diseño de prototipo del biofiltro.



Figura 3. Sistema construido y puesto en marcha.

Determinar la remoción de emisiones de dióxido de carbono a través del biofiltro

Análisis de funcionamiento del sistema construido

El sistema construido posee 3 componentes, en el hogar se realiza la combustión de carbón vegetal (500 g), de los cuales reaccionan 375 g y solo 125 g quedan sin reaccionar. Posteriormente, el gas viaja a través de una manguera y llega hasta el filtro, el cual ya tiene la cantidad de biomasa de musgo español (100 g), entonces el pistón retira el volumen de aire del biofiltro para que entre el gas con (CO_2) y la planta pueda realizar su función metabólica, con el analizador de gases (Bacharach) se toma las concentraciones, desde la concentración total hasta la concentración final, esto se hace cada 5 minutos. (Ver Tabla 2).

Tabla 2. *Datos de CO_2 por combustión tomados por el bacharach*

Tiempo de Estabilización(s)	% de Concentración de CO2
30	13,5
60	14,6
90	15,4
120	16,8
150	17,5
180	18,6
210	18,8
240	18,8
270	18,8
300	18,8

Posteriormente, cuando se deja entrar el gas hasta el biofiltro, se verifica que las concentraciones sean las mismas de la salida, es decir, 18,8 % y se espera que la biomasa cumpla su función depuradora, para ello se realiza una toma de muestra cada 5 minutos. (Ver Tabla 3).

Tabla 3. *Datos de depuración de CO_2 por el biofiltro*

Tiempo (min)	Concentracion CO2 (%)
0	18,8
5	18,4
10	17,5
15	16,8
20	14,9
25	13,7
30	11,3
35	8,7
40	6,3
45	5,8
50	5,3
55	5
60	4,7

A la vez se realizó la misma prueba para la toma de oxígeno, tomando los datos cada 5 minutos. (Ver Tabla 4).

Tabla 4. *Datos de depuración de O_2 por el biofiltro*

Tiempo (min)	Concentracion O_2 (%)
0	0,2
5	1,2
10	2,7
15	4,1
20	5,7
25	6,4
30	8,1
35	9,3
40	10,2

45	11,6
50	12,8
55	14,3
60	15,7

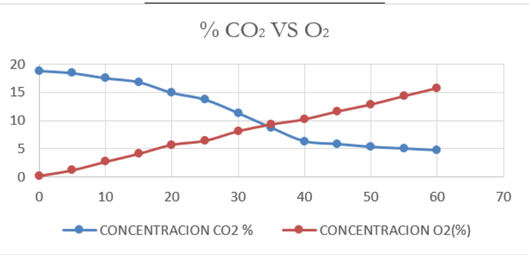


Figura 4. Relación porcentaje de CO_2 vs O_2.

En la Figura 4 se muestra la relación inversamente proporcional, mientras la concentración de CO_2 disminuye el O_2 aumenta, lo cual es producto de la función metabólica de la planta, demostrando que sí hay depuración por parte de ésta y que posee una eficiencia cercana al 76 %.

Conclusión

Bajo las condiciones ambientales que posee el campus Alvernia de la Universidad Mariana, el musgo español logró evolucionar a plenitud, desarrollando flores, lo cual se genera bajo condiciones especiales. Además de ello, pudo inferirse que el análisis fisiomorfológico realizado, el estudio de su taxonomía y demás características fueron un soporte válido para denominar el género de esta planta como una Bromelia mas no como musgo, y finalmente, fue posible afirmar que las condiciones bajo las cuales se desarrolló esta planta influyeron en la alta capacidad para depurar dióxido de carbono en un sistema construido a escala laboratorio, alcanzando una remoción del 76 %, superando así la expectativa propuesta en la hipótesis.

Referencias

Khan academy. (s.f.). Plantas C3, C4 y CAM. Recuperado de https://es.khan-academy.org/science/biology/photosynthesis-in-plants/photorespiration--c3-c4-cam-plants/a/c3-c4-and-cam-plants-agriculture

Movilidad de plaguicidas mediante el Modelo Aquatox, en la laguna de La Cocha, municipio de Pasto

Erwin Gaviria Garces[120]
Luis Alejandro Arturo Chaves[121]
Mario Alberto Jurado Eraso[122]

Resumen

La investigación pretende modelar la movilidad de plaguicidas derivados de actividades agropecuarias en la laguna de La Cocha mediante el modelo AQUATOX. Para esto se configuró el patrón para los plaguicidas: DDT y Dieldrín. Para su configuración se tuvo en cuenta, principalmente, información secundaria. No obstante, parte de la información requerida se llevó a cabo mediante recolección de muestras durante el segundo semestre del año 2018. El modelo AQUATOX 3.1 Plus es un modelo integral, general y mecanicista del destino y los efectos de los contaminantes, como nutrientes y sustancias químicas orgánicas sobre los ecosistemas acuáticos, incluidos peces, invertebrados y plantas acuáticas. AQUATOX está diseñado para simular la movilidad de microcontaminantes en estanques, lagos, arroyos (riachuelos o ríos), embalses, recintos experimentales y estuarios. La flexibilidad que posee este modelo permite adaptar con facilidad las características químicas, biológicas y físicas de cuerpos de agua lénticos y, a la vez, visualizar los resultados de manera cómoda por medio de gráficos dinámicos, en donde se relaciona las variables de estado del ecosistema.

Palabras clave: AQUATOX, calidad del agua, ecosistema, ecotoxicología, EPA, modelación ambiental, movilidad, plaguicidas, simulación.

[121] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: egaviria@umariana.edu.co

[122] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: luarturo@umariana.edu.co

[123] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: majuradoe@umariana.edu.co

Mobility of pesticides through the Aquatox Model in La Cocha lagoon, Pasto, Nariño

Abstract

The research aims to model the mobility of pesticides derived from agricultural activities in La Cocha lagoon using the AQUATOX model, for which the pattern for pesticides DDT and Dieldrin was established. For its configuration, mainly secondary information was taken into account and, part of the required information was carried out through sample collection during the second half of 2018. The AQUATOX 3.1 Plus model is an integral, general and mechanistic model of the destination and the effects of pollutants, such as nutrients and substances organic chemicals on aquatic ecosystems, including fish, invertebrates and aquatic plants. AQUATOX is designed to simulate the mobility of microcontaminants in ponds, lakes, streams (or rivers), reservoirs, experimental enclosures and estuaries. The flexibility of this model allows to easily adapting the chemical, biological and physical characteristics of lentic water bodies and, at the same time, to visualize the results in a comfortable way by means of dynamic graphs, in which the ecosystem state variables are related.

Key words: AQUATOX, water quality, ecosystem, ecotoxicology, EPA, environmental modeling, mobility, pesticides, simulation

Mobilidade de pesticidas através do Modelo de Aquatox, na laguna de La Cocha, municipio de Pasto

Resumo

A pesquisa tem como objetivo, modelar a mobilidade de pesticidas derivados de atividades agrícolas na lagoa de La Cocha usando o modelo AQUATOX, para o qual foi estabelecido o padrão para pesticidas DDT e Dieldrin. Para sua configuração, as informações secundárias foram consideradas principalmente, e parte das informações necessárias foi realizada através da coleta de amostras durante o segundo semestre de 2018. O modelo AQUATOX 3.1 Plus é um modelo integral, geral e mecanicista do destino e dos efeitos poluentes, tais como nutrientes e substâncias químicas orgânicas nos ecossistemas aquáticos, incluindo peixes, invertebrados e plantas aquáticas. O AQUATOX foi projetado para simular a mobilidade de microcontaminantes em lagoas, lagos, córregos (riachos ou rios), reservatórios, recintos experimentais e estuários. A flexibilidade deste modelo permite adaptar facilmente as características químicas, biológicas e físicas dos corpos d'água lênticos e, ao mesmo tempo, visualizar os resultados de maneira confortável por meio de gráficos dinâmicos, nos quais as variáveis de estado do ecossistema estão relacionadas.

Palavras-chave: AQUATOX, qualidade da água, ecossistema, ecotoxicología, EPA, modelagem ambiental, mobilidade, pesticidas, simulação.

Introducción

En 1950, a nivel global, se dio inicio a lo que se conoce como revolución verde, esta tuvo como objetivo incrementar las tasas productivas a base de la agricultura extensiva y el uso de tecnologías, como la introducción de plaguicidas y fertilizantes químicos de gran potencia para mejorar el crecimiento de los cultivos y controlar las plagas. En vista de que estas tecnologías obtenían resultados positivos en cuanto a producción, los países en vía de desarrollo y gran potencial agrícola, como Colombia, decidieron adoptar dichas políticas de manera no selectiva y excesiva, con el fin de solventar de manera rápida la crisis económica de la época (Ceccon, 2008; Kalmanovitz y López, 2003; Leonard y Toro, 2010).

En este orden de ideas, conviene subrayar que en el departamento de Nariño, la agricultura es una de las principales actividades económicas. No obstante, debido posiblemente a la agricultura extensiva, esta actividad se ha realizado en zonas donde sus condiciones geológicas, geográficas y climáticas no favorecen los cultivos, haciendo necesario el uso de plaguicidas para su cuidado como es el caso del corregimiento El Encano, en donde las poblaciones aledañas a las orillas de la laguna de La Cocha basan su economía en la agricultura y cultivo de trucha (Viloria, 2007; Duque, 2016).

De hecho, los agricultores han buscado extender sus cultivos hacia zonas de alta montañosa, con el fin de aprovechar los suelos del lugar. Bajo esta perspectiva, a razón de que las características fisicoquímicas de estos suelos no son ideales para llevar a cabo las actividades agrícolas, el gobierno introdujo desde 1970 paquetes tecnológicos de agroquímicos como el *Furadan, Roxión, Dithane M-45, Dithane M-22, Antracol, Ridomil o Manzate*, con la finalidad de garantizar a los agricultores la calidad de sus cultivos (Duque, 2016; Instituto Alexander Von Humbolt, World Wildlife Fund, Asociación para el Desarrollo Campesino, 2004).

Considerando lo anterior, la presente investigación se centra en la modelación piloto de la movilidad de algunos plaguicidas dentro del sistema lacustre, La Cocha en el departamento de Nariño al sur de Colombia, mediante la configuración del modelo AQUATOX, desarrollado para explorar la movilidad de compuestos orgánicos tóxicos dentro de la red trófica. Para la configuración, fue necesaria información con respecto a la caracterización hidrometeorológica y fisicoquímica, así como los análisis de fitoplancton, perifiton, invertebrados y de peces realizados en la laguna.

En este sentido, surge el interés de llevar a cabo una modelación piloto en la laguna de La Cocha, especialmente, porque en el Decreto 698 de 2000 (Ministerio del Medio Ambiente), se designa a este sitio como Humedal de Importancia Internacional Ramsar. Así pues, es importante desarrollar este tipo de investigaciones con el fin de proteger y conservar la biodiversidad del sistema.

Para el desarrollo de la investigación, se tuvo en cuenta información reportada por la literatura científica y estudios regionales sobre la laguna de La Cocha, que proporcionaron información básica para alimentar el modelo (López, 2014; González, 2017).

Metodología

Para el desarrollo de la investigación se siguió la metodología planteada en la Figura 1.

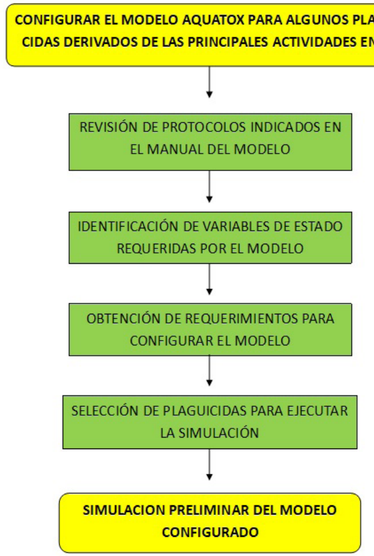


Figura 1. Diseño metodológico de la investigación.

Resultados

AQUATOX 3.1 plus es un modelo integral, general y mecanicista del destino y los efectos de contaminantes, como nutrientes y sustancias químicas orgánicas complejas, sobre los ecosistemas acuáticos, incluidos peces, invertebrados y plantas acuáticas. AQUATOX está diseñado para simular estanques, lagos, corrientes superficiales, embalses, recintos experimentales y estuarios. De esta manera, este modelo se convierte en una herramienta muy útil para estudios de calidad del agua (Park y Clough, 2014). En la Figura 2 se presenta el proceso de configuración y ejecución del modelo. La configuración del modelo AQUATOX 3.1 para la laguna de La Cocha, se realizó mediante la recolección de información secundaria. Las variables corresponden a información sobre la cadena trófica (plantas, invertebrados y peces) y a las condiciones del sitio de estudio (nutrientes y características morfológicas e hidrológicas del sitio).

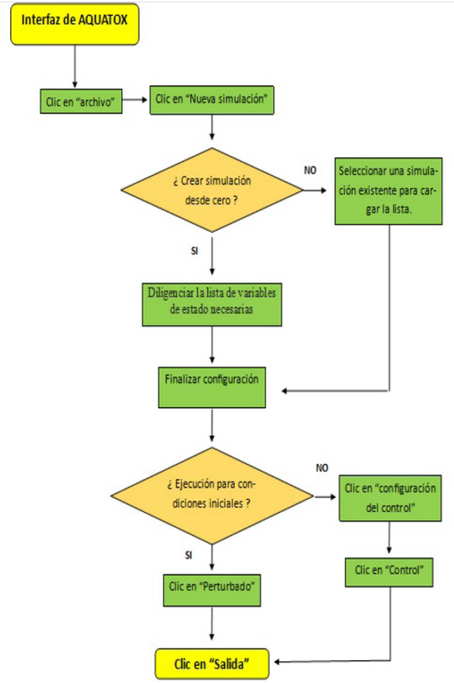


Figura 2. Configuración de un estudio en AQUATOX 3.1

La cadena trófica para este estudio está fundamentada básicamente en la Resolución No. 1006 de CORPONARIÑO (2015), "por medio de la cual se establecen unas acciones, medidas y/o restricciones para los proyectos piscícolas o acuícolas en jaulas flotantes, ubicadas en el Lago Guamués" (p. 1) (comúnmente laguna La Cocha). La resolución señala un estudio elaborado por el grupo de investigaciones ambientales del programa de ingeniería Ambiental de la Universidad Mariana en el año 2014. En dicha investigación se encontró información sobre análisis de fitoplancton, perifiton y macro invertebrados bentónicos, de las cuales solo una especie de cada segmento fue compatible con la biblioteca del modelo: *Diatomea, Cladophora* y *Chironomidae* respectivamente. Es necesario mencionar que también se adoptó a la pulga de agua o *Daphnia* para la simulación, debido a que es un crustáceo de agua dulce y habita en medios acuáticos, desde charcos hasta ríos, incluyendo cuerpos de agua lenticos(Ortega y Reyes, 1998). Las concentraciones fueron tomadas de modelos preestablecidos proporcionados por AQUATOX 3.1 plus, que sirvieron como base para los estudios de interés, teniendo en cuenta similitudes en cuanto a la temperatura y pH del agua del lago Guamués. (Ver Figuras 3 y 4).



Figura 3. Condiciones iniciales Invertebrados.

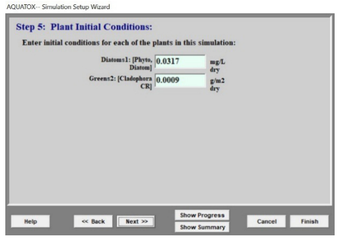


Figura 4. Condiciones iniciales Plantas.

La actividad fundamental de esta región es el cultivo de trucha Arcoíris, por lo tanto, este pez es el nivel más alto de la cadena trófica propuesta (Instituto Alexander Von Humbolt, et al., 2004). La concentración fue obtenida como resultado de una encuesta realizada a 5 piscicultores en el lago Guamués (ver Figura 5). En la Figura 6 se puede observar la matriz de interacción trófica que ofrece AQUATOX 3.1 plus, configurada para la red trófica que se simula en la presente investigación.



Figura 5. Condiciones iniciales, Trucha arcoíris.

	Chironomid	Daphnia	Rainbow Trout
R detr sed		1.0	
L detr sed	76.9	99.0	
R detr part			
L detr part			
Phyto, Diatom	15.4		
Cladophora CR	7.7		
Chironomid			50.0
Daphnia			25.0
Rainbow Trout			25.0

Figura 6. Matriz de interacción trófica.

Las condiciones del sitio de estudio se basan en estudios realizados en la laguna de La Cocha (ver Figura 6-11). Los datos de longitud, área superficial, profundidad media y latitud son tomados de la investigación: *Impacto ambiental de la acuicultura intensiva en los componentes agua y sedimento en el lago Guamuez, Nariño* (González, 2017). La evaporación media total anual fue extraída del estudio: *Balance* **hídrico del lago G***uamués y relación de su variabilidad con precursores climáticos enso y pdo* (Duque, 2016). Los datos correspondientes al volumen del agua, velocidad del viento, DBO_5, carga de luz y pH del agua fueron extraídos de la investigación: *Evaluación de la calidad del agua a través del estado trófico y la estratificación térmica, en la laguna de La Cocha, municipio de Pasto* (López, 2014). Los datos son proporcionados por el Ministerio del Medio Ambiente. CORPONARIÑO.

Después de lo anterior, se eligieron las concentraciones de los plaguicidas (DDT y Dieldrín), según el estudio de Ebanjs (2015), los niveles tomados fueron: 16 µg L-1 para Dieldrín y 43 µg L-1 para DDT.

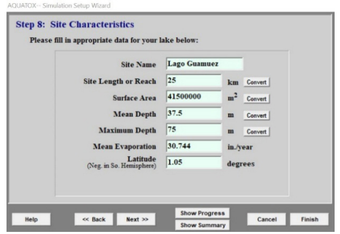


Figura 7. Características del sitio.

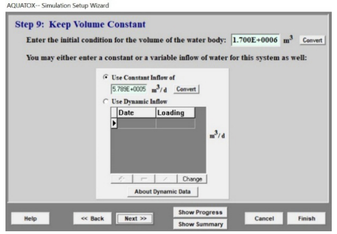


Figura 8. Volumen de agua.



Figura 9. Temperatura del agua.

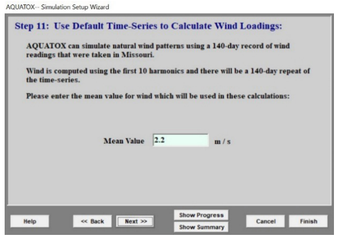


Figura 10. Velocidad del viento.



Figura 11. Carga de luz.



Figura 12. pH del agua.

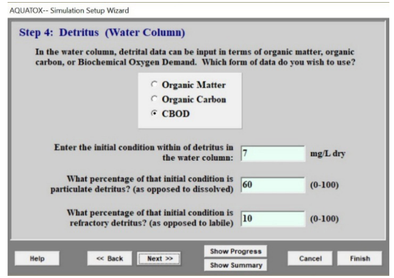


Figura 13. Detrito en la columna de agua.

En los resultados de la simulación para un periodo de 2 meses, las trazas de DDT alcanzaron los niveles más altos de la cadena trófica con una concentración máxima de $1.47*10^{15}$ µg kg-1 para la trucha arcoíris, en cuanto a los invertebrados se obtuvieron concentraciones máximas de $1.38*10^{13}$ µg kg-1 y $2.46*10^{13}$ µg kg-1 pra Chironomidae y Daphnia respectivamente (ver Figura 13). Con respecto a las plantas, la concentración máxima es alcanzada en Cladophora con $5.77*10^{9}$ µg kg-1 y la concentración más baja se encuentra en Diatomea con $3.24 *10^{9}$ µg kg-1 (ver Figura 14).

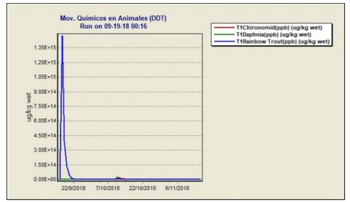


Figura 14. Mov. Químicos en Animales, DDT.

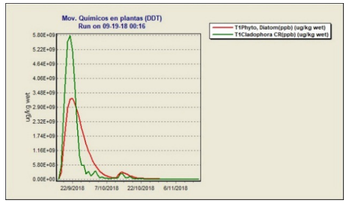


Figura 15. Mov. Químicos en plantas, DDT.

Por otra parte, las trazas de Dieldrín consiguieron transportarse hasta el nivel más alto de la cadena alimenticia con una concentración inferior a la alcanzada por el DDT, pero sin una diferencia altamente significativa, cabe resaltar que la concentración en el agua de Dieldrín es mucho más baja a la del DDT. La trucha arcoirís obtuvo una concentración máxima de $6.01*10^{14}$ µg kg-1, Daphnia con $7.58*10^{13}$ µg kg-1 y Chironomidae con $3.86*10^{13}$ µg kg-1 (ver Figura 15). En la vegetación acuática, Cladophora obtuvo $2.17*10^{8}$ µg kg-1 y Diatomea con $1.40 *10^{8}$ (ver Figura 16).

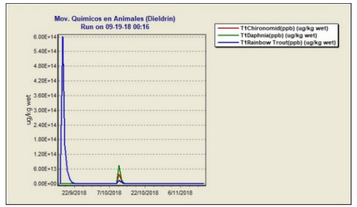


Figura 16. Mov. Químicos en Animales, Dieldrín.

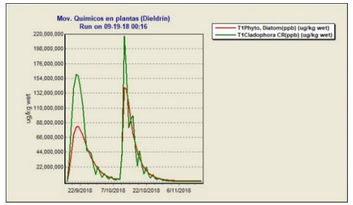


Figura 17. Mov. Químicos en plantas, Dieldrín.

Conclusión

Es posible que exista movilidad de plaguicidas en las interacciones tróficas del ecosistema de la laguna de La Cocha. En los resultados de la simulación se observa que algunos compuestos organoclorados como el DDT y el Dieldrín posiblemente se podrían transportar por bioacumulación hasta los niveles más altos de la cadena alimenticia planteada, también indican que existe el riesgo de que los plaguicidas se transporten por bioacumulación hasta llegar a los seres humanos, a razón del alto comercio de trucha arcoíris en la laguna de La Cocha, lo cual podría derivar en afecciones sobre la salud de los consumidores.

Referencias

Ceccon, E. (2008). La revolución verde tragedia en dos actos. *Ciencias, 1*(91), 21-29.

CORPONARIÑO. (2015). Resolución 1006. Por medio de la cual se establecen unas acciones, medidas y/o restricciones para los proyectos piscícolas o acuícolas en jaulas flotantes ubicadas en el lago Guamués o laguna de La Cocha del corregimiento El Encano, municipio de Pasto, departamento de Nariño. Recuperado de http://corponarino.gov.co/expedientes/juridica/2015resolucion1006.pdf

Duque, C. (2016). *Balance Hídrico del Lago Guamués y Relación de su Variabilidad con Precursores Climáticos ENSO y PDO* (tesis de maestría). Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Colombia. Recuperado de http://peerlagoscolombia.udea.edu.co/lakes/documents/Tesis%20Claudia%20Cocha%202016.pdf

Ebanks, B., Suárez, J., Estrada, E., Montoya, J., Mairena, D., Flores, A.,... Valencia, P. (2015). Concentración de plaguicidas en agua, sedimentos y ostiones (Crassostrea rizophorae) de la Laguna Bluefields, RAAS, Nicaragua. *Wani, 67*(2013), 49-54. doi: https://doi.org/10.5377/wani.v67i0.1889

González, E. (2017). *Impacto ambiental de la acuicultura intensiva en los componentes agua y sedimento en el lago Guamuez, Nariño* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia. Recuperado de http://bdigital.unal.edu.co/56511/1/2017%201085262058.pdf

Humbolt, I. Von. (2004). PROYECTO DE INCENTIVOS PARA LA LAGUNA DE LA COCHA COMO SITIO RAMSAR. San jua de Pasto, Colombia: WWF, ADC.

Instituto Alexander Von Humbolt, World Wildlife Fund, Asociación para el Desarrollo Campesino. (2004). Proyecto de Incentivos para la Laguna de La Cocha como Sitio Ramsar (Informe Final Primera Fase). Recuperado de file:///C:/Users/UMARIANA/Downloads/proy_incentivos_para_laguna_de_la_cocha_como_sitio_ramsar%20(1).pdf

Kalmanovitz, S. y López, E. (2003). La Agricultura en Colombie entre 1950 y 2000. *Revista del Banco de la República, 76*(912), 12-68.

Leonard, F. y Toro, I. (2010). Riesgo ambiental por el uso de agroquímicos. *Inventum, 5*(9), 32-41. doi: 10.26620/uniminuto.inventum.5.9.2010.32-41

López, M. (2014). *Evaluación de la calidad del agua a través del estado trófico y la estratificación térmica en la laguna de La Cocha, municipio de Pasto* (tesis de maestría). Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Colombia.

Ministerio del Medio Ambiente. (2000). Decreto 698 de 2000. Por el cual se designa un humedad para ser incluido en la lista de humedales de importancia internacional, en cumplimiento de lo dispuesto en la Ley 357 de 1997. Recuperado de http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/col133126.pdf

Ortega, A. y Reyes, H. (1998). Cultivo de organismos acuáticos parte 1 Crecimiento poblacional de Daphnia magna Strauss bajo condiciones de cultivo. *Ciencia y mar, 2*(6), 3-6.

Park, R. & Clough, J. (2014). AQUATOX (RELEASE 3.1 plus) modeling environmental fate and ecological effects in aquatic ecosystems (Vol. 2: Technical documentation). Recuperado de https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-03/documents/technical-documentation-3-1.pdf



Modalidad de Presentación Oral

Área Temática: Gestión Ambiental

Biomodelo sostenible de huertas ecológicas para seguridad alimentaria: Gestión ambiental de extensión en Corhuila, Neiva

Luis Carvajal Pinilla[123]
Geraldine Sánchez Puentes[124]
Jesús Palomá Rojas[125]

Resumen

Un fuerte problema en la sociedad, es la inadecuada distribución y producción de alimentos, debido al acelerado crecimiento poblacional, la falta de actitud ambiental ciudadana, la expansión urbanística y la migración poblacional. Por lo tanto, el objetivo general de esta investigación es implementar un biomodelo sostenible de huertas ecológicas para la seguridad alimentaria en una determinada comunidad en Neiva, trabajo de extensión universitaria soportado por el programa de Ingeniería Ambiental y la oficina de Gestión Ambiental. Para ello se realizó un diagnóstico de conjuntos residenciales y selección de uno de ellos; la recolección de la información base se hizo a fin de determinar el grado de conocimientos previos. Se realizó la ejecución de tres programas: 1) Sensibilizando mi conjunto: ocho charlas ambientales quincenales; 2) Recrea, Separa, Recicla y Aprovecha: designación de área para reciclaje, compost, huerta, banco de semillas y tanque de riego; 3) Cultívate y cosecha para el futuro: 17 especies empleadas entre hortalizas y frutales. De esta manera, se capacitó a 283 personas, y como resultado se obtuvo una reducción en 35 % de los residuos, 258 kg de compostaje en sistema cerrado, 55 kg en lombricompostera, y reutilización de 30 kg de botellas. Se produjo cuatro hortalizas: rábano, remolacha, lechuga y sandía, y tres árboles frutales: ají, aguacate, limón. Corhuila propone una alternativa viable que mejorará la seguridad alimentaria de la sociedad en general.

Palabras clave: agricultura urbana, calidad de vida, producción de alimentos, sostenibilidad.

[123] Programa de Ingeniería Ambiental, Corporación Universitaria del Huila, CorHulia. Neiva, Colombia. Correo electrónico: luis.carvajal@corhuila.edu.co

[124] Programa de Ingeniería Ambiental, Corporación Universitaria del Huila, CorHulia. Neiva, Colombia.

[124] Programa de Ingeniería Ambiental, Corporación Universitaria del Huila, CorHulia. Neiva, Colombia.

Sustainable biomodel of ecological gardens for food security: Environmental management of extension in Corhuila, Neiva

Abstract

A strong problem in society is the inadequate distribution and production of food, due to accelerated population growth, lack of citizen environmental attitude, urban expansion and population migration. The general objective of this research was to implement a sustainable biomodel of ecological gardens for food security in a given community in Neiva, as a university extension work supported by the Environmental Engineering program and the Environmental Management office. For this, a diagnosis of the residential complexes was made and one of them was selected; the collection of the base information was done in order to determine the degree of previous knowledge. Three programs were executed: 1) Sensitizing my residential: eight biweekly environmental talks; 2) Recreate, Separate, Recycle and Take advantage: designation of area for recycling, compost, orchard, seed bank, and irrigation tank; 3) Cultivate and harvest for the future: 17 species used among vegetables and fruit trees. Two hundred and eighty three people were trained, and as a result, a 35% reduction in waste, and 258 kg of composting were obtained in a closed system, 55 kg in vermicomposter, and reuse of 30 kg of bottles. Four vegetables were produced: radish, beets, lettuce and watermelon, and three fruit trees: chili, avocado, and lemon. Corhuila proposes a viable alternative that will improve the food security of society in general.

Key words: Urban agriculture, quality of life, food production, sustainability.

Biomodelo sustentável de jardins ecológicos para segurança alimentar: gestão ambiental da extensão em Corhuila, Neiva

Resumo

Um forte problema na sociedade é a distribuição e produção inadequadas de alimentos, devido ao crescimento acelerado da população, à falta de atitude ambiental do cidadão, à expansão urbana e à migração populacional. O objetivo geral desta pesquisa foi implementar um biomodelo sustentável de jardins ecológicos para segurança alimentar em uma determinada comunidade em Neiva, como um trabalho de extensão universitária apoiado pelo programa de Engenharia Ambiental e pelo escritório de Gestão Ambiental. Para isso, foi feito um diagnóstico dos complexos residenciais e um deles foi selecionado. A coleta das informações básicas foi realizada para determinar o grau de conhecimento prévio. Três programas foram executados: 1) Sensibilizando meu conjunto: oito conversas ambientais quinzenais; 2) Recriar, separar, reciclar e aproveitar: designação de área para reciclagem, compostagem, pomar, banco de sementes e tanque de irrigação; 3) Cultive e colha para o futuro: 17 espécies usadas entre hortaliças e árvores frutíferas. 283 pessoas foram treinadas e, como resultado, foi obtida uma redução de 35% nos resíduos, e tambem 258 kg de compostagem em sistema fechado, 55 kg em vermicomposter e reutilização de 30 kg de garrafas. Foram produzidos quatro vegetais: rabanete, beterraba, alface e melancia e três árvores frutíferas: pimenta, abacate, limão. Corhuila propõe uma alternativa viável que melhorará a segurança alimentar da sociedade em geral.

Palavras-chave: Agricultura urbana, qualidade de vida, produção de alimentos, sustentabilidade.

Introducción

Un grave problema a nivel mundial es la inadecuada distribución y producción de la alimentación como consecuencia del acelerado crecimiento poblacional del ser humano. Frente a este escenario la producción propia de los alimentos cobra relevancia pública y se constituye en un compromiso social, incentivando la generación de producciones alternativas alimentarias (Benzing, 2001; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2014). La población latinoamericana está creciendo a un ritmo acelerado, en especial, desde las últimas tres décadas, concentrándose primordialmente en el área urbana. Es por ello que, el concepto de agricultura urbana toma fuerza debido a la necesidad de alimentar poblaciones vulnerables y con insuficientes recursos económicos (Hernández, 2006; Artunduaga et al., 2016; Otero, Menoya y Torres, 2017).

La falta de compromiso ambiental de la población de la ciudad de Neiva frente a la protección de los recursos naturales, el crecimiento y la expansión urbanística que se presenta desde la década de los años 60, y el movimiento poblacional generado por el último conflicto armado colombiano de los habitantes del sector rural de Neiva y otros municipios de las zonas centro, occidente y norte del Huila (e inclusive de población proveniente de departamentos cercanos como Caquetá, Putumayo y Tolima) hace que exista mayor demanda de recursos alimenticios (Benzing, 2001; Moreno, 2007; Mazuela, 2013; FAO, 2014). Teniendo en cuenta lo anterior, este proyecto contribuye a la agricultura urbana, con la implementación de un biomodelo sostenible para seguridad alimentaria en la comunidad de un conjunto residencial en la ciudad de Neiva y, a través de esto, sensibilizar, incentivar e ilustrar a la comunidad frente a diferentes alternativas en la producción de alimentos con la puesta en marcha de un mecanismo participativo social, que pueda garantizar recursos alimenticios básicos complementarios para toda una comunidad (Hernández, 2006; Clavijo y Cuvi, 2017).

Descripción de la experiencia

El consumismo, la falta de actitud protectora del medio ambiente, la inseguridad, la generación masiva de residuos sólidos, la escasez de zonas verdes, la arborización estética, entre otros, son problemas que se ven a diario en Neiva, ciudad que pese a ello y con el pasar de los años, se ha convertido en una de las ciudades más importantes de la región sur del país. El potencial de progreso de la ciudad hace que sea una urbe con adecuadas posibilidades para el desarrollo de proyectos de innovación en temas ambientales, aspecto que genera un impacto positivo en los habitantes.

Sin embargo, sólo existe un área destinada para la disposición final de los residuos sólidos ordinarios de los habitantes del municipio de Neiva y 14 municipios más del norte del departamento del Huila, denominado el relleno sanitario Los Ángeles, ubicado en la vereda La Jagua (Neiva), con una recepción diaria de 339,7 toneladas (Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena CAM, 2017). Por lo tanto, se deriva la necesidad de generar reflexión y sensibilizar a la población en la reutilización de aquellos residuos que a diario se generan en las viviendas y que son susceptibles de ser nuevamente aprovechados.

El presente proyecto se desarrolló en el municipio de Neiva que cuenta con una población de 320.000 habitantes aproximadamente, está distribuido administrativamente en su zona urbana en 10 comunas, y se encuentra ubicado en el valle interandino de las cordilleras oriental y central, a una altitud promedio de 440 metros sobre el nivel del mar y una temperatura media de 28 **°C (**Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], s.f.).

Para la ejecución del proyecto se realizó un diagnóstico inicial de conjuntos residenciales de la ciudad de Neiva, a partir del análisis de las siguientes variables: 1) cercanía a barrios; 2) tipo de terreno; 3) aspectos de seguridad; 4) disponibilidad de tiempo de los habitantes del conjunto para iniciar el proyecto; 5) número de personas beneficiadas. Estas variables fueron evaluadas con el fin de seleccionar el conjunto residencial con las condiciones óptimas para el desarrollo del Biomodelo Sostenible. Las variables solo presentaron tres tipos de respuesta independientes entre sí y de acuerdo con la categorización de cada variable (ver Tabla 1).

Tabla 1. *Variables y su respectiva categorización dentro del Proyecto Biomodelo Sostenible*

Tipo de respuesta	Categorías de las variables				
	Cercanía a barrios	Tipo de terreno	Aspectos de Seguridad	Disponibilidad de tiempo	Número de personas
1	Mala	Malo	Mala	Baja	Menor a 50
2	Media	Bueno	Media	Media	Entre 51 a 100
3	Buena	Excelente	Buena	Alta	Mayor de 101

A partir de la calificación final de las condiciones, el lugar más apto para el desarrollo del Biomodelo Sostenible fue el Conjunto Residencial "Campos de Mayorca", ubicado en la Diagonal 20 No. 37-53, barrio Los Guaduales. El Conjunto Residencial cuenta con 108 personas, repartidas en 27 viviendas familiares de estrato 3, un parqueadero para 29 vehículos, un salón comunal, zona de recreación y una piscina.

El tipo de estudio fue de carácter cuantitativo y cualitativo. La recolección inicial de información se realizó con la aplicación de 6 entrevistas a las personas que se consideraron más importantes al interior del conjunto, por su alto sentido de pertenencia, esto con el fin de conocer las condiciones actuales en el sentido de seguridad alimentaria (Ricarte-Covarrubias, Gusman y Borges, 2011; Lissbrant, 2015; Smart, 2015) y sostenibilidad ambiental del conjunto residencial (Clavijo y Cuvi, 2017). La información colectada fue almacenada en base de datos de Excel y posteriormente analizada con el paquete estadístico STATA.

Posteriormente, se realizaron 4 encuestas a los propietarios de las 27 viviendas (una encuesta semanal durante el primer mes), con el fin de definir el grado de conocimiento sobre temas como: seguridad y soberanía alimentaria, productos verdes, huertas ecológicas, manejo integral de residuos sólidos y producción de humus (Ricarte-Covarrubias et al., 2011; FAO, 2014; Thomas, 2014; Lissbrant, 2015; Clavijo y Cuvi, 2017).

La siguiente fase consistió en la sistematización de las encuestas diligenciadas, y con los resultados (ver Tabla 2) y el análisis de esta información, se decide dividir en 3 programas el Proyecto Biomodelo Sostenible, así: 1) Sensibilizando mi conjunto; 2) Recrea, Separa, Recicla y Aprovecha; 3) Cultívate y cosecha para el futuro.

Tabla 2. *Resultados obtenidos a partir de las encuestas que buscan medir el grado de conocimiento de los habitantes del Conjunto Residencial Campos de Mayorca*

Pregunta	Resultados (Porcentaje)		
1) **¿De dónde obtiene los productos que consume diariamente?**	Almacén de cadena (70 %)	Tiendas (18 %)	Central de abasto (12 %)
2) **¿Tiene conocimiento sobre los procesos de separación en la fuente?**	Sí (82 %)	No (18 %)	
3) **¿Ha escuchado sobre huertas urbanas?**	Sí (81 %)	No (19 %)	
4) **¿Implementaría las huertas en su hogar?**	Sí (76 %)	No (24 %)	
5) **¿Qué le gustaría sembrar en la huerta?**	Vegetales (76 %)	Frutas (10 %)	Aromáticas (14 %)

A continuación, se muestra la descripción de cada uno de los programas definidos para la implementación del Proyecto Biomodelo Sostenible:

Programa 1: Sensibilizando mi conjunto

Toda la comunidad residente y visitante conocieron los procesos relacionados con los Biomodelos Sostenibles, por medio de charlas de capacitación sobre: manejo integral de residuos sólidos, productos verdes, huertas urbanas, germinación y cuidado de semillas (FAO, 2014; Clavijo y Cuvi, 2017). Se ejecutó un total de 8 charlas con una frecuencia de 2 charlas mensuales y una duración aproximada entre 1 hora y 1 hora con 15 minutos; en cada sesión se registró la asistencia, se realizaron actividades lúdicas y se aplicó un test poscharla (ver Tabla 3).

Tabla 3. *Resultados del Programa 1: Sensibilizando mi conjunto*

Tema y Taller	Tiempo (minutos)	Número de asistentes	Niños y jóvenes	Adultos
Manejo integral de residuos sólidos.	60	45	7	38
Métodos de aprovechamiento.	60	25	13	12
Productos verdes.	60	28	14	14
Huertas urbanas.	75	45	18	27
Germinación y cuidado de semillas.	70	34	16	18
Seguridad y soberanía alimentaria.	60	30	13	17
Beneficios ambientales, sociales y económicos.	75	47	15	32
Otros métodos sostenibles.	60	41	12	29

Programa 2: Recrea, Separa, Recicla y Aprovecha

El programa se inicia con el proceso de vinculación de la comunidad para el esquema del Biomodelo Sostenible. Los más participativos y activos fueron los niños y jóvenes. El esquema correspondiente al área designada dentro de las instalaciones del conjunto residencial contó con 6 zonas debidamente definidas así: una zona destinada al reciclaje de botellas plásticas; dos zonas reservadas para el compost; una zona para la huerta; una zona para el banco de semillas; y en la última zona, se ubicó el tanque para el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias, destinadas para la aspersión en las zonas requeridas del esquema del Biomodelo (Moreno y Moral, 2008). En la Tabla 4 se aprecia la secuencia de actividades con el respectivo cronograma para la ejecución del programa 2.

Tabla 4. *Cronograma semanal Programa 2: Recrea, Separa, Recicla y Aprovecha*

Actividad	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Elaboración de esquema del Biomodelo	X	X														
Adecuación de la zona de Compostaje y Reciclaje			X	X												
Ubicación de las canecas de 50L para compostaje				X												
Construcción cajón zona de reciclaje, Botellas PET´S					X											
Clausura caneca No. 1						X						X				
Filtración caneca No. 1						X						X				
Clausura caneca No. 2						X						X				
Filtración caneca No. 2										X						
Lombricompost						X				X				X		X

Por otra parte, se realizaron actividades lúdicas con el propósito de enseñarle a la comunidad los múltiples beneficios de separar, reciclar y aprovechar los residuos sólidos. Con tal fin, se construyó un cajón de machimbre para el reciclaje de botellas de plástico (el machimbre fue proporcionado por la comunidad del mismo conjunto residencial). También se adecuó una zona para realizar el proceso de compostaje, sistema cerrado con dos canecas plásticas de 50 galones; posterior a ello, se llevó a cabo la ubicación definitiva del cajón (ver Figura 1) para reciclaje de botellas plásticas (Atiyeh et al., 2000; Reilly et al., 2013).



Figura 1. Adecuación del sistema cerrado para el Biomodelo Sostenible: izquierda) zona de reciclaje, derecha) canecas del sistema cerrado.

Una vez terminadas las primeras dos capacitaciones (manejo integral de residuos sólidos y métodos de aprovechamiento), se procedió a la entrega de una hoja guía, donde se consignó específicamente el tipo de residuos aptos para ser depositados en las canecas de 50 galones, los materiales que pueden ser reciclados y los elementos que deben ir al relleno sanitario. Esto se realizó con el fin de brindar a la población un mayor soporte a la hora de realizar la recolección y asegurar que la labor se hiciera de la mejor manera posible.

Posterior a ello, se llevó a cabo una visita, casa por casa, con el fin de resolver dudas e inquietudes sobre el propósito del proceso. Transcurridos 20 días, los seguimientos y monitoreos para controlar la temperatura se realizaron diariamente. Se empleó el método del cuarteo de la muestra para conocer la composición de la pila de materia orgánica (ver Tabla 5) (Labrador, 2002; Julca-Otiniano, Meneses-Florian, Blas-Sevillano, Bello-Amez, 2006; Reilly et al., 2013).

Tabla 5. *Composición de la pila de materia orgánica en el esquema del Biomodelo Sostenible*

Fuente orgánica (cáscara)	Porcentaje en la composición
Naranja	11,1 %
Aguacate	5,6 %
Plátano	12 %
Huevo	10,5 %
Tomate	6,4 %

Piña	14 %
Cholupa	10,4 %
Mazorca	3,2 %
Cebolla	6,7 %
Papaya	6 %
Papa	7 %
Resto de Poda	5 %
Otros	2,1 %

Una vez alcanzada la etapa de maduración del compostaje se construyó una malla para la filtración de éste y así obtener partículas de un tamaño inferior a 1,3 cm (partículas de tamaño mayor no se degradaron). Posteriormente, se procedió a utilizar el sistema de lombricompost en una segunda zona, donde las lombrices californianas se encargaron del proceso de degradación de los residuos a un tamaño menor (Atieyeh, 2000; Moreno y Moral, 2008).

Programa 3: Cultívate y Cosecha para el Futuro

Se realizó inicialmente un estudio de pregerminado en bandejas de 128 cavidades y se determinó adicionalmente el tiempo de germinación en días. El estudio empleó 17 especies, que incluyeron rábano, remolacha, cilantro, sandía, ají, orégano, acelga, lechuga y tomate, entre otras. Luego se inició la elaboración de cajones con madera reciclada que brindó la comunidad. Algunos de estos cajones contaban con dimensiones para hortalizas y legumbres (1 m x 3 m); plantas medicinales y aromáticas (1m x 2m). Con la ayuda de los niños del conjunto se pintaron y dibujaron los cajones para darles una apariencia más armónica y colorida (ver Figura 2).



Figura 2. Cajones para la germinación de las especies vegetales.

Con la ayuda de los habitantes del conjunto residencial se realizó la adecuación de un área de 60 m^2, con el fin de realizar allí su propia huerta urbana y comenzar a cultivar sus alimentos, además de aprovechar aquellos espacios que no se usan, beneficiándose así del compostaje resultante del segundo programa. Para la adecuación del terreno se realizaron distintas convocatorias que recibieron gran acogida por parte de la población. Al cabo de 15 días ya habían germinado la mayoría de plántulas y en un mes estas últimas lograron un tamaño promedio de 7 cm. Adicionalmente, cada semana se llevaron a cabo controles de mortalidad (Wardle, 1999). En la Tabla 6 se detalla el cronograma para dar cumplimiento al Programa 3.

Tabla 6. *Cronograma semanal Programa 3: Cultívate y cosecha para el futuro*

Actividad	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Taller de pintura (Cajones Huertas)					X	X	X																	
Construcción de Cajones						X	X	X																
Estudio Pre-Germinado			X	X	X	X	X	X																
Adecuación zona de Huertas							X	X																
Ubicación de Cajones									X															
Llenado de cajones con el compostaje									X	X			X	X										
Siembra primer grupo de semillas									X	X	X		X	X	X									
Construcción de sistema recolector aguas lluvias															X	X								
Inventario natalidad y mortalidad									X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Cosecha No. 1															X	X			X	X	X		X	X
Siembra segundo grupo de semillas																X	X	X		X	X	X		
Cosecha No. 2																						X	X	X

Resultados e impactos

Las personas que hicieron parte del proyecto son habitantes del Conjunto Residencial Campos de Mayorca, entre ellos, algunos son propietarios y otros arrendatarios. La mayoría de participantes son empleados y unos pocos son independientes. El conjunto residencial es habitado por familias con 3, 4 o 5 miembros, en su mayoría madre y padre con 1, 2 o 3 hijos.

La relación de los habitantes con el entorno de la problemática es directa, debido a algunas actividades que cotidianamente realizan, como consumo diario y mala disposición de los empaques. Por ello, se constituyen en grandes generadores de residuos sólidos y esta es la razón por la cual se trabajó con la propuesta del Biomodelo Sostenible (Otero et al., 2017).

La ejecución de los tres programas arrojó un total de 283 personas capacitadas y sensibilizadas en los 8 talleres teórico-prácticos. La población más activa fue niños y jóvenes residentes del conjunto. Durante los 6 meses de implementación del Biomodelo Sostenible se redujo en un 35 % los residuos a disponer en el relleno sanitario, se produjeron 258 kg de compostaje en el sistema cerrado y 55 kg en la lombricompostera.

Con la puesta en marcha del cajón de reciclaje de botellas de plástico se evidenció un alto consumo de este residuo (en los 6 meses del proyecto se reutilizaron 30 kg de botellas). En la Figura 3 se aprecia la producción de la huerta, arrojando un total de 4 especies de hortalizas y 3 tipos de árboles frutales (ver Tabla 7).



Figura 3. Producción de la huerta ecológica del Biomodelo Sostenible.

Tabla 7. *Relación de productos vegetales obtenidos en la zona de huerta ecológica*

Tipo Vegetal	*Nombre común*	*Cantidad (N°)*
Hortalizas	Rábano	35
	Remolacha	17
	Lechuga	6
	Sandia	5
Árboles frutales	Ají	7
	Aguacate	2
	Limón	4

Se debe tener en cuenta el tipo de siembra que se debe realizar según la hortaliza. Estas siembras pueden llevarse a cabo de manera directa o indirecta, por ejemplo, el tomate, la lechuga, el rábano, el ají y la remolacha pertenecen al grupo de siembra indirecta, la cual se realiza en el almacigo o bandeja; pasadas unas semanas después de su germinación tendrán de 3 a 4 hojas y un tamaño de 10 cm a 12 cm; luego serán trasplantadas a su terreno definitivo.

En el proyecto se manejó, en un principio, el tipo de siembra indirecta, debido a que se trataron de seguir las recomendaciones obtenidas a partir de las diferentes fuentes bibliográficas (Riquelme-Garcés, González-Vallejos, Contreras-Luque, & Mazuela, 2013; De Grazia, Tittonell, & Chiesa, 2006). Posteriormente, se trabajó con la siembra directa, ya que tras realizar el uso de la siembra indirecta muchas de las plántulas al ser trasplantadas murieron o perdieron vigor. Una vez realizado el cambio de siembra se obtuvieron mejores resultados y una mayor cantidad de pl**ántulas (López, Díaz, Martínez y** Valdez, 2001; Reilly et al., 2013).

Testimonios

A continuación, se presenta el testimonio de una integrante de la junta directiva, quien es propietaria de una casa en el conjunto, vive con su esposo y sus 3 hijos. Se desempeña como docenete en la Institución Educativa Jairo Morera Lizcano, ubicada en el barrio Las Acacias de la ciudad de Neiva. Argenis vive con su esposo y sus 3 hijos.

Desde el inicio la señora fue muy activa en el desarrollo del proyecto, mostró mucho interés y colaboró en las labores generales. En su hogar se consumen muchas frutas; esto comparado con las otras casas, representaba una gran cantidad de residuos orgánicos provenientes de la piña y la naranja (López et al., 2001). Cada semana se podían obtener 2 bolsas y media (equivalentes a 9 kg semanales) y otra bolsa de 3 kg de residuos no aprovechables. Lo que quiere decir que 12 kg de residuos iban semanalmente al relleno sanitario, de los cuales el 75 % de los residuos eran aprovechables con el proceso del compostaje (Atieyeh et al., 2000).

La señora afirmó que en su hogar se redujo más del 60 % de residuos a disponer, residuos que para su familia representaban más gastos a nivel de bolsas plásticas y mayor presencia de mosquitos de dulce. El sistema de compostaje logró biodegradar los residuos en mes y medio. Fue motivo de asombro ver sus desechos convertidos en abono orgánico y logrado por medio de un proceso sencillo pero tecnificado (Atieyeh, 2000; Reilly et al., 2013). Para ella las charlas y capacitaciones fueron de gran importancia, puesto que complementaron en gran medida los pocos conocimientos que tenía sobre la gestión de los residuos sólidos. Además de ello, en su hogar se adoptaron diversas actividades que dieron resultado y que generaron cambio de actitud en favor del medio ambiente (Moreno, 2007; Thomas, 2014).

Además, la señora expresó que fue muy fructífero el hecho de que se incluyera en el proceso a los niños más pequeños, pues ellos son la generación que puede mejorar las condiciones actuales del mundo: la sensibilización generada por medio de la construcción de la huerta y el proyecto fue significativo en la vida de los niños (GlobalHort, 2016). A partir de la realización del proyecto se logró llevar a cabo una importante reflexión sobre el problema que ocasiona el desconocimiento de temáticas que estén en pro del medio ambiente, problemática que se evidencia al no aplicar buenas prácticas ambientales en la vida cotidiana de los seres humanos (Moreno, 2007).

A continuación, se presenta una serie de reflexiones sobre la contribución del proyecto a la solución de la problemática vivida por los residentes del conjunto residencial:

- El proyecto favoreció la creación de conciencia y sensibilización ambiental a través de las prácticas llevadas a cabo conjuntamente con la población (Moreno, 2007; GlobalHort, 2016).

- Se impulsa la separación de residuos en la fuente, se identifican los elementos de mayor aprovechamiento, como el plástico, papel y cartón. Esto mismo apoya, simultáneamente, la labor de recicladores o empresas dedicadas a esta labor.

- El proyecto presentó un panorama antes y después de la implementación del sistema de compostaje, partiendo del hecho que para los habitantes del conjunto residencial era completamente normal que todo lo que saliera de su cocina fuera a parar directamente a la basura (Moreno y Moral, 2008; Ricarte-Covarrubias et al., 2011).

- Al llevar a cabo el proceso de compostaje se redujo en un 60 % la cantidad de residuos orgánicos, que se supone iban a arrojarse al relleno sanitario. Esto contribuye específicamente a la disminución de lixiviados filtrados en los suelos, así como a reducir la generación de vectores que afectan la salubridad humana y la formación de malos olores (López et al., 2001; Reilly, et al., 2013).

- Además se fomenta el aprovechamiento de los residuos orgánicos, como abonos para jardinería, cultivos o incluso para sustento económico (Wardle, 1999; Atieyeh, 2000; López et al., 2001; De Grazia et al., 2006; Castro, Henríquez y Bertsch, 2009; Riquelme-Garcés et al., 2013).

- Desde el punto de vista urbano, la creación de huertas en la ciudad es algo que todavía no se consolida en algún plan de desarrollo a nivel local; es por ello que la ejecución del Proyecto Biomodelo sostenible se puede tomar como punto de partida para este tipo de alternativas, que pueden mejorar la seguridad alimentaria de una familia (Ricarte-Covarrubias et al., 2011; FAO, 2014; Lissbrant, 2015; Clavijo y Cuvi, 2017).

- Por otro lado, en el ámbito económico, se puede reducir la cantidad de toneladas a pagar por disposición en el relleno sanitario, lo cual beneficia a la población, en cuanto a los presupuestos estipulados por el gobierno, representando un ahorro para invertir en sectores como salud o educación.

Conclusión

Finalmente, Corhuila implementa el Biomodelo Sostenible en 2017, actualmente, se desarrolla en dos conjuntos y se proyecta su expansión a otros conjuntos residenciales y unidades habitacionales organizadas, proponiendo una alternativa social viable que mejorará la seguridad alimentaria de la sociedad en general. Así mismo, contribuye con el fortalecimiento de la comunidad, formando líderes ambientales que promuevan un desarrollo sostenible y que busquen el equilibrio entre la población y el medio ambiente.

Referencias

Artunduaga, D., Bayona, L., García, J., González, L., Leiton, L., Pardo, M., …Velásquez, M. (2016). Propuesta de agricultura urbana aplicada a un jardín infantil ubicado en el barrio Santa Bárbara (La Candelaria-Bogotá D.C.). *Revista de Tecnología*, *15*(2), 147-160.

Atieyeh, R., Subler, S., Edwards, C., Bachman, G., Metzberg, J. & Shustera, W. (2000). Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiología*, *44*(5), 579-590. doi: 10.1078/S0031-4056(04)70073-6

Benzing, A. (2001). *Agricultura orgánica: Fundamentos para la región Andina*. Alemania: Villingen Schwenningen.

Castro, A., Henríquez, C. y Bertsch, F. (2009). Capacidad de suministro de N, P y K de cuatro abonos orgánicos. *Revista Agronómica Costarricense*, *33*(1), 31-43.

Clavijo, C. y Cuvi, N. (2017). La sustentabilidad de las huertas urbanas y periurbanas con base agroecológica: el caso de Quito. *Letras verdes Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, *21*, 68-91. doi: http://dx.doi.org/10.17141/letrasverdes.21.2017.2608

Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena CAM. (2017). Resolución No. 156. Por la cual se resuelve una solicitud de renovación de licencia ambiental. Recuperado de file:///C:/Users/UMARIANA/Downloads/Res156_190117.pdf

De Grazia, J., Tittonell, P. y Chiesa, Á. (2006). Efecto de sustratos con compost y fertilización nitrogenada sobre la fotosíntesis, precocidad y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum*). *Ciencia e Investigación Agraria*, *34*(3), 195-204.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (s.f.). Estimaciones y proyecciones de población en Colombia 1985-2020. Recuperado de https://geoportal.dane.gov.co/laboratorio/estimaciones/indicador1.html

GlobalHort. (2016). Iniciativa Mundial de horticultura. Recuperado de http://www.globalhort.org/INTI

Hernández, L. (2006). La agricultura urbana y caracterización de sus sistemas productivos y sociales, como vía para la seguridad alimentaria en nuestras ciudades. *Cultivos Tropicales*, *27*(2), 13-25.

Julca-Otiniano, A., Meneses-Florian, L., Blas-Sevillano, R. y Bello-Amez, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia*, *24*(1), 49-61.

Labrador, M. (2002). La materia orgánica en los agroecosistemas (2.ª ed.). Madrid, España: S.A. Mundi-Prensa Libros.

Lissbrant, S. (2015). Seguridad alimentaria y nutricional en la región caribe: consecuencias de la desnutrición y buenas prácticas como soluciones. *Investigación & Desarrollo*, *23*(1), 117-138.

López, J., Díaz, A., Martínez, E. y Valdez, R. (2001). Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento de maíz. *Terra*, *19*(4), 293-299.

Mazuela, A. (2013). Agricultura en zonas áridas y semiáridas. *Idesia*, *31*(2), 3-4. doi: 10.4067/S0718-34292013000200001

Moreno, J. y Moral, R. (2008). *Compostaje*. Madrid: Mundi-Prensa.

Moreno, O. (2007). Agricultura urbana: nuevas estrategias de integración social y recuperación ambiental en la ciudad. *Diseño Urbano y Paisaje*, *4*(11), 1-14.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2014). Manual técnico para la implementación de huertas periurbanas. Recuperado de http://www.fao.org/3/a-i3551s.pdf

Otero, L., Menoya, S. y Torres, I. (2017). La gestión de la agricultura familiar en el municipio de Pinar del Río: un diagnóstico de su situación actual. *Revista de Cooperativismo y Desarrollo*, *5*(1), 32-46.

Reilly, K., Cullen, E., Lola-Luz, T., Stone, D., Valverde, J., Gaffney, M.,…Griffiths, B. (2013). Effect of organic, conventional and mixed cultivation practices on soil microbial community structure and nematode abundance in a cultivated onion crop. *Journal of the Science of Food ans Agriculture*, 93, 3.700-3.709. doi: 10.1002/jsfa.6206/full.

Ricarte-Covarrubias, J., Gusman, J. y Borges, J. (2011). Segurança alimentar através da agricultura urbana: um estudo de caso em duas comunidades de baixa renda em Porto Ferreira/SP. *Revista Brasileira de Agroecología*, *63*(2), 62-80.

Riquelme-Garcés, A., González-Vallejos, F., Contreras-Luque, P. y Mazuela, P. (2013). Manejo de cultivo de hortalizas y su efecto en la sustentabilidad de un valle costero del desierto de Atacama. *Idesia*, *31*(3), 113-117.

Smart, J. (2015). La crisis económica y la seguridad alimentaria en África: Exploración de la importancia de la agricultura urbana en la provincia de Copperbelt de Zambia. *Revista Geoforum*, *63*, 37-45.

Thomas, G. (Ed.). (2014). Ciudades más verdes en América Latina y el Caribe. Un informe de la FAO sobre la Agricultura urbana y periurbana en la región. Recuperado de http://www.fao.org/ag/agp/greenercities/pdf/GGCLAC/Ciudades-mas-verdes-America-Latina-Caribe.pdf

Wardle, D. (1999). How soil food webs make plants grow. *Trends Ecology Evolution*, *14*(11), 418-420.

Asociación entre la calidad del aire y los efectos sobre la salud de la población durante el evento de Carnavales de Negros y Blancos en la ciudad de Pasto, Colombia

Claudia Lorena Duque Villa[126]
Carol Bravo Rueda[127]

Resumen

Tradicionalmente, la ciudadanía de Pasto ha incursionado en una práctica cultural que se ha convertido en Patrimonio Intangible e Inmaterial de la Humanidad, declarado así por la UNESCO; se trata de los Carnavales de Negros y Blancos, los cuales se llevan a cabo durante los primeros días del mes de enero de cada año. Dicho evento cultural impacta positivamente en el desempeño artesanal de quienes participan con la elaboración y presentación de carrosas, murgas, comparsas, y mejora la dinámica económica de la ciudad en los días de celebración, pero adicionalmente genera efectos en el ambiente y la salud pública, debido al uso excesivo de productos como el talco de carnaval. Es común escuchar en el argot popular que después de los carnavales la gente se enferma de gripa; se evidencia una relación directa de causa–efecto asociada a los signos, síntomas y patologías más relevantes en el sistema respiratorio, lo cual coincide con los estudios realizados a nivel mundial sobre los efectos adversos en la salud del ser humano producidos por la exposición a contaminantes atmosféricos. De acuerdo con la información sobre calidad del aire, específicamente de PM_{10}, registrada por el Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire de Pasto de la Corporación Autónoma Regional de Nariño –CORPONARIÑO-, los niveles de contaminación por dicho contaminante no sobrepasan el nivel permisible normativo, aún en la época en la cual se lleva a cabo el evento cultural mencionado; sin embargo, se registra un aumento en los casos de morbilidad por IRA, correspondientes a los primeros meses del año.

Palabras clave: calidad de aire, contaminación atmosférica, carnaval, talco, morbilidad por IRA, PM_{10}, salud pública.

Association between the air quality and the effects on the health of the population during the event of Black and White Carnivals in the city of Pasto, Colombia

Abstract

Pasto citizenship has traditionally entered into a cultural practice that has become Intangible and Intangible Heritage of Humanity, declared by UNESCO: the Carnival of Blacks and Whites that takes place during the first days of the month of January of every year. This cultural event positively affects the craft performance of those who participate with the elaboration and presentation of carrousas, murgas, comparsas, and improves the economic dynamics of the city on the days of celebration but also, generates effects on the environment and public health, due to the excessive use of products such as carnival talc.

In popular slang, it is common to hear that after carnivals people get sick with the flu; various works show a direct cause-effect relationship associated with the most relevant signs, symptoms and pathologies in the respiratory system, which coincides with studies conducted worldwide on the adverse effects on human health caused by exposure to air pollutants.

According to the information on air quality, specifically from PM_{10}, registered by the Pasto Air Quality Surveillance System of CORPONARIÑO, the levels of contamination by said pollutant do not exceed the permissible regulatory level, even at the time when the cultural event takes place. However, there is an increase in cases of morbidity due to ARI, corresponding to the first months of the year.

Key words: air quality, air pollution, Carnival, talcum powder, morbidity by ARI, PM_{10}, and public health.

Associação entre a qualidade do ar e os efeitos sobre a saúde da população durante o Carnival de Negros e Brancos no município de Pasto, Colômbia

Resumo

A cidadania de Pasto tradicionalmente adota uma prática cultural que se tornou Patrimônio Imaterial e Imaterial da Humanidade, declarado pela UNESCO: o Carnaval de Negros e Brancos, que ocorre nos primeiros dias do mês de janeiro de cada ano. Trata-se de um evento cultural que afeta positivamente o desempenho artesanal de quem participa da elaboração e apresentação de carrousas, murgas, comparsas e que melhora a dinâmica econômica da cidade nos dias de comemoração, mas também gera efeitos sobre o meio ambiente e saúde pública, devido ao uso excessivo de produtos como o talco de carnaval.

Na gíria popular, é comum ouvir que depois dos carnavais as pessoas ficam doentes com gripe; vários trabalhos mostram uma relação direta de causa e efeito associada aos sinais, sintomas e patologias mais relevantes no sistema respiratório, coincidindo com estudos realizados em todo o mundo sobre os efeitos adversos à saúde humana causados pela exposição a poluentes do ar.

De acordo com as informações sobre qualidade do ar, especificamente da PM_{10}, registradas pelo Sistema de Vigilância da Qualidade do Ar Pasto de CORPONARIÑO, os níveis de contaminação por esse poluente não excedem o nível regulamentar permitido, mesmo no momento em que o evento cultural ocorre. No entanto, há um aumento nos casos de morbidade por infecção respiratória aguda –IRA-, correspondendo aos primeiros meses do ano.

Palavras-chave: qualidade do ar, poluição do ar, Carnaval, talco, morbidade por ARI, $PM_{10,}$ Saúde pública.

Introducción

La contaminación atmosférica día a día presta mayor interés en Colombia, dado que es uno de los principales problemas que representa un elevado costo social y ambiental, con respecto a los generados por la contaminación del agua y los desastres naturales (Larsen, 2004). Gran parte de los problemas de la contaminación del aire y de los demás recursos, son el resultado del rápido proceso del crecimiento económico e industrialización propio de los centros poblados, entendido este proceso como el desarrollo de actividades industriales y del parque automotor, principalmente. Sin embargo, en algunas localidades se identifican situaciones de índole cultural que inciden en los efectos de la contaminación atmosférica sobre el ambiente y la salud pública, como es el caso particular de la ciudad de Pasto-Colombia, por la realización del Carnaval de Negros y Blancos.

Los problemas de contaminación atmosférica son uno de los componentes ambientales que preocupan a la nación, por cuanto se encuentran muy ligados a los problemas de salud pública. Investigaciones realizadas a nivel mundial reportan asociaciones entre concentraciones de contaminantes y afectaciones en la salud.

> Las variaciones temporales de la concentración de PM10 en el ambiente se han asociado con un aumento de la mortalidad diaria, según estudios como los realizados en la ciudad de la Habana (Cuba) en el año de 1998 “Contaminación atmosférica, asma bronquial e infecciones respiratorias agudas en menores de edad, de La Habana”, el estudio de la “Revista salud pública de México. Vol. 46,

[126] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: lduque@umariana.edu.co

[127] Corponariño. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: carolpbr@gmail.com

Nº3. México, 2004", y el de Cartagena (España) en el periodo de 1992 – 1996, "efectos a corto plazo de la contaminación atmosférica sobre la mortalidad; resultados del proyecto Emecam en Cartagena". Revista Salud Pública de España Vol. 73, Nº 2: 215-224. España, 1999., el de Bogotá (Colombia) en 1997 "Contaminación del aire y enfermedad respiratoria en la población infantil de Puente Aranda de la Universidad del Bosque", y el realizado en la ciudad de Taipéi (Taiwán) en el periodo de 1994-1998 "Relationship between air pollution and daily mortality in a subtropical city: MagazineEnvironment International Vol 30, 519–523. Taipéi, Taiwán, 2004". En http://www.sciencedirect.com, establecen que la exposición a corto plazo a partículas suspendidas totales y al dióxido de azufre (SO2) se ha asociado con el aumento de la morbilidad por problemas respiratorios. (Jimenez y Granados, 2015, p. 18).

"Para América Latina y el Caribe, 35.000 muertes se atribuyen a la contaminación del aire cada año, pero la cifra real es posible que sea más alta" (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2010, p. 28).

> La exposición a los tipos y concentraciones de contaminantes que frecuentemente se encuentran en las zonas urbanas se ha relacionado con un aumento de riesgo de mortalidad y morbilidad debido a una variedad de condiciones, incluidas las enfermedades respiratorias y cardiovasculares, [y es especialmente dañina para personas con enfermedades crónicas, mujeres embarazadas, adultos mayores y niños]. (Jimenez y Granados, 2015, p. 18).

En un reporte sobre contaminación del aire y salud en América Latina y el Caribe (CEPIS, 2005), se establece una asociación entre morbilidad y mortalidad con el deterioro de la calidad el aire en los principales centros urbanos. Para Río de Janeiro (Brasil), se ha observado que un aumento de 10 µg/m^3 en la concentración de PM_{10} conlleva un incremento de 1,84 % en la admisión hospitalaria por causas respiratorias; en Ciudad de México el mismo incremento en el material particulado correspondió a un cambio de 1,83 % en la mortalidad diaria por todas las causas y todas las edades; para Santiago (Chile) este cambio es del 0,75 % y para Sao Paulo (Brasil) del 0,09 %. (PNUMA, 2010, p. 29).

A raíz de lo anterior, y por otros estudios llevados a cabo en Estados Unidos y países europeos, se evidencia que la contaminación del aire tiene incidencia en el incremento en la prevalencia de asma en niños y adultos, y en las exacerbaciones de esta enfermedad (Larsen, 2004). Se ha identificado que el incremento en los niveles de PM_{10}, SO_2 y NO_2 se asocia a un incremento en las admisiones hospitalarias por bronquitis y asma, empeoramiento del asma, incremento en los síntomas respiratorios y en el uso de medicamentos (Boopathy, Asrabadi & Ferguson, 2002).

> Además, se reportan incrementos en las tasas de mortalidad por enfermedad respiratoria y cardiaca. También se evidencian efectos sobre la función respiratoria con reducción del Volumen Espiratorio Forzado (VEF1), Capacidad Vital Forzada (CVF), Flujo Espiratorio Forzado (FEF25-75 %) y Flujo Espiratorio Pico (FEP). En población adulta mayor se han reportado principalmente incrementos en las admisiones hospitalarias por EPOC y asma, incremento en la prevalencia de condiciones respiratorias, como tos y expectoración crónica, dificultad respiratoria diurna y nocturna y disnea de esfuerzo, asociados a incrementos en las concentraciones promedio anuales de dichos contaminantes. (Muñoz y Meza, 2016, p. 9).

A nivel nacional, se identifican acciones relacionadas con la evaluación de los efectos de la contaminación del aire sobre la salud pública, las cuales se ha venido adelantando en las principales ciudades del país a través de convenios de cooperación científica entre entidades gubernamentales, esto se ha efectuado a escala piloto, justamente en localidades con evidencia de problemas en salud.

De acuerdo a la información sobre calidad del aire, específicamente de PM_{10}, registrada por el Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire de Pasto de CORPONARIÑO, los niveles de contaminación por dicho contaminante no sobrepasan el nivel permisible normativo, aún en la época en la cual se lleva a cabo el evento cultural analizado, sin embargo, aún es incipiente la información sobre los efectos que puede causar el uso de talco mineral sobre la población que participa de dicho evento, por lo tanto, se pretende fundamentar con criterios técnicos el daño que puede causar sobre la salud pública el uso de este tipo de productos, sin el ánimo de cuestionar la tradición que embarga a la mayoría de los pobladores de la ciudad de Pasto.

Situación actual y problema

En la ciudad de Pasto, durante los días de carnaval especialmente el día 6 de enero, el cual ha sido catalogado como el día en el que se lleva a cabo el magno evento, es cuando los participantes hacen mayor uso del talco de carnaval, incrementando de este modo el aporte de contaminantes a la atmósfera y cuya exposición puede causar efectos nocivos, especialmente, en el sistema respiratorio de la población. El juego comienza muy temprano en horas de la mañana y dura hasta altas horas de la noche, se desarrolla a lo largo de la senda del carnaval, el cual es el trayecto que cursan las carrozas, murgas y comparsas, ilustrando la esplendorosa magia de sus obras, cuyo recorrido cubre gran parte del área urbana de la ciudad en sentido sur-norte, también se identifican otros puntos principales donde existe concentración masiva de personas actores del juego, estos son: la Plaza del Carnaval y la Plaza de Nariño.

Es común escuchar en el argot popular que después de los carnavales, la gente se enferma de gripa, y teniendo como antecedente la investigación desarrollada por Zúñiga y Riascos (s.f.), titulada "Efectos producidos por inhalación de talco mineral inorgánico en los carnavales de Pasto en menores de diez años de edad que ingresaron al Hospital Infantil Los Ángeles en enero de 2007 y 2008", mediante la cual se determinó que de acuerdo a los resultados de las muestras de talco mineral tomadas en seis lugares diferentes de la ciudad de San Juan de Pasto en los carnavales de Negros y Blancos en el **año** 2007, realizados en los laboratorios de la Universidad de Nariño, mostraron que los componentes de mayor concentración fueron Calcio en un 5,74 %, seguido de Magnesio, Silicio, Hierro, Aluminio, Cromo, Potasio, Sodio y en mínimo porcentaje Plomo, por lo tanto, al relacionar el cuadro de signos y síntomas con los componentes de las muestras de talco, se evidenció una relación directa de causa-efecto que se asocian a los signos, síntomas y patologías más relevantes en el sistema respiratorio, evidenciando de esta manera que coincide con los estudios realizados a nivel mundial sobre los efectos adversos en la salud del ser humano, producto de la exposición a contaminantes atmosféricos.

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud, los efectos del material particulado suspendido en el aire sobre la salud de los individuos se producen de acuerdo a los niveles de exposición a los que se encuentren sometidos. La exposición crónica a las partículas aumenta el riesgo de enfermedades cardiovasculares y respiratorias, por ejemplo, el cáncer de pulmón. Los contaminantes atmosféricos, incluso en concentraciones relativamente bajas, se han relacionado con una serie de efectos adversos para la salud.

> El MP10 representa la masa de las partículas que entran en el sistema respiratorio, y además incluye tanto las partículas gruesas (de un tamaño comprendido entre 2,5 y 10 µ) como las finas (de menos de 2,5 µ, $PM_{2,5}$) que se considera que contribuyen a los efectos en la salud observados en los entornos urbanos. Las primeras se forman básicamente por medio de procesos mecánicos, como las obras de construcción, la resuspensión del polvo de los caminos y el viento, mientras que las segundas proceden sobre todo de fuentes de combustión. En la mayor parte de los entornos urbanos están presentes ambos tipos de partículas, gruesas y finas, pero la proporción correspondiente a cada uno de los dos tipos de tamaños es probable que varíe de manera sustancial entre las ciudades en todo el mundo, en función de la geografía, la meteorología y las fuentes específicas de MP de cada lugar. (Organización Mundial de la Salud, 2006, p. 8).

Resultados

Para analizar la asociación entre la calidad del aire y los efectos sobre la salud de la población durante el evento de carnavales de Negros y Blancos, en primera instancia se obtuvo los datos promedio mensuales correspondientes a la concentración de PM_{10} de los **año**s 2009 hasta 2017 (brindados por la Estación de Vigilancia de Calidad del Aire PM10 de CORPORNARIÑO) y se compararon con la Norma Diaria Local NDL (76 µg/m^3) y el límite establecido por la Organización Mundial de la Salud OMS (50 µg/m^3). En la Figura 1 se evidencia que, en el periodo de tiempo observado en ningún mes la concentración de PM_{10} sobrepasa los límites permisibles mencionados.

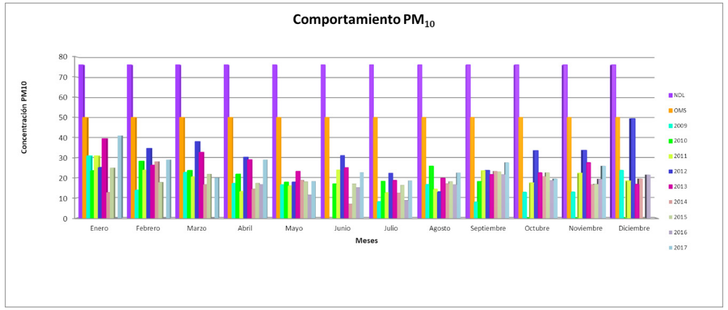


Figura 1. Concentración promedio mensual de PM_{10} **años 2009 – 2017.**
Fuente: CORPORNARIÑO, 2017.

Para evidenciar el incremento en la concentración de PM_{10} en el mes que se realiza la emisión de talco en la celebración de los carnavales (ver Figuras 1 y 2), se analizó gráficamente los datos, encontrando concentraciones promedio de PM_{10} para el mes de enero que oscilan entre 30.8 y 41 µg/m^3. En la Figura 2 se muestra la tendencia del incremento de la concentración promedio correspondiente al mes de enero para los años 2009, 2011, 2013, y 2017.

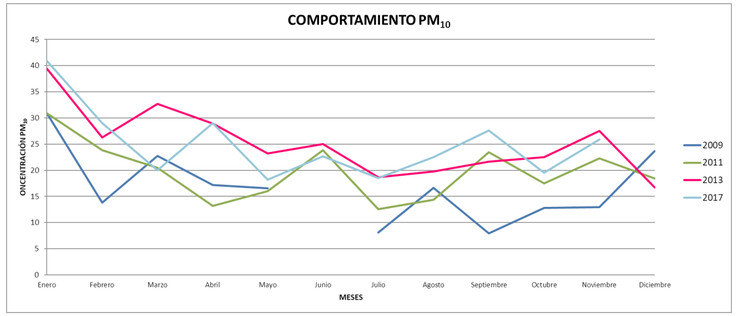


Figura 2. Concentración promedio mensual de PM_{10} 2009, 2011, 2013, y 2017.
Fuente: CORPORNARIÑO, 2017.

El Instituto Departamental de Salud de Nariño (IDSN) reporta los datos de morbilidad por infección respiratoria aguda IRA del año 2013 al 2017, los cuales se presentan en la Figura 3, evidenciando un incremento significativo para todos los años a partir del primer periodo epidemiológico que corresponde a las primeras cuatro semanas, es decir, al mes de enero.

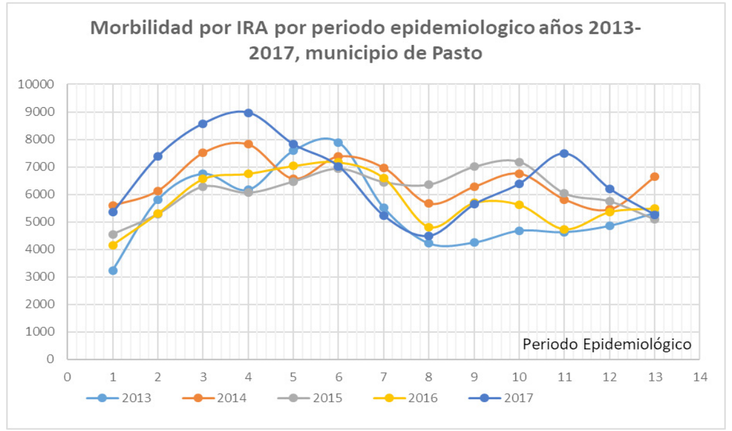


Figura 3. Morbilidad por IRA para el Municipio de Pasto 2013 al 2017.
Fuente: Instituto Departamental de Salud de Nariño IDSN.



Figura 4. Juego con talco en Carnaval de Negros y Blancos.
Fuente. Germán Gusman, http://pagina10.com/web/wp-content/uploads/2017/11/24085492_1673264442732768_1063329704_o.jpg



Figura 5. Juego en Carnaval de Negros y Blancos.
Fuente. https://www.las2orillas.co/polemica-carnavalesca-en-pasto/

Conclusiones y Recomendaciones

De acuerdo con los datos analizados gráficamente, se encuentra, en primera instancia, una asociación entre el aumento en la concentración de PM_{10} y una tendencia de incremento en la morbilidad por infección respiratoria aguda IRA para el mes de enero, que coincide con la emisión de talco por ocasión del Carnaval de Negros y Blancos.

Teniendo en cuenta la definición de "efecto adverso", entendido como "cualquier cambio en la morfología, fisiología, crecimiento, desarrollo o lapso de la vida de un organismo, que resulta en un perjuicio de la capacidad funcional, o perjuicio en la capacidad de compensar un estrés adicional, o aumenta la sensibilidad a los efectos dañinos de otras influencias ambientales" (Organización Mundial de la Salud, 1999, p. 5), es preciso considerar la relación que existe entre la causa socio-cultural por la aspersión de talco en el juego realizado en el Carnaval de Negros y Blancos y sus correspondientes efectos en la calidad del aire y la salud de la población, evidenciados en la contaminación atmosférica por material particulado, e incremento de enfermedades respiratorias, tomando como indicador los casos de IRA en la ciudad de Pasto.

Para profundizar el estudio de la relación entre contaminación del aire y la salud humana en este caso, se recomienda analizar estadísticamente las series de datos, para determinar las variaciones temporales en los niveles de contaminación atmosférica y su relación con los efectos agudos en la salud (IRA). De igual forma se sugiere el monitoreo de la concentración atmosférica de PM_{10} durante y posteriormente al evento cultural en la Plaza del Carnaval y la Plaza de Nariño.

Teniendo en cuenta que las características de las partículas que afectan al sistema respiratorio son la composición y la granulometría, es de suma importancia determinar el contenido de las partículas de PM_{10} muestreadas durante los días de carnavales y también aquellas obtenidas previa y posteriormente al evento cultural. Para dicho propósito se propone efectuar un análisis fisicoquímico, mediante el cual se determine la presencia de iones, metales, hidrocarburos aromáticos policíclicos y carbono elemental. También se recomienda llevar a cabo un seguimiento médico a la población expuesta al talco y a otro grupo de personas que no estén expuestos.

En el foro de cultura ciudadana realizado por la Alcaldía de Pasto en mayo de 2018, se presentaron los resultados de este estudio, y se consideró, entre otros temas de reflexión, para la apropiación social y cultural del patrimonio, que se fortalezca la educación y sensibilización ambiental respecto a los efectos socio-ambientales del juego con talco en el Carnaval de Negros y Blancos, con el fin de orientar esta práctica hacia un ajuste social que permita disfrutar del Carnaval como un hecho cultural sorprendente, que conjugue diversas expresiones artísticas, que contagie de alegría y calidez humana, de una forma sana y armoniosa.

Referencias

Boopathy, R., Asrabadi, B. & Ferguson, T. (2002). Sugar cane (Saccharum officinarum L) burning and asthma in southeast Louisiana, USA. *Bull Environ Contam Toxicol*, *68*(2), 173-179. doi: 10.1007/s001280235

CORPONARIÑO. (2017). Informe sobre el estado de la calidad del aire abril de 2017. Recuperado de http://www.corponarino.gov.co/expedientes/calidadambiental/aire/InformeAireAbril2017.pdf

Jimenez, Y. y Granados, R. (2015). *Análisis de la incidencia de la contaminación atmosférica sobre la presencia de enfermedades respiratorias agudas (ERA) en la localidad de Puente Aranda* (tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Recuperado de http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/4609/5/GranadosRojasRubenDario2015.pdf

Larsen, B. (2004). Cost of Environmental Damage: A Socio-Economic and Environmental Health Risk Assessment. Recuperado de http://www.bvsde.paho.org/texcom/cd050996/larsen.pdf

Muñoz, B. y Meza, J. (2016). *Estudio del comportamiento de las hospitalizaciones respiratorias en la población adulta de una EPS contributiva en la ciudad de Tulua-Valle del Cauca* (tesis de maestría). Universidad del Valle, Santiago de Cali, Valle del Cauca, Colombia. Recuperado de http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/13846/1/CB-0565919.pdf

Organización Mundial de la Salud. (1999). Guías de salud para incendios de vegetación (documento de orientación). Recuperado de https://www.paho.org/disasters/index.php?option=com_docman&view=download&category_slug=other-topics&alias=2046-guias-de-salud-para-incendios-de-vegetacion&Itemid=1179&lang=en

Organización Mundial de la Salud. (2006). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al meterial particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005. Recuperado de https://www.who.int/phe/health_topics/AQG_spanish.pdf

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2010). Perspectivas del Medio Ambiente: América Latina y el Caribe. Recuperado de https://www.paho.org/mex/index.php?option=-com_docman&view=download&category_slug=promocion-de-la-salud-y-reduccion-de-riesgos&alias=377-perspectiva-del-medio-ambiente-america-latina-y-el-caribe&Itemid=493

Gobernabilidad del agua en la microcuenca Ahumaya ubicada en el municipio de Yacuanquer, Nariño

Marcela Caterine Araujo Prado[128]
María Margarita Portilla González[129]

Resumen

La gobernabilidad del agua se refiere al rango de sistemas políticos, sociales, económicos y administrativos implementados para desarrollar y manejar los recursos hídricos y la entrega de servicios sanitarios en los diferentes niveles de la sociedad. Así pues, la investigación tiene como objetivo general, analizar la gobernabilidad del agua a partir de la Gestión Integral del Recurso Hídrico en la Microcuenca La Ahumaya en el municipio de Yacuanquer, para formular lineamientos que contribuyan al fortalecimiento de la gobernabilidad del agua.

De acuerdo a lo anterior, para lograr cumplir el objetivo, en primer lugar, se realizó una caracterización de la zona de estudio, con el fin de identificar la problemática que se presenta en la microcuenca, tanto en la parte alta, como en la media y baja, así como reconocer las veredas que se abastecen de esta fuente hídrica y los acueductos que prestan el servicio a la comunidad. Además, se consultó información secundaria de EOT, PBOT, PUEAA, para identificar las principales características de la zona en cuanto al recurso hídrico. Esta investigación comprende un desarrollo progresivo de diferentes etapas; en la primera se llevó a cabo visitas de campo, contando con el acompañamiento del presidente del grupo comunitario Tierrandina. Los principales problemas identificados dentro de la microcuenca Ahumaya son: el deterioro de la calidad del recurso hídrico, la deforestación, los vertimientos de residuos, la ganadería y agricultura, identificados en la parte alta, media y baja de la microcuenca. La gobernabilidad del agua es importante dentro del manejo de los recursos hídricos, pues tiene en cuenta factores como los conflictos socio-ambientales, participación ciudadana y actores sociales, los cuales van a determinar la forma de organización de la comunidad.

Palabras clave: actor social, gestión integral de recurso hídrico, gobernabilidad, lineamientos, participación ciudadana.

Governance of the Water in the micro watershed Ahumaya located in the municipality of Yacuanquer, Nariño

Abstract

Water governance refers to the range of political, social, economic and administrative systems implemented to develop and manage water resources and the delivery of health services at different levels of society. Thus, the research has as a general objective, to analyze water governance based on the Comprehensive Management of Water Resources in the La Ahumaya Microbasin in the municipality of Yacuanquer, to formulate guidelines that contribute to the strengthening of water governance.

For the fulfillment of the objective, a characterization of the study area was carried out in the first place, in order to identify the problem that occurs in the microbasin, both in the upper part, in the middle and lower part, and recognize the paths that supply this water source and the aqueducts that provide service to the community. In addition, secondary information was consulted to identify the main characteristics of the area regarding this resource. The research included a progressive development of different stages: in the first one, field visits were carried out, with the accompaniment of the president of 'Tierrandina' community group. The main problems identified within the Ahumaya microbasin were the deterioration of the quality of the water resource, deforestation, waste discharges, livestock and agriculture, identified in the upper, middle and lower parts of the microbasin. Water governance is important in the management of water resources, as it takes into account factors such as socio-environmental conflicts, citizen participation and social actors, which will determine the form of community organization.

Key words: social actor, integral management of the water resource, governance, guidelines, citizen participation.

Governança da água na microbacia Ahumaya localizada no município de Yacuanquer, Nariño

Resumo

A governança da água refere-se à gama de sistemas políticos, sociais, econômicos e administrativos implementados para desenvolver e gerenciar os recursos hídricos e a prestação de serviços de saúde em diferentes níveis da sociedade. Assim, a pesquisa tem como objetivo geral, analisar a governança da água com base na Gestão Integral de Recursos Hídricos na microbacia La Ahumaya, no município de Yacuanquer, para formular diretrizes que contribuam para o fortalecimento da governança da água.

Para o cumprimento do objetivo, foi realizada uma caracterização da área de estudo, em primeiro lugar, a fim de identificar o problema que ocorre na microbacia, tanto na parte superior, na parte média quanto na inferior, e reconhecer os caminhos que fornecem essa fonte de água e os aquedutos que prestam serviços à comunidade. Além disso, informações secundárias foram consultadas para identificar as principais características da área em relação a este recurso. A pesquisa incluiu um desenvolvimento progressivo de diferentes estágios: no primeiro, foram realizadas visitas de campo, contando com o acompanhamento do presidente do grupo comunitário 'Tierrandina'. Os principais problemas identificados na microbacia de Ahumaya foram: a deterioração da qualidade dos recursos hídricos, o desmatamento, as descargas de resíduos, a pecuária e a agricultura, identificados nas partes superior, média e baixa da microbacia. A governança da água é importante na gestão dos recursos hídricos, pois leva em consideração fatores como conflitos socioambientais, participação do cidadão e atores sociais, os quais determinarão a forma de organização da comunidade.

Palavras chaves: atores sociais, gestão integral do recurso hídrico, governança, diretrizes, participação cidadã.

Introducción

> La gobernabilidad del agua hace referencia a los procesos mediante los cuales se gestionan los asuntos colectivos e involucra la articulación de reglas de conducta y el acuerdo de principios para la asignación de recursos en el marco de una comunidad política. (Castro, 2005, p. 6).
>
> La gobernabilidad del agua tiene que ver con el uso y manejo de los recursos hídricos. La cual está determinada por la capacidad de los sistemas políticos, sociales, económicos y administrativos, para regular el desarrollo, la gestión y la provisión de servicios de agua a todos los sectores de la sociedad. (Rodríguez, 2012).

Una buena gobernabilidad del agua se ha considerado un proceso complejo, pues se ve influenciada por los principios de gobernabilidad de un país, así como también por sus costumbres, tradiciones, políticas, condiciones y, sobre todo, por la evolución económica global. Por lo tanto, para analizar la gobernabidad del agua en la microcuenca Ahumaya, en primer lugar, se realiza la caracterización de la zona de estudio con énfasis en el recurso hídrico.

[128] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: mararaujo@umariana.edu.co

[129] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: maportilla@umariana.edu.co

Desarrollo

Para llevar a cabo el desarrollo de la presente investigación y cumplir con los objetivos planteados, se elaboró una estrategia, la cual tiene diferentes actividades para obtener un producto; de esta manera para cumplir con el primer objetivo, el cual es la caracterización de la zona con énfasis en el recurso hídrico, la meta obtenida es la caracterización del recurso hídrico de la zona de estudio, la estrategia que se uso fue el reconocimiento de la zona, como también la recopilación de información secundaria en revisión bibliográfica.

Para cumplir las estrategias planteadas se realizó una serie de actividades, primero se llevó a cabo una visita de campo para reconocer la zona de estudio y la comunidad de las veredas aledañas a la microcuenca Ahumaya; posterior a esto, se identificaron las principales características de la zona en cuanto al recurso hídrico, por último, se consultó información secundaria en el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT), Plan de desarrollo Yacuanquer, con el fin de conocer las principales características sociales.

Después de realizar estas actividades, se obtuvo la zona de estudio caracterizada con énfasis en el recurso hídrico y se identificó las principales problemáticas que afectan el recurso hídrico de la zona.

Resultados

Caracterizar la zona de estudio con énfasis en el recurso hídrico

De acuerdo a la revisión de información secundaria, se encontró que según el plan de Uso Eficiente y Ahorro del Agua (PUEAA), la Subcuenca Media del río Guaitara, conformada por las microcuencas Telpiz–Tasnaque, tienen como nacimiento la laguna de Telpiz, además, tributan cuatro (4) nacientes subterráneos denominados “Ojos de Agua”, que afloran en la vereda de El Rosario. Microcuenca Ahumaya, que tiene como afluentes la quebrada La Guaca y la quebrada Chorrera Negra, cuyos nacimientos se encuentran en las faldas del Parque Nacional denominado “Santuario de Flora y Fauna Galeras”.

Además, según el PUEAA (2010), la microcuenca Ahumaya se encuentra ubicada dentro del Santuario de Flora y Fauna del Galeras, su fuente nace en el Cerro Jaramillo a 3.000 m s. n. m., su recorrido lo hace de oriente a occidente con una extensión de 15 km y desemboca en la subcuenca del río Guaitara, se caracteriza principalmente por las grandes pendientes al lado y lado de su cauce en la mayoría de su extensión; se observa además muy difundida la actividad agropecuaria a escasos metros de la corriente hídrica, lo cual genera contaminación orgánica y agroquímica producto de los lixiviados y el efecto erosivo.

Parte alta de la microcuenca Ahumaya

La parte alta se encuentra a 2.800 m s. n. m., actualmente tiene una vegetación muy densa, después de haber pasado por un proceso de restauración natural, como se pudo evidenciar durante la visita de campo, ya que en un tiempo se vio muy afectada e intervenida por la comunidad; era muy evidente la extracción de productos forestales como actividad económica y abastecedora para la preparación de alimentos en los hogares, además se confirmó durante la charla informal con los actores claves de la vereda. (Ver Figura 1).



Figura 1. Parte alta de la microcuenca.

De la misma manera, dentro de la información consultada y según se evidencia en la salida de campo, se observa que en este lugar se ha venido trabajando en reforestaciones por parte de CORPONARIÑO, esta reforestación se la ha hecho en la parte alta de la microcuenca sobre los pastizales que se utilizan para la ganadería, proceso que no ha sido efectivo, ya que no se ha hecho un constante seguimiento y evaluación de resultados. (Ver Figura 2).



Figura 2. Reforestación en la parte alta de la microcuenca

Asimismo, las principales actividades que se pudieron identificar son ganadería, uso de agua para riego, uso de agroquímicos, deforestación, quema de residuos, entre otras, las cuales hacen que se afecte directamente el equilibrio ecológico, por ende, afectan tanto la calidad como la cantidad de agua de las fuentes principales. Teniendo en cuenta que, el recurso hídrico está muy relacionado con la flora, sino se da un uso racional de este recurso, sobre todo en la parte alta, que es donde se encuentran los nacimientos de las fuentes, se tendrá como consecuencia la disminución del caudal o escases del recurso hídrico. Durante la visita de campo realizada el día 2 de agosto de 2017, fue posible evidenciar que aún existen prácticas de deforestación, presencia de ganado, grandes extensiones de pastizales, sobre todo, en la parte donde están ubicados los nacimientos de la microcuenca. (Ver Figura 3).



Figura 3. Deforestación y ampliación de la frontera agrícola en la parte alta de la microcuenca.

Parte media de la microcuenca Ahumaya

Según el PUEAA (2010), la parte media de la microcuenca Ahumaya se ubica a una altura de 2.414 m s. n. m., en la parte media alta se hallan los asentamientos humanos de la Guaca, Chapacual y Argüello Alto. Esta zona se caracteriza por tener tierras muy fértiles, por esta razón se sitúan, en su mayoría, actividades de agricultura y una parte a la siembra de árboles maderables, como también a la ganadería. Los cultivos en su mayoría son de cebolla, café, maíz, papa, mora, entre otros. También se encuentran grandes extensiones de pastizales dedicados a la cría de ganado. (Ver Figura 4).



Figura 4. Parte media de la microcuenca.

Parte baja de la microcuenca Ahumaya

La parte baja de la microcuenca Ahumaya se ubica a una altura de 2.216 m s. n. m., esta zona se caracteriza por presentar tipos de cultivos tales como frijol, plátano, caña de azúcar, café, maíz, tomate. La comunidad manifiesta que existe falta de recursos económicos para poder cultivar sus productos, ya que esta es una zona que por el clima medio seco es muy variable en cuanto a productos agrícolas. (Ver Figura 5).



Figura 5. Parte baja de la microcuenca

A continuación, se presenta una breve descripción de cada una de las veredas que se abastecen de la microcuenca Ahumaya, para la realizar sus necesidades

Vereda Argüello: Según la Secretaría de Planeación Municipal esta vereda tiene 624 habitantes, el número de viviendas es de 128, es una vereda que cuenta con un área aproximada de 7 km2, la densidad de la población es de 96 habitantes por cada km2, los asentamientos están ubicados principalmente en la parte baja de la vereda. El número de usuarios que se abastecen de la microcuenca sistema mixto Arguello es de 123, con una cobertura del 97 % (Oficina de Saneamiento Ambiental municipio de Yacuanquer, 2007). Dispone de una junta administradora, constituida por presidente, vicepresidente, secretario, tesorero y fiscal, quienes son los encargados de buscar al fontanero.

Con respecto a la influencia de los habitantes de esta vereda con la microcuenca Ahumaya, los principales usos son para satisfacer necesidades básicas, pero también aprovechan parte del agua para hacer pequeños regadíos en las parcelas. La vereda posee una escuela, en la cual se realizan las diferentes actividades comunitarias, tiene también una cancha de microfútbol, también se ha adecuado una capilla para los actos religiosos de los católicos, al igual, Argüello Bajo que cuenta con una escuela y cancha para la comunidad.

Vereda Chapacual: Según la Secretaría de Planeación Municipal, esta vereda tiene 964 habitantes y 177 viviendas, cuenta con una extensión de 12 km2, la densidad de la población es de 77 habitantes por cada km2. El número de usuarios que se abastecen del acueducto Chapacual es de 177, con una cobertura del 95 %. La junta administradora de acueducto la constituye el presidente, vicepresidente, secretario, tesorero y fiscal, encargada de nombrar al fontanero.

La vereda utiliza el agua de la microcuenca Ahumaya para consumo humano principalmente, esta es una de las veredas más extensas del municipio. La vereda dispone de una escuela en la cual se realizan las diferentes actividades comunitarias, una capilla en la cual se desarrollan las prácticas religiosas, un puesto de salud, y una oficina de inspección departamental.

Vereda La Guaca: Esta vereda cuenta con una extensión de 5 km2, con una densidad poblacional de 79 habitantes por km2. El número de habitantes de la vereda es de 393 y el número de viviendas es de 75 (Secretaría de Planeación Municipal). El número de usuarios del sistema mixto La Guaca es de 63, con una cobertura de 87 %. La junta administradora de acueducto la constituye el presidente, vicepresidente, secretario, tesorero y fiscal, encargada de nombrar al fontanero. Esta vereda se ha visto afectada por la falta de agua, más aún en época de verano; dispone de una escuela donde se concentran los habitantes para realizar actividades comunitarias, cuenta con una capilla pequeña para actividades religiosas. La microcuenca abastece en total a un número de usuarios de 353 legalmente inscritos.

Así mismo, se presentan los diferentes acueductos veredales, donde principalmente se abastecen tres veredas, a saber: Argüello, Chapacual y La Guaca, estas veredas cuentan con acueductos comunitarios, los cuales son administrados por las diferentes Juntas de Acueducto. (Ver Tabla 1).

Tabla 1. *Número de usuarios de los tres acueductos que abastece la Microcuenca Ahumaya*

Acueducto	Localidad que abastece	N° de habitantes	N° de viviendas	N° de usuarios	Cobertura del servicio (%)
Sistema mixto Arguello	Vereda Arguello alto y Arguello bajo	416	89	86	97
		208	39	37	97
Chapacual	Vereda Chapacual	964	177	167	95
Sistema mixto La Guaca	Vereda La Guaca	393	75	63	87

Fuente: Oficina de Saneamiento Ambiental Municipio de Yacuanquer, 2007.

Tabla 2. *Acueductos de las veredas y estado en que se encuentran*

Acueducto	Estado
Sistema mixto Arguello	El acueducto Arguello se encuentra en estado regular, puesto que este genera algunas perdidas en el sistema; dentro de la bocatoma se puede decir que no hay un buen caudal para operación del sistema, ya que se aumentado la demanda de agua para actividades básicas, para riego e hidratación de ganado, también existe grietas en las redes de distribución, ya que estas han cumplido su vida útil. Además, el estado del tanque desarenador presenta fugas, por lo tanto, el agua no permanece el tiempo suficiente para cumplir con el proceso de sedimentación.
Arguello	Dentro de la bocatoma se presenta reducción de caudal generado por la deforestación indiscriminada en la parte alta de la microcuenca, se presentan perdidas en los diferentes sistemas de distribución por no tener conexiones adecuadas, también se presenta disminución del volumen de agua disponible para los diferentes usuarios de la vereda, cabe resaltar que casi no se hace mantenimiento a la caja de captación por la distancia en que esta se encuentra.
Sistema mixto La Guaca	En este sistema hay un grave deterioro en la infraestructura, ya que se han ocasionado daños en las redes de distribución y en los diferentes tanques, este problema ha sido generado principalmente porque el acueducto se encuentra en una zona arbórea y las raíces de estos han dañado los tanques. Además su mantenimiento no es permanente.

Problemas identificados en la microcuenca

Deforestación. Hay una escasa protección, sobre todo en el lugar de nacimiento de la microcuenca, en este sitio se evidencia que gran parte del terreno se usa para adecuar pastizales con fines de cría y engorde de ganado. Aunque, este problema ha disminuido, aun seis familias de las veredas aledañas a la microcuenca siguen practicando esta actividad para su sustento. Como se dijo anteriormente se ha venido trabajando en reforestación en la parte alta, pero se debe tener en cuenta que este proceso se ha hecho en un terreno de pasto muy pequeño, además no se hace un seguimiento, según lo manifestado por la persona guía en la salida de campo.

Vertimiento de residuos. Dentro de los problemas que enfrenta la microcuenca Ahumaya están los vertimientos de residuos, tanto solidos como líquidos, que provienen de los asentamientos poblacionales y las actividades económicas que se realizan; así como la contaminación por agroquímicos generados por la actividad agropecuaria (lavado de bombas, escorrentías en ladera; herbicida y materia orgánica de animales).

Deterioro de la calidad de agua: Insuficiente control y manejo administrativo de los abastos de agua para consumo humano referidos a la obsoleta infraestructura y protección natural de los cuerpos de agua. Esto trae consigo otros inconvenientes, como el grave deterioro de las propiedades físicas, químicas y bacteriológicas de los cauces de agua en la microcuenca Ahumaya, la alteración de la calidad de las corrientes de agua superficiales y subterráneas por infiltración, generando residuos de materias fecales, Pérdida progresiva de las propiedades organolépticas (color, olor, turbidez y sabor) y alteración del pH y oxígeno disuelto, afectando los hábitats de la microflora y microfauna acuática.

Agricultura. Actualmente, las actividades agrícolas alrededor de la microcuenca han aumentado cada vez más y con ello también el aumento de uso de insecticidas, pesticidas y fertilizantes, que son utilizados con el fin de optimizar y mejorar el crecimiento de los cultivos para sacar mejores productos.

Ganadería: Este es un problema que se evidencia sobre la parte alta y media de la microcuenca, se ha convertido en una dificultad, puesto que los propietarios de los terrenos de la parte alta de la microcuenca han decidido expandir los terrenos para dedicarlos a la cría, engorde y venta de ganado, el problema se vuelve aún más grave, ya que se identificó excrementos de ganado sobre la fuente hídrica, pues el ganado usa el agua de la misma para su hidratación.

Conclusiones

Dentro de los problemas que se identificaron se encuentra la deforestació, que se evidencia en toda la microcuenca, así como también la contaminación de la fuente hídrica por residuos sólidos, principalmente en la parte media, quienes contribuyen a esta contaminación son personas externas a la microcuenca, como visitantes y dueños de fincas, que viajan sobre todo los fines de semana. También se presentan problemas como ganadería y agricultura, los cuales se presentan en la parte alta y media de la microcuenca, se debe tener en cuenta que estas actividades demandan grandes extensiones de terreno y, por lo tanto, van a deteriorar aún más la calidad y cantidad del recurso.

Referencias

Castro, J. (2005). Agua y Gobernabilidad: entre la ideología neoliberal y la memoria histórica. *Cuadernos del CENDES, 22*(59), 1-21.

Alcaldía Municipal de Yacuanquer Nariño. (2010). Plan de Uso Eficiente y Ahorro de Agua Municipio de Yacuanquer.

Alcaldía Municipal de Yacuanquer. (2014). Esquema de Ordenamiento Territorial Municipio de Yacuanquer Nariño (2014-2017).

Rodríguez, C. (2012). Gobernabilidad sobre el recurso hídrico en Colombia: entre avances y retos. *Gestión y ambiente, 15*(3), 99-112.

Análisis de producción y disposición de residuos sólidos en los bloques 1, 2 y 6 de la Universidad Santiago de Cali, Sede Pampalinda, Colombia

Carlos Guevara-Fletcher[130]
Linda Segura[131]
Carolina Useche-R[132]

Resumen

Los residuos sólidos (RS) son una problemática mundial. Colombia es uno de los países que necesita fortalecer los procesos de gestión ambiental para disposición, manejo y reciclaje de RS. Las universidades no escapan a esta problemática, el manejo de RS en las instituciones educativas públicas y privadas no se hace de manera eficiente. La Universidad Santiago de Cali (USC) busca la mejora continua en torno a temas ambientales, pretendiendo: 1) Caracterizar y clasificar RS generados en los bloques académicos (BA, edificios donde se imparte clases); 2) Comparar la producción de RS en los diferentes BA; y 3) Implementar opciones viables para la disposición de RS. Por ello, durante 6 meses (2018) se realizó la caracterización de RS (papel, cartón, pet, bolsas, icopor, vidrio, plástico, digitales, bolígrafos, metal, barrido, orgánico, tetrapack y otros) en tres BA en los pisos inferiores y superiores para dos de cuatro puntos ecológicos, utilizando una balanza digital dos días a la semana. En total se encontró 86.15 kg de RS, siendo la mayoría papel (26,9 %), pet (19,4 %) y plásticos (18,6 %) y bajos para bolígrafos y digitales con 0,4 y 0,1 %. Los bloques 1, 2 y 6 produjeron 14,9, 24,7 y 60,4 % de RS, siendo el papel, pet y plástico, abundantes en los tres bloques. Se concluye que la mayor cantidad de residuos es papel y en menor cantidad, los elementos digitales, siendo el bloque 6 el que más RS produce. Por lo tanto, es necesario implementar medidas educativas y normativas para disponer mejor los RS.

Palabras clave: bloques académicos, caracterización, disposición, producción, residuos sólidos, Universidad Santiago de Cali, Colombia.

[130] Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia. Correo electrónico: cefletcher8@hotmail.com

[131] Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia.

[132] Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia.

Analysis of solid waste production and disposal in blocks 1, 2 and 6 of the Santiago de Cali University, Pampalinda Headquarters, Colombia

Abstract

Solid waste is a global problem. Colombia is one of the countries that needs to strengthen the environmental management processes for disposal, management and recycling of this waste. Universities do not escape this problem, since the management of this waste in public and private educational institutions is not done efficiently. Santiago de Cali University seeks continuous improvement around environmental issues, aiming to: 1) Characterize and classify the waste generated in academic blocks (AB, buildings where classes are taught); 2) Compare the production of waste in the different AB; and 3) Implement viable options for the provision of the waste. Therefore, for six months (2018) the characterization of paper, cardboard, bags, polyethylene terephthalate (pet), icopor, glass, plastic, digital, pens, metal, scanning, organic, tetrapack and others, was carried out in three AB on the lower and upper floors for two of four ecological points, using a digital scale two days a week. In total, 86.15 kg of this waste was found, being the majority, paper (26.9%), pet (19.4%) and plastics (18.6%) and low for pens and digitals with 0.4 and 0.1 %. Blocks 1, 2 and 6 produced 14.9, 24.7 and 60.4% of paper, being pet and plastic abundant in the three blocks. It is concluded that the greatest amount of waste is paper and in less digital quantity, being block 6, the major productor of waste. Consequently, it is necessary to implement educational and regulatory measures to ensure a better disposition of the solid waste.

Key words: academic building, chacraterization, disposition, production, solid waste, Universidad Santiago de Cali, Colombia.

Análise da produção e disposição de resíduos sólidos nos blocos 1, 2 e 6 da Universidade Santiago de Cali, Sede Pampalinda, Colômbia

Resumo

Os resíduos sólidos (RS) são um problema global. Colômbia é um dos países que precisa fortalecer os processos de gestão ambiental para disposição, gestão e reciclagem desses resíduos. As universidades não escapam a esse problema, uma vez que o gerenciamento desses resíduos em instituições educacionais públicas e privadas não é feito com eficiência. A Universidade Santiago de Cali busca a melhoria contínua em torno das questões ambientais, com o objetivo de: 1) Caracterizar e classificar os resíduos gerados em edifícios acadêmicos (EB, salas de aula); 2) Comparar a produção de resíduos nos diferentes EB; e 3) Implementar opções viáveis para a provisão dos resíduos. Portanto, durante seis meses (2018) a caracterização de papel, papelão, sacolas, tereftalato de polietileno (pet), icopor, vidro, plástico, digital, canetas, metal, digitalização, orgânico, tetrapack e outros, foi realizada em três EB nos andares inferior e superior de dois dos quatro pontos ecológicos, usando uma balança digital dois dias por semana. No total, foram encontrados 86,15 kg de RS, sendo a maioria papel (26,9%), pet (19,4%) e plástico (18,6%) e baixa para canetas e digitais com 0,4 e 0,1%. Os edifícios 1, 2 e 6 produziram 14,9, 24,7 e 60,4% de papel, sendo abundantes em pet e plásticos nos três edifícios. Conclui-se que a maior quantidade de resíduos é de papel e em menor quantidade digital, sendo o edifício 6, o maior produtor de resíduos. Consequentemente, é necessário implementar medidas educacionais e regulatórias para garantir uma melhor disposição dos resíduos sólidos.

Palavras-chave: edifícios acadêmicos, caracterização, disposição, produção, resíduos sólidos, Universidade Santiago de Cali, Colômbia.

Introducción

Los residuos sólidos han ocasionado impactos ambientales negativos debido a su disposición inadecuada (Sánchez, 2002). A medida que se incrementa la población mundial es notorio el aumento de las necesidades de distintos materiales y con ello la compra de materias primas que no tienen una buena práctica de disposición final (Castrillón y Puerta, 2004). Así, los procesos de transformación industrial junto con la publicidad evidente para compra de productos ocasiona que se alteren los hábitos de consumo de los individuos, quienes a su vez no tienen conciencia sobre el depósito final de los residuos (Deus, Gomes y Ribeiro, 2017). En la actualidad se trata de implementar procesos o planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS). Este proceso hace parte de una integralidad de técnicas y metodologías que van desde: la educación ambiental, la separación en la fuente, la transformación o la disposición final de los residuos (Castrillón y Puerta 2004), todo ello realizado con el fin de conocer el tipo, cantidades y disposición de los residuos sólidos en cualquier entidad (Deus et al., 2017).

En Colombia, la producción de desechos sólidos aumentó durante los últimos tres años, de 30,886 toneladas diarias en 2015 (Leal y Bolaños, 2015) a 32,876 toneladas en 2017 (Colombia genera 12 millones de toneladas de basura y solo recicla el 17 %) (Leal y Bolaños, 2015), es decir, el país, tuvo un incremento de producción del 6,44 % en dicho período. Estas cifras

resultan preocupantes al considerar que la población del país en 2017 era de 49 millones de acuerdo a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2016). Según Leal y Bolaños (2015) cada colombiano producía un estimado de 0,24 toneladas al año.

Los residuos sólidos son una parte integral de las actividades que se realizan en cualquier instalación de cualquier entidad. Considerando que dentro de las etapas del ciclo de vida de los residuos (generación, transportación, almacenamiento, recolección, tratamiento y disposición final), las empresas constituyen el escenario fundamental en el que se desarrollan y se vinculan las diferentes actividades asociadas al manejo de los mismos (Foucault, 1966).

Entidades como las universidades son generadores de residuos, principalmente sólidos urbanos y de manejo especial (los que producen los laboratorios y/o servicios generales) (Zhang, Willians, Kemp & Smith, 2011; Gallardo, Edo-Alcón, Carlos & Renau, 2016). En años recientes se han realizado diversos estudios sobre la generación y el reciclaje de residuos por universidades de todo el mundo (Cortinas, 2002; Espinosa et al., 2008). En la mayoría de universidades con buenas aplicaciones de PGIRS, la principal estrategia de reducción en la cantidad de residuos ha consistido en llevar a cabo medidas de reciclaje, reutilización o donación de materiales que se puedan utilizar nuevamente (Fournier, 2009; Atherton & Giurco, 2011). Así, en distintas entidades educativas también se han implementado otras medidas, por ejemplo, el compostaje de los residuos orgánicos, uso de biofertilizantes y acondicionadores de suelos, entre otros, las cuales son técnicas que pueden aprovechar distintos tipos de residuos (Zhang et al., 2011; Gallardo et al., 2016).

El continente americano y sus universidades no escapan a la problemática en el manejo de los residuos sólidos. Países como México con la Universidad Iberoamericana (Ruiz, 2009) y la Universidad Tecnológica de Salamanca (Vargas, Alvarado, López y Cisneros, 2015); Estados Unidos con la Universidad Autónoma de Baja California (Armijo de Vega, Ojeda-Benítez, Ramírez-Barreto y Quintanilla-Montoya, 2006) y El Salvador con la Universidad Católica de El Salvador (Lucero, 2015), han caracterizado los residuos sólidos, encontrando que la producción per cápita de basuras es grande y por tanto no se tiene un buen aprovechamiento.

En el caso de la Universidad Santiago de Cali, sede Pampalinda, existe un problema similar, porque no se fomenta una correcta disposición y tratamiento de la basura que a diario se produce en el campus. Se hace necesario, entonces, crear una cultura del reciclaje para una buena disposición de los residuos sólidos (Leal y Bolaños, 2015). Se debe tener en cuenta que muchos de los factores sobre la inadecuada disposición de RS por parte de la comunidad universitaria son culturales y de costumbre, por lo tanto, la Educación Ambiental es de vital importancia para identificar las herramientas comportamentales de cambio en la población y así poder concientizar a las personas en cuanto al manejo de estos residuos sólidos.

Este estudio se lleva a cabo por dos razones fundamentales, por un lado, si se conoce la cantidad de basura (diagnóstico) que se produce dentro de la universidad, se pueden implementar medidas que ayuden a disminuir las cantidades producidas, a usar materiales amigables con el medio ambiente; y por el otro, al determinar el tratamiento que se hace de los residuos sólidos, se puede saber si se está contribuyendo al reciclaje o no, y en qué medida se aporta debido a una buena disposición de los mismos en donde corresponde (Medina, 1999). De esta manera, el objetivo es analizar el proceso de producción y disposición de los residuos sólidos y su manejo, en los bloques académicos 1, 2 y 6 de la universidad Santiago de Cali sede Pampalinda durante el año 2018.

Metodología

Este estudio se realizó en la Universidad Santiago de Cali sede Pampalinda, durante seis meses del año 2018. La universidad cuenta con ocho bloques y el boulevard con locales de comidas, parqueaderos y cancha de futbol y amplias zonas verdes (ver Figura 1). Se realizó una investigación cuantitativa observacional en los bloques académicos (edificios donde se imparten clases magistrales, no laboratorios ni administrativos) correspondientes a 1, 2 y 6. Se pesó y clasificó los residuos sólidos ubicados en los pisos inferiores, es decir, piso 1 para bloques 1 y 2; piso 2 para bloque 6 y superiores piso 4 para bloque 2 y piso 5 bloques 1 y 6 del campus. Se escogieron los pisos inferiores y superiores en un supuesto de un gradiente de mayor a menor afluencia de personas en los edificios.

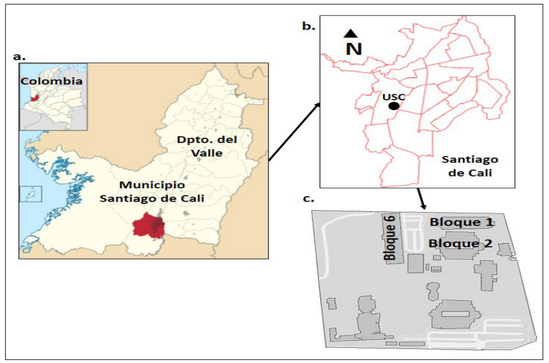


Figura 1. a. Localización del departamento (Dpto) del Valle en Colombia; b. la Universidad Santiago de Cali (USC) en el municipio de Santiago de Cali; c. Bloques académicos donde se realizaron los muestreos de los residuos sólidos.
Fuente: www.cali.gov.co y google map 2018.

La investigación se realizó en tres fases, descritas a continuación:

Fase I: se organizó las zonas de recolección de residuos en los bloques ya mencionados en un mapa de ubicación, esto con el propósito de tener una mejor organización y seguimiento. Para el pesado del material se utilizaron dos grameras marca Trumax modelo Mix-A con capacidad de pesado de 3.000 gr, guantes latex y carnaza, tapabocas y una canasta plástica verdulera en donde se colocaron los residuos para clasificarlos y pesarlos.

Fase II: el muestreo para la caracterización de los residuos sólidos se realizó 2 veces por semana de manera aleatoria, evaluando periodo académico (abril, mayo, agosto y septiembre) y vacacional (junio y julio). Se tomaron al azar dos puntos verdes por cada piso, clasificando cada caneca de basura. Se clasificaron 14 tipos de residuos: plástico, papel, digitales, cartón, pet, icopor, vidrio, bolsas plásticas, bolígrafos, metal, material orgánico, barrido, tetrapack, y otros.

Fase III: La información recolectada se analizó gracias a la construcción de una hoja de cálculo electrónica en Microsoft Excel. Se realizaron análisis estadísticos descriptivos para comparar las cantidades del tipo de residuos encontrados en cada bloque académico y cada piso de la universidad. También se realizaron análisis bivariados entre mes a mes frente a basuras, periodo de estudio y en tiempo vacacional. Además, se calculó la producción per cápita determinado con la ecuación:

Producción perCápita (PCC) = Producción total/ No. Muestras x mes.

Así mismo se realzaron análisis de ANOVA para comparar las diferencias de la cantidad de desechos entre los pisos/niveles inferior y superior de los bloques académicos (nivel de significancia $p < 0.05$).

Resultados

Desde abril hasta septiembre de 2018, fueron colectados un total de 86 150 gr de basura en los bloques académicos 1, 2 y 6, siendo el bloque 6 el que mayor cantidad de basura registró con el 60,4 % respecto al total, mientras que en los bloques 1 y 2 fue de 14,9 y 24,7 %, respectivamente.

La producción per cápita evidenció que junio fue el mes con una mayor cantidad de basuras, seguido de abril; mientras que septiembre y mayo fueron los meses con menor cantidad de residuos. (Ver Tabla 1).

Tabla 1. *Producción per cápita del total de basuras registradas entre abril y septiembre de 2018 en los bloques académicos 1, 2 y 6 de la Universidad Santiago de Cali*

Mes de muestreo	Producción per Cápita (PCC) en gramos (gr)
Abril	1070,8
Mayo	42,6
Junio	1399,8
Julio	116,2
Agosto	77,9
Septiembre	16,9

Referente a los totales de los pisos inferiores y superiores de los bloques analizados, se evidenció que no hubo diferencias significativas ($P <$

0.01) frente a la colecta total de residuos. Los dos pisos inferiores analizados registraron el 47,9 %, mientras los dos superiores fue de 52,1 % (ver Tabla 2). Sin embargo, existió una leve diferencia de colecta entre el piso inferior y superior de los bloques 1 y 6, que no sobrepasa en promedio el 6 % de diferencia. Por otra parte, en el bloque 2 fue la basura levemente superior en el último piso con una diferencia de 5,7 % (ver Figura 2).

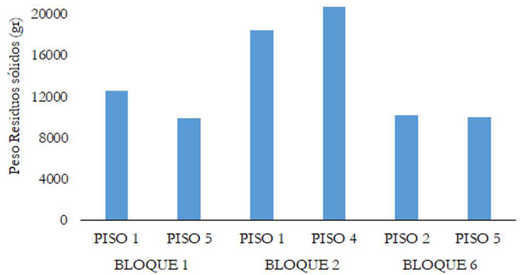


Figura 2. Distribución de residuos por bloque.

Tabla 2. *Registro total de residuos sólidos en los pisos inferiores 1 y 2 y superiores 4 y 5 de los bloques académicos No. 1, 2 y 6 de la Universidad Santiago de Cali, Sede Pampalinda, Colombia*

Total Piso 1 (%)	Total Piso 2 (%)	Total Piso 4 (%)	Total Piso 5 (%)
36,1	11,8	24,5	27,6

El análisis para los 14 distintos tipos de residuos colectados mostró diferencias en sus registros. Así el papel, seguido de las botellas Pet y el plástico, en el total, fueron los más abundantes. Al contrario, los materiales que en menor cantidad son desechados en un orden de mayor a menor por parte de la comunidad universitaria fueron: digitales, bolígrafos y bolsas. Cabe resaltar el registro de otros tipos de material encontrados, entre los que se encontraban la madera, cabello de personas, escombros de construcción y restos de tela (ver Tabla 3).

Tabla 3. *Cantidad de residuos sólidos registrados en los bloques 1, 2 y 6 de los pisos 1 y 2 y 4 y 5 de la Universidad Santiago de Cali, Sede Pampalinda, Colombia. En gris los residuos más abundantes y en negro los de menor cantidad*

Tipo Residuo	Porcentaje (%)
Papel	26,9
Cartón	8,7
Pet	19,4
Bolsas	0,6
Ícopor	4,7
Vidrio	1,3
Plástico	18,6
Digitales	0,1
bolígrafos	0,4
Metal	1,5
Barrido	1,7
Orgánico	11,3
Tetrapack	1,5
Otro	3,2

En cuanto a la colecta de los desechos en cada uno de los bloques se encontró que, al igual que los totales registrados, el papel, las botellas pet y los plásticos son los materiales mayormente dispuestos en los recipientes de basura. Así mismo, sucedió con la menor cantidad de residuos registrados para las bolsas y los bolígrafos para los bloques 1 y 2 y los bolígrafos y digitales para el bloque 6. Cabe resaltar que en los bloques 1 y 2 no se registró material digital (ver Tabla 4).

Tabla 4. *Representación porcentual de los diferentes tipos de residuos para cada uno de los bloques estudiados, 1 2 y 6 de la Universidad Santiago de Cali, sede Pampalinda, Colombia. En gris los residuos más abundantes y en negro los menos.*

Tipo residuo	Bloque 1 (%)	Bloque 2 (%)	Bloque 6 (%)
Papel	30,5	23,9	27,2
Cartón	8,1	12,2	7,4
Pet	18,4	18,8	19,9
Bolsas	0,2	0,1	1,0
Icopor	3,7	6,1	4,3
Vidrio	2,3	1,8	0,9
Plástico	12,8	20,4	19,3
Digitales	0,0	0,0	0,2
bolígrafos	0,9	0,4	0,3
Metal	3,4	1,0	1,2
Barrido	3,0	1,5	1,5
Orgánico	11,1	9,0	12,3
Tetrapack	2,6	1,4	1,3
Otro	2,9	3,5	3,2

La recolección de los residuos en los pisos inferiores y superiores mostró similitud a lo retirado en los totales de las bolsas de los bloques. Se confirmó que el papel en los pisos superiores e inferiores de los bloques 1, 2 y 6, las botellas pet en los bloques 1 y 2 (ambos pisos) y 6 (piso superior) son los materiales que más se tiran a la basura. Resaltar el material orgánico con un valor alto para el piso 2 del bloque 6. Mientras que las bolsas fueron uno de los elementos con menor registro de captura en ambos pisos para todos los bloques. Se evidenció en orden descendente el barrido, tetrapack y bolígrafos como los materiales con poca representación en algunos de los pisos de los bloques. Finalmente, los elementos digitales no se desechan en ninguno de los dos pisos excepto en el piso 5 del bloque 6 (ver Tabla 5).

Tabla 5. *Representación porcentual de los diferentes tipos de residuos para cada uno de los bloques estudiados, 1 2 y 6*

	Bloque 1		Bloque 2		Bloque 6	
Tipo de Residuo	Piso 1 (%)	Piso 5 (%)	Piso 1 (%)	Piso 4 (%)	Piso 2 (%)	Piso 5 (%)
Papel	31,4	22,4	28,9	19,8	15,6	39,6
Cartón	5,1	9,6	8,5	9,2	11,6	5,3
Pet	17,9	21,5	20,5	25,7	13,7	15,6
Bolsas	0,6	0,7	0,6	0,2	0,5	1,0
Icopor	4,1	3,8	8,1	1,9	4,0	4,0
Vidrio	0,2	3,0	1,3	0,0	1,7	0,4
Plástico	20,6	14,0	14,3	22,8	16,9	17,6
Digitales	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0
bolígrafos	0,8	0,3	0,0	0,0	0,5	0,3
Metal	3,0	2,7	1,2	0,8	0,3	1,3
Barrido	2,5	1,7	2,0	1,7	2,3	1,4
Orgánico	8,3	11,6	11,1	17,3	25,9	8,8
Tetrapack	2,6	2,9	1,4	0,4	0,4	0,8
Otro	2,9	5,8	2,2	0,0	5,9	4,0

Discusión

Los residuos sólidos pueden generar impactos negativos al ambiente y al ser humano por causa de un manejo inadecuado. Por tal razón, las universidades deben contemplar su manejo en las etapas de generación, recolección y disposición final (Ríos y Echeverri, 2012). Para la Universidad Santiago de Cali es la primera vez que se realiza un estudio de residuos sólidos para los bloques académicos. Ya que los estudios existentes siempre se han realizado determinando el total emitido por la universidad, pero no contabilizan lo que se emite por cada zona o área, como el estudio realizado la USC en 2012. Antes de realizar cualquier análisis de basuras para elaborar planes de gestión es importante implementar medidas en cada una de las áreas, para que las personas reconozcan el tipo y la cantidad de residuos que generan.

El presente estudio, realizado durante seis meses, no muestra una clara relación en torno a la disposición de residuos en una u otra temporada de clases en la institución. En un semestre normal la programación de clases esta establecida desde febrero hasta principios de junio, con un período de vacaciones que se extiende entre mediados de junio hasta principios de septiembre. Es evidente, en este estudio, que la producción per cápita fue mayor en abril y junio y baja en mayo y septiembre. Al parecer, los meses de más alta producción coinciden con las fechas de realización de exámenes académicos (parciales) del primer y último corte académico y con

ellos las habilitaciones de las asignaturas con lo cual se aumenta el número de estudiantes y personal docente, estudiando y presentando exámenes, como elaborándolos, respectivamente. En contraste, septiembre el mes más bajo es lógico, ya que al inicio de semestre los estudiantes están realizando sus procesos de matrícula financiera y académica o han alargado sus vacaciones antes de iniciar formalmente las clases.

Comparando los registros obtenidos en el presente trabajo con algunos otros estudios realizados en distintas universidades a nivel nacional (Pontificia Bolivariana de Bucaramanga, Corporación Universitaria Lasallista, Universidad del Valle, Universidad Jorge Tadeo Lozano) e internacional (Instituto Tecnológico de Costa Rica, Tabriz University, University of Northern Brithish Columbia, Universidad Jaume I), se puede evidenciar cómo en todas las universidades, al igual que para la Universidad Santiago de Cali, el papel es el tipo de residuo sólido que más se genera, pero en segundo lugar se encuentra el pet, seguido del plástico y lo orgánico, mientras que el digital registra la menor cantidad. Es evidente que el papel es uno de los insumos necesarios para las distintas actividades que se realizan en una entidad académica, ya que los temas de estudio son su razón de ser (Escobar, 2014).

Sin embargo, hay que tener en cuenta que los datos para las otras universidades son dados para el total de residuos colectados; mientras que los obtenidos en el presente estudio son solamente para los bloques académicos uno, dos y seis. Así mismo, cabe tener en cuenta que en general todas las universidades reúnen los residuos, registrando muchos de ellos en un solo grupo o en su defecto, no se analizan otros residuos que también podrían registrarse, por ejemplo, los digitales, bolsas o los bolígrafos.

Tabla 6. *Comparación del total del tipo de residuos desechados entre otras universidades a nivel mundial y los residuos de encontrados en los bloques académicos de la Universidad Santiago de Cali*

Universidad/tipo de basura (%)	Papel	Cartón	Pet	Bolsas	Icopor	Plástico	Digitales	Bolígrafos	Metal	Orgánico	Observación
UPBB	15-20	05-8	05-10						2-5		Toda la Universidad
CUL	50	21				21			0.2		Toda la Universidad
UNIVALLE	26	6.5				15			0.7		Toda la Universidad
UJTL		6	3	<1	1.8	6.4			<1		Toda la Universidad
ITC	88					1.6			<1		Toda la Universidad
TU	40-45										Toda la Universidad
UNBC	29		5.2			8.1	<1		<1	28.4	Toda la Universidad
UJI	30					12.4			3.9	45.8	Toda la Universidad
Este studio USC	26.9	8.7	19.4	<1	4.7	18.6	<1	<1	1.5	11.3	Bloques académicos

UPBB: Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga; CUL: Corporación Universitaria Lasallista; Univalle: Universidad del Valle; UJTL: Universidad Jorge Tadeo Lozano; ITC: Instituto Tecnológico de Costa Rica; TU: Tabriz University; UNBC: University of Northern Brithish Columbia; UJI: Universidad Jaume I.

Fuente: Castrillón y Puerta, 2004; Romero, Salas y Jiménez, 2008; Smyth, Fredeen y Booth, 2010; Espinosa, 2011; Castillo y Luzardo, 2013; Suarez y Cardona, 2014; Gallardo et al., 2016; Rayhani, Aslhashemi y Alizadeh, 2018.

Debido a ello los resultados del presente estudio permitieron determinar el tipo y la cantidad de residuos sólidos que se generaron en los bloques académicos de la Universidad Santiago de Cali. Con estos análisis se pueden tomar medidas y planes de gestión que permitan adoptar una cultura de reciclaje en la comunidad universitaria. El propósito a futuro será contribuir a la sostenibilidad del ambiente desde el sector académico.

Conclusiones

Se encontró un total de 86 150 gr de residuos sólidos distribuidos casi uniformemente 50/50 entre los pisos inferiores y superiores de los bloques 1, 2 y 6 de la Universidad Santiago de Cali.

Junio fue el mes con mayor producción per cápita de basura y el menor mes fue septiembre.

El papel fue el residuo sólido mayormente encontrado en cada piso y en los tres bloques académicos, mientras que el digital obtuvo la menor cantidad y representación porcentual de la Universidad Santiago de Cali.

En general, las universidades a nivel mundial desechan una gran cantidad de papel, el cual podría evidentemente reciclarse.

Referencias

Armijo de Vega, C., Ojeda-Benítez, S., Ramírez-Barreto, E. y Quintanilla-Montoya, A. (2006). Potencial de reciclaje de los residuos de una institución de educación superior: el caso de la Universidad Autónoma de Baja California. *Ingeniería, 10*(3), 13-21.

Atherton, A. & Giurco, D. (2011). Campus sustainability: climate change, transport and paper reduction. *International journal of sustainability in higher education, 12*(3), 269-279. doi: 10.1108/14676371111148054

Castillo, L. y Luzardo, M. (2013). Evaluación del manejo de residuos sólidos en la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga. *Revista Facultad de Ingeniería, UPTC, 22*(34), 71-84.

Castrillón, O. y Puerta, S. (2004). Impacto del manejo integral de los residuos sólidos en la corporación universitaria lasallista. *Revista Lasallista de Investigación, 1*(1), 15-21.

CEPAL. (2016). Recuperado de https://www.cepal.org

Cortinas, C. (2002). Manuales para regular los residuos con sentido común, contaminación por residuos, prevención y remediación Manual 2 Contaminación por residuos: prevención y remediación. Recuperado de http://centro.paot.mx/documentos/varios/manual_2.pdf

Deus, R., Gomes, R. y Ribeiro, G. (2017). Current and future environmental impact of household solid waste management scenarios for a region of Brazil: carbon dioxide and energy analysis. *Journal of cleaner production, 155*, 218-228.

Escobar, B. (2014). *Percepción del manejo de residuos sólidos en la comunidad de la Pontificia Universidad Javeriana – 2014* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. Colombia.

Espinosa, O. (2011). *Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos – PGIRS para la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

Espinosa, R., Turpin, S., Polanco, G., De la Torre, A., Delfín, I. & Raygoza, I. (2008). Integral urban solid waste management program in a Mexican university. *Waste Management, 28*(1), S27-S32. doi: 10.1016/j.wasman.2008.03.023

Foucault, M. (1996). *El pensamiento del afuera* (Trad. M. Lázaro). España: Pre-textos.

Fournier, M. (2009). Recycle This A look at Campus Recycling Programs. En W. Simpson (Ed.). *The Green Campus: Meeting the Challenge of Environmental Sustainability.* Alexandria, Virginia, EUA: APPA (Association of Superintendents of Buildings and Grounds).

Gallardo, A., Edo-Alcón, N., Carlos, M. & Renau, M. (2016). The determination of waste generation and composition as an essential tool to impro-

ve the waste management plan of a university. *Waste management, 53*, 3-11. doi: 10.1016/j.wasman.2016.04.013

Leal, P. y Bolaños, D. (2015). Diagnóstico ambiental de los restaurantes y puestos de comida ubicados en una universidad colombiana. *Magazín Empresarial, 11*(26), 21-27.

Medina, M. (1999). Reciclaje de desechos sólidos en América Latina. *Frontera Norte, 11*(21), 7-31.

Rayhani, R. D., Aslhashemi, A. A., & Alizadeh, H. (2018). Analyzing Recyclable Solid Wastes in Tabriz University of Medical Sciences Campus. *Taṣvīr-i salāmat, 9*(1), 39-45.

Ríos, K. y Echeverry. G. (2012). Diagnóstico preliminar, base para la construcción de un Programa de Manejo de Residuos Sólidos. *Gestión y Ambiente, 15*(1), 143-150.

Romero, L., Salas, J y Jiménez, J. (2008). Manejo de desechos en universidades. Estudio de caso: Instituto Tecnológico de Costa Rica. *Tecnología en Marcha, 21*(3), 33-41

Sánchez, G. (2002). Desarrollo y medio ambiente: una mirada a Colombia. *Economía y desarrollo, 1*(1), 80-98.

Smyth, D, Fredeen, A. & Booth, A. (2010). Reducing solid waste in higher education: The first step towards 'greening' a university campus. *Resources, Conservation and Recycling, 54*(11), 1.007–1.016.

Suarez, S y Cardona, S. (2014). Diagnostico ambiental de la universidad del valle. Informe Técnico Ambiental.

Universidad Santiago de cali (USC). (2012). Manual para la gestión integral de los residuos comunes y peligrosos. Informe técnico.

Vargas, O., Alvarado, E., López, C. y Cisneros, V. (2015). Plan de manejo de residuos sólidos generados en la Universidad Tecnológica de Salamanca. *Revista Iberoamericana de Ciencias, 2*(5), 83-91.

Zhang, N., Williams, I. D., Kemp, S., & Smith, N. F. (2011). Greening academia: Developing sustainable waste management at Higher Education Institutions. *Waste management, 31*(7), 1.606-1.616. doi: 10.1016/j.wasman.2011.03.006

Escenarios de cambio climático en un suelo de bosque

Pedro Bacca Acosta[133]
Jean Alexander León Guevara[134]
Juan Fernando Muñoz Paredes[135]

Resumen

Los estudios de la diversidad de especies en los ecosistemas terrestres han permitido determinar de manera confiable su estabilidad; sin embargo, las alteraciones antrópicas y naturales sugieren grandes transformaciones y afectaciones en su funcionamiento, considerando que su distribución define las interacciones del ecosistema con los factores biogeográficos, geológicos y ecológicos. Por otra parte, la variabilidad climática ha generado diferentes alteraciones en los biomas y ecosistemas, y con relación a la distribución espacial y temporal de la diversidad biológica, específicamente en la zona de páramo, se ha identificado cambios considerables en estos ecosistemas. Por ello, en esta investigación se propone la implementación de cinco estrategias, con el fin de promover el desarrollo sustentable, contribuyendo además a la conservación, al manejo adecuado de los recursos naturales y a la gestión interinstitucional con miras a la reducción de CO2. Las estrategias de conservación en estos sistemas paramunos se basan en los resultados de la distribución de macroinvertebrados, bajo tres escenarios temporales 2014, 2020 y 2050, generados con el programa Maxent en un suelo de bosque, considerado como un nicho ecológico para la familia Glossoscolecidae.

Palabras clave: cambio climático, gestión, macroinvertebrados, suelo.

[133] Universidad de Nariño. Investigador, Corpoica, Grupo Cambio Climático y Sostenibilidad. Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: pedroingeagro@gmail.com

[134] Universidad Mariana, Grupo GIA, Grupo Cambio Climático y Sostenibilidad. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: jleon@umariana.edu.co

[135] Universidad Mariana, Grupo GIA, Grupo Cambio Climático y Sostenibilidad. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: jfmunoz@umariana.edu.co

Climate change scenarios in a forest soil

Abstract

Although studies of the diversity of species in terrestrial ecosystems have allowed us to reliably determine their stability, the anthropic and natural alterations suggest major transformations and effects on their functioning, considering that, their distribution defines the interactions of the ecosystem with biogeographic factors, geological and ecological. On the other hand, climatic variability has generated different alterations in biomes and ecosystems; in relation to the spatial and temporal distribution of biological diversity specifically in the moorland area, considerable changes in these ecosystems have been identified. For this reason, the present investigation proposes the implementation of five strategies, in order to promote sustainable development, so that it contributes to the conservation, proper management of natural resources and inter-institutional management, with the purpose of reducing the CO2. The conservation strategies in these paramunos systems are based on the results of the distribution of macroinvertebrates, under three time scenarios: 2014, 2020 and 2050, generated with the Maxent program, in a forest floor considered as an ecological niche for the Glossoscolecidae family.

Key words: climate change, management, macroinvertebrates, soil.

Cenários das mudanças climáticas em um solo florestal

Resumo

Embora estudos sobre a diversidade de espécies em ecossistemas terrestres tenham nos permitido determinar com segurança sua estabilidade, as alterações antrópicas e naturais sugerem grandes transformações e efeitos em seu funcionamento, considerando que sua distribuição define as interações do ecossistema com fatores biogeográficos, geológicos e ecológicos. Por outro lado, a variabilidade climática gerou diferentes alterações nos biomas e nos ecossistemas; em relação à distribuição espacial e temporal da diversidade biológica especificamente na área de paramo, foram identificadas mudanças consideráveis nesses ecossistemas. Por esse motivo, a presente investigação propõe a implementação de cinco estratégias, a fim de promover o desenvolvimento sustentável, de modo a contribuir para a conservação, o manejo adequado dos recursos naturais e o gerenciamento interinstitucional, com o objetivo de reduzir o CO2. As estratégias de conservação nesses sistemas paramunos são baseadas nos resultados da distribuição de macroinvertebrados, em três cenários: 2014, 2020 e 2050, gerados com o programa Maxent, em um solo de floresta considerado um nicho ecológico para a família Glossoscolecidae.

Palavras-chave: mudanças climáticas, manejo, macroinvertebrados, solo.

Introducción

El estudio de la diversidad de especies en los ecosistemas terrestres ha permitido determinar de manera confiable su estabilidad, sin embargo y teniendo en cuenta las alteraciones antrópicas y naturales que estos han venido sufriendo durante las últimas décadas, sugieren grandes transformaciones y afectaciones en su funcionamiento, ya que su distribución define sus interacciones con el ecosistema, los factores biogeográficos, geológicos y ecológicos.

Así también y a pesar de los avances en su estudio de la diversidad de especies, la información disponible es limitada, incompleta y poco confiable, ha surgido así su análisis por medio de modelos que generan escenarios para predecir su posible distribución con un alto grado de confiabilidad permitiendo hacer suposiciones certeras acerca de su distribución. Se ha convertido la modelación del hábitat como una herramienta en la actualidad para mejorar este conocimiento, identificando información sobre los requerimientos ambientales de estos (Nazeri et al., 2012).

El programa Maxent, el cual es considerado un modelo de buen desempeño, utiliza datos de presencia y variables ambientales (Cruz-Cárdenas, Villaseñor, López-Mata, Martínez-Meyer, & Ortiz. 2014), permitiendo estimar la probabilidad de distribución de una especie encontrando su máxima entropía, es decir, lo más dispersa o cercana a la uniformidad posible, pero sujeta a un conjunto de restricciones que representan la información incompleta que se tiene sobre esta (Phillips, Anderson, Schapire, R. 2006).

En este sentido, el objetivo de la presente investigación fue identificar el comportamiento de la macrofauna en un suelo de bosque en Parque Natural Regional Páramo Paja Blanca, de la familia *Glossoscolecidae* identificada como la más representativa, en tres escenarios de cambio climático 2014, 2020 y 2050, utilizando el principio de máxima entropía, con el fin de identificar estrategias que contribuyan a la conservación de este sistema estratégico.

Materiales y Métodos

Este artículo es el resultado de la investigación denominada *Análisis de la vulnerabilidad del Páramo Paja Blanca, realizada en la Facultad de Posgrados y Relaciones Internacionales, programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad Mariana.*

Localización del estudio

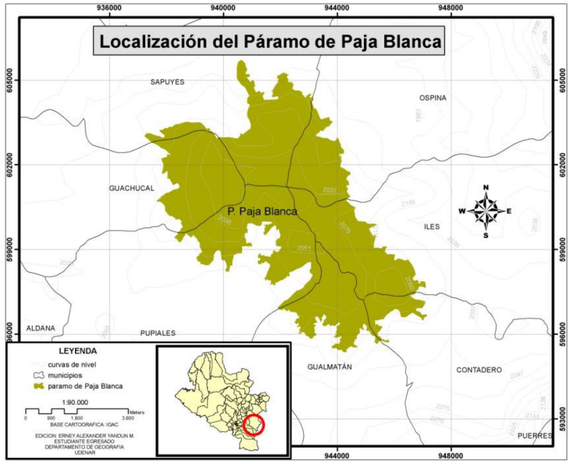


Figura 1. Localización del área de estudio.
Fuente: Corporación Autónoma Regional de Nariño, 2007.

Esta investigación se realizó en la región altoandina denominada el Páramo Paja Blanca, actualmente reconocido como Parque Natural Regional (PNR) Páramo de Paja Blanca, que se localiza en la zona sur-oriental del departamento de Nariño, cubre 24 veredas de la parte alta de los municipios de Iles, Ospina, Sapuyes, Gualmatán, Pupiales, Guachucal y El Contadero, con una superficie por municipio de 608 ha 181 ha, 213 ha, 504 ha, 907 ha, 223 ha y 468,79 ha respectivamente. Esta región también hace parte de la zona fisiográfica conocida como el Nudo de los Pastos, en donde se distribuyen los ecosistemas de alta montaña: Páramo, Subpáramo y Bosque Altoandino, siendo el área distribuida en bosque natural denso con 1.593 ha, bosque natural fragmentado 598 ha, vegetación de páramo y subpáramo 469 ha y mosaicos de pastos y cultivos con 447 ha (Delgado et al., 2010).

Montaje en laboratorio

Este montaje permitió colocar una muestra de suelo no disturbado sobre el embudo que se encuentra encima de un envase con alcohol. Posteriormente, a través de una bombilla de 100 watts se deseca la muestra desde arriba. A medida que la tierra se comienza a secar, los pequeños invertebrados de la muestra se mueven hacia abajo, cayendo eventualmente en el contenedor de alcohol donde mueren y se preservan para ser clasificados

en los diferentes grupos funcionales. Una vez recolectada la macrofauna existente para cada estrato y uso, en recipientes alcohol al 70 %, etiquetados previamente según las características del sitio de colecta, se identificaron con la ayuda de estereoscopios hasta nivel de familia con el apoyo de claves taxonómicas.

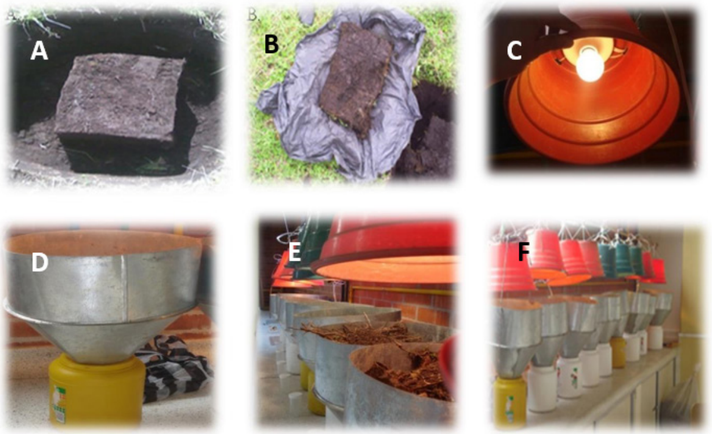


Figura 2. A Marcación del monolito, B. Corte del monolito por profundidades, C, D, E, F. Separación de macrofauna con embudo de Berlese.

Modelación

Para la modelación de distribución de la familia *Glossoscolecidae*, se trabajó el programa Maxent. Versión 3.3.1, que a su vez utiliza un algoritmo determinístico (sequential update algorithm) (Martínez, 2010), el cual asigna distintos pesos a las variables utilizadas y las ajusta para finalmente converger en la distribución de probabilidades Maxent.

Se utilizó como insumos, los registros de presencia de la especie de estudio; su preparación consistió en obtener los registros de ocurrencia de la familia evaluada, registros obtenidos en la etapa inicial del trabajo de campo a través del registro de latitud y longitud, altitud, localidad y tipo de dato, para el uso de suelo de bosque, datos que posteriormente fueron transformados a "shapefile" y cargados en ArcGis 9.3, para visualizar espacialmente los registros y revisar que las coordenadas se encontraran dentro de los límites de la zona de estudio que es donde se distribuye la especie.

Las variables ambientales o capas climáticas en formato ASCII fueron obtenidas de la página de WorldClim: BIO1 = La temperatura media anual, BIO2 = media de amplitud diurna (media del mes (temperatura máxima temperatura de 0 min)), BIO3 Isothermality = (P2/P7) (* 100), BIO4 = Temperatura Estacionalidad (desviación estándar * 100), BIO5 = Temperatura máxima del mes más cálido, BIO6 = Temperatura mínima del mes más frío, BIO7 = amplitud térmica anual (P50P6), BIO8 = temperatura media del trimestre más húmedo, BIO9 = temperatura media del trimestre más seco, BIO10 = temperatura media del trimestre más cálido, BIO11 = temperatura media del mes más frío Barrio, BIO12 = Precipitación anual, Bio13 = Precipitación del mes más lluvioso, BIO14 = Precipitación del mes más seco, Bio15 = Precipitación Estacionalidad (Coeficiente de Variación), BIO16 = Precipitación del Trimestre más húmedo, BIO17 = Precipitación del trimestre más seco, BIO18 = Precipitación del Trimestre más cálido, BIO19 = Precipitación del Trimestre más frio, las cuales fueron utilizadas para correr el modelo.

Estos datos de ocurrencia y las variables ambientales en MaxEnt fueron cargados para efectuar la corrida, así se seleccionaron el 100 % de los datos, conjuntamente, se realizó un muestreo aleatorio para extraer el 75 % de los registros con los que entrenó el algoritmo y un 25 % con los que se evaluaron los modelos.

El formato de salida seleccionado fue el logístico, el cual proporciona un estimado entre cero y uno de probabilidad de presencia (0, 1) (Jiménez. & Decaëns, 2000). Los parámetros fijados para calibrar el modelo son los recomendados (Phillips & Dudik, 2008) con un número máximo de iteraciones = 1000; regularización = 1.0; convergencia umbral = 0.000001; en "random test porcentaje" se introdujo el 25, número que indica el programa que debe escoger de manera aleatoria y apartar el 25 % de los registros de presencia de *Glossoscolecidae* para usarlos en la prueba. Esto permite al programa efectuar algunos análisis estadísticos simples.

Para la realización del modelo se eliminaron los datos duplicados, es decir, en aquellos pixeles donde se encuentre más de un punto de presencia se consideró solo uno de los datos. La mayor parte de los análisis emplean dos usan un umbral para hacer una predicción binaria, estando las condiciones adecuadas por arriba de dicho umbral y las inadecuadas por debajo.

Obteniendo la primera modelación con los datos suministrados, se verificó qué variables ambientales son las más significativas; es decir, que variable están causando mayor influencia en la distribución potencial del nicho evaluado. Con ello, se discriminó las variables ambientales de menor intervención, para volver a modelar y obtener resultados más confiables y más ajustados.

> Una vez obtenido el mapa de distribución espacial de especies, los resultados encontrados fueron complementados y verificados con parámetros que proporciona el programa, como el área bajo la curva (AUC), con el que indica el índice de probabilidad de que los sitios de presencia fueran clasificados al azar como sitios de ausencia. Los modelos arriba de 0.75 son considerados potencialmente útiles (Banda, Torres, Alatorre y Wiebe, 2015, p. 353).

A fin de calcular la contribución relativa de cada variable al modelo, se corrió la prueba de "jackknife" seleccionando "Do jackknife to measure variable importance" de la casilla de verificación de comandos del modelo MaxEnt; la cual es una técnica de remuestreo sin remplazo, que consiste en "corregir el estimador inicial con base en el promedio de los m estimadores que se obtienen al aplicar el procedimiento inicial de estimación a cada una de las submuestras que resultan al eliminar una observación de la muestra inicial" (Banda et al., 2015, p. 354). Es una técnica de simulación que reutilizan los datos observados para constituir un universo del cual extraer repetidas muestras (Martínez, Sanabria & María 2012).

Por último, entre los resultados obtenidos del proceso de modelación están las imágenes de distribución potencial de familia evaluada, indicando la probabilidad de ocurrencia de la especie en los diferentes escenarios de cambio climático. Estas imágenes se obtienen en formato ASCII a nivel de país, y para poder trabajarlas fue necesario proyectarlas en el programa Arc Gis 9.3, en el cual se las trasformo en formato raster, para poder determinar la resolución de las mismas, la cual fue de 100 x 100 m. para cada pixel.

Por otra parte, se consiguió información cartográfica en la Institución Agustín Codazzi del departamento de Nariño. Información en formato shape, la cual

fue utilizada para delimitar la zona de trabajo sobre las imágenes proyectadas por el programa. Por tal motivo, fue necesario nuevamente trasformar las imágenes de raster a polígonos, para que se las pueda recategorizar en cuatro probabilidades de ocurrencia: probabilidad alta (70-100 %), probabilidad media (50-70 %), probabilidad baja (30-50 %), y probabilidad muy baja (030 %); las cuales son indicadas en tonalidades más intensas para probabilidad alta y las tonalidades menos intensas como probabilidades más bajas. Permitiendo de esta forma establecer los sitios potenciales de la familia *Glossoscolecidae* y establecer diferencias en términos de áreas ganadas y pérdidas, según esto tomar medidas o alternativas de mitigación o adaptación, producto de los efectos del cambio climático.

Resultados

Modelación de la familia Glossoscolecidae para los usos de suelo de bosque

En la Figura 3 se muestra la imagen obtenida del programa Maxent para el uso de suelo bosque, la cual se encuentra en formato ASCII, así mismo, presenta diferentes tonalidades de colores en un rango de cero a uno, donde uno es catalogado como alto grado de probabilidad de ocurrencia y se presenta con un color rojo más intenso, además está el valor 0 el cual es evaluado como sitio de probabilidad de ocurrencia nula y se muestra con color azul.

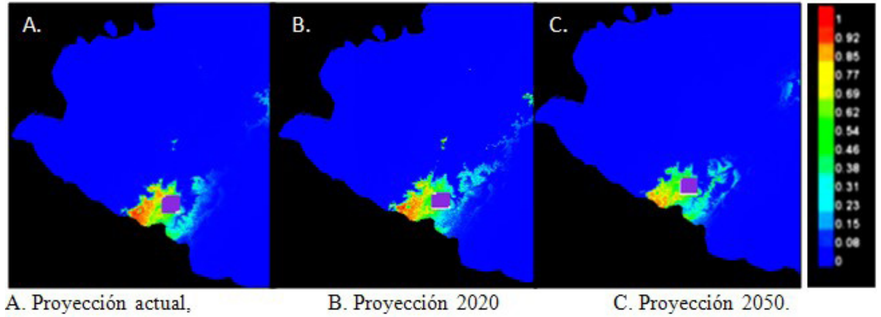
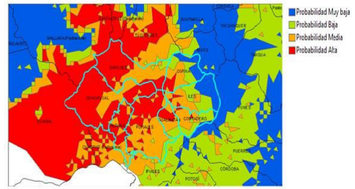


Figura 3. Imagen de probabilidad de distribución para familia *Glossoscolecidae,* obtenida a través del programa MaxEnt. Uso de suelo Bosque.

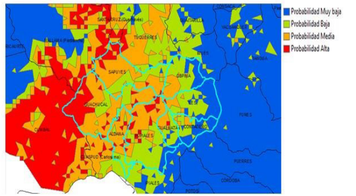
Por otra parte, en la Figura 4 se muestra la reclasificación en escenarios actual, 2020 y 2050 de las imágenes obtenidas del programa Maxent. Reclasificación que se hizo con el programa Arc Gis 9.3, teniendo en cuenta el color rojo para establecer la probabilidad alta, naranja para probabilidad media, verde para probabilidad baja y azul para probabilidad muy baja.

En esta imagen se puede apreciar que para la proyección 2020 hay una pérdida de área de probabilidad alta en la zona de estudio con respecto a la proyección actual, sin embargo para el año 2050 se incrementa nuevamente, de igual forma se observa que el área con probabilidad media aumenta para el año 2020 y disminuye para el año 2050. Resultado que permite indagar sobre las variables influyeron para que se de esta situación, variables que más adelante se mencionará.

A



A. Proyección (2014)



B. Proyección 2020.

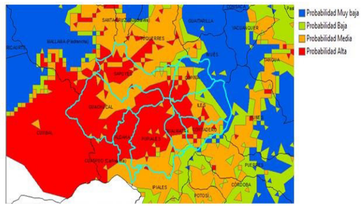


Figura 4. Mapas reclasificados en las cuatro probabilidades de ocurrencias; Alta, Media, Baja, Muy baja. Uso de suelo Bosque.
Fuente: la presente investigación.

Con relación a los municipios, en la Figura 4 se muestra que en la proyección 2014 hay municipios fuera de la zona de estudio que presentan altas probabilidades de ocurrencia para la familia *Glossoscolecidae*, como son los municipios de Cumbal, Túquerres y Santa Cruz de Guachaves.

Así mismo se puede observar que en la proyección 2020 existe una disminución de áreas con alta probabilidad de ocurrencia y de probabilidad media. Sin embargo, en la proyección 2050 se establece que esta área perdida se recupera en los municipios mencionados anteriormente y además se visualizan nuevos municipios como Pupiales, Gualmatan y Contadero.

Tabla 1. Área estimada bajo diferentes probabilidades en variables escenarios climáticos. Uso de suelo Bosque

	Uso de suelo bosque		
	Área proyección Actual (ha)	Área proyección 2020 (ha)	Área proyección 2050 (ha)
Probabilidad alta	87,203	49,963	88,581
Probabilidad media	64,522	65,983	96,122
Probabilidad baja	109,512	91,121	100,032
Probabilidad muy baja	2,699,858	113,507,446	2,683,456

Fuente: la presente investigación.

Con el fin de corroborar los resultados de la Figura 4, se muestra en la Tabla 1, la diferencia de áreas en cada proyección y se puede observar en el escenario 2020 hay una disminución casi del 50 % del área con probabilidad alta de ocurrencia con respecto a los escenarios actual y 2050. De la misma manera, se indica que en la proyección 2050 hay un aumento considerable de probabilidad media de ocurrencia con respecto al escenario actual y 2020.

Con el objeto de establecer que tan confiables son estos resultados Maxent presenta las gráficas AUC (ver Figura 5).

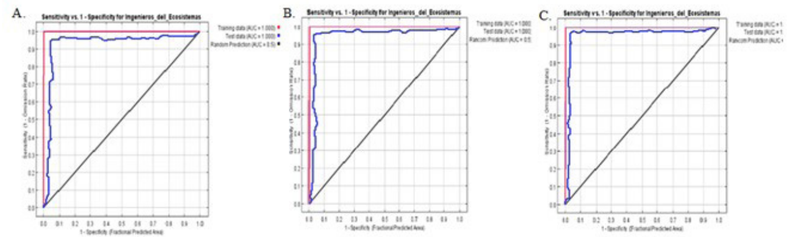


Figura 5. Área bajo la curva AUC. Uso de suelo Bosque.

En la Figura 5 se muestra la AUC, la cual puede tener un valor entre 0 y 1 esta gráfica nos permite establecer el grado de confiabilidad del modelo, donde modelos con valores por encima de 0.75 son considerados potencialmente útiles y por debajo de este valor son considerados no confiables (Phillips & Dudík 2008).

Para este caso, el modelo generado en esta investigación presentó un AUC con valores de 0.999, 0.987 y 0.972 respectivamente. Las líneas azul y roja son idénticas, ya que para esta corrida del modelo se usó los mismos datos para el entrenamiento y para la prueba (Phillips, Anderson & Schapire, 2006).

En esta investigación se utilizó el 25 % de los datos, por lo tanto, es normal que la curva roja (entrenamiento) muestre una mayor AUC que la curva azul (prueba). La curva roja (entrenamiento) representa el ajuste del modelo a los datos de entrenamiento y es la auténtica prueba de la capacidad que tienen los modelos de predecir. La línea negra muestra lo que esperaríamos si el modelo no fuese mejor que el azar. Si la curva azul (la curva de prueba) estuviera por debajo de la línea negra, entonces indicaría que su modelo se desempeña peor de lo que lo haría un modelo aleatorio. Por el contrario, cuanto más se aproxime la curva azul a la esquina superior izquierda, mejor es el modelo para predecir las presencias contenidas en la muestra de prueba de los datos (Phillips et al., 2006).

Teniendo en cuenta las variables ambientales que contribuyeron para el desarrollo de este modelo se obtuvieron los porcentajes de contribución (ver Tabla 2).

Tabla 2. *Porcentajes de contribución de las capas al modelo realizado por Maxent. Uso de suelo Bosque*

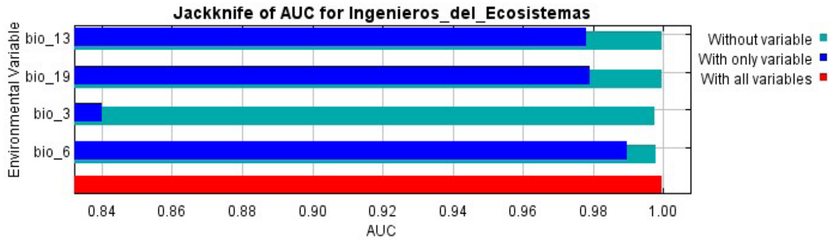
Proyección Actual (2014)		Proyección 2020		Proyección 2050	
Variable	Contribución porcentual	Variable	Contribución porcentual	Variable	Contribución porcentual
bio_6	63.3	bio_6	56.6	bio_6	56.3
bio_19	15	bio_19	21.5	bio_19	19.5
bio_3	13.3	bio_5	19.6	bio_3	15.5
bio_13	8.3	bio_3	2.4	bio_16	6.3
		bio_8	0	bio_5	2.4

Estos valores de contribución porcentual únicamente están definidos de manera heurística, ellos dependen de la ruta particular que usa el código MaxEnt para obtener la solución óptima y un algoritmo diferente podría obtener la misma solución por medio de una ruta distinta, lo cual resultaría en valores de contribución porcentual diferentes.

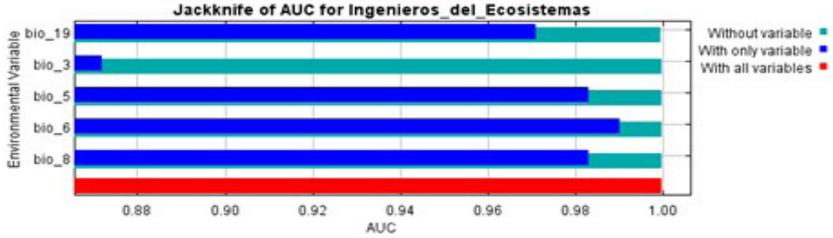
Aunque la Tabla 2 muestra que MaxEnt usó la variable “BIO 6” correspondiente a la “Temperatura mínima del mes más frio” en los tres escenarios más que cualquier otra, pero usó muy poco de la BIO 13, 3 y 5 respectivamente en los tres escenarios que corresponden a “Precipitación del mes más lluvioso, Isothermality y Temperatura máxima del mes más cálido”, esto no necesariamente implica que la BIO 6 sea mucho más importante para la especie que otra variable evaluada.

Así que, a fin de estimar cuales son las variables más importantes al modelo, se hizo el análisis “jackknife” (ver Figura 6), encontrando que la bio 6 (Temperatura mínima del mes más frío) seguida de la bio 19 (Precipitación del Trimestre más frio) y la bio13 (Precipitación del mes más lluvioso) son las variables más importantes para la predicción del modelo en la proyección actual. En la proyección 2020 se tiene que las variables bio 6 (Temperatura mínima del mes más frío) seguida de la bio 5 (Temperatura máxima del mes más cálido) y la bio 8 (temperatura media del trimestre más húmedo) son las variables más importantes para la predicción del modelo en la proyección, y en cuanto a la proyección 2050 se tiene que la bio 19 (Precipitación del Trimestre más frio), seguida de la bio 6 (Temperatura mínima del mes más frío) son las variables que predicen mejor el modelo.

Proyección (2014)



Proyección 2020



Proyección 2050

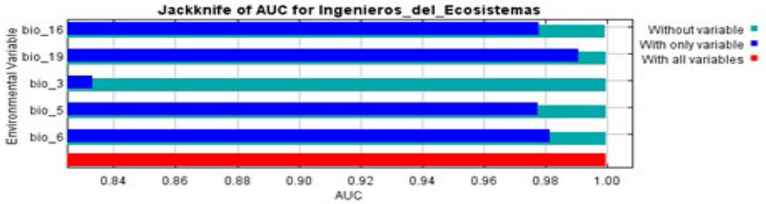


Figura 6. Análisis de Jacknife para familia *Glossoscolecidae*, uso de suelo bosque.

Las barras azul claro sugieren que ninguna variable contiene la cantidad suficiente de información útil que no esté contenida en las otras variables, el color azul significa que se corre el modelo con solo la variable que se quiere analizar y el color rojo significa que se corre el modelo con todas las variables.

Análisis y Discusión

Influencia del cambio climático sobre la distribución espacial de especies

Hay un consenso sobre el impacto del cambio climático en los ecosistemas, en este sentido es altamente probable que se genere una alteración en el rango de distribución de las especies (Van Zonneveld, Jarvis, Dvorak, Lema & Leibing, 2009). Así mismo, el cambio climático tendrá efectos negativos, pero también tendrá efectos positivos sobre la distribución de áreas con potencial para el desarrollo de diferentes ecosistemas (Leguía, Soudra y Rugnitz, 2010) Los cambios negativos se evidencian en el desplazamiento de las zonas adecuadas para el desarrollo de diferentes especies, mientras que los cambios positivos pueden verse en el incremento de las áreas con condiciones ambientales favorables para otras especies.

Los cambios medioambientales afectarán [la flora y la fauna] en diferentes maneras. Algunas especies tendrán rangos reducidos, mientras que otras especies podrían expandir sus rangos de distribución, y otras pueden extinguirse, especialmente si los cambios continúan por periodos prolongados o si el cambio en el medio ambiente es demasiado rápido para que las especies puedan adaptarse (Leguía, Soudra y Rugnitz, 2010, p. 13).

Lo anterior corrobora la importancia de esta investigación y más aún si el ecosistema que se está tratando es de alta fragilidad como el de páramo. Con el software Maxent se puede cubrir una de las necesidades más importantes dentro de las estrategias de conservación, que es la priorización de áreas privilegiadas para la conservación; permitiendo localizar sitios donde la especie en cuestión, para este caso la familia *Glossoscolecidae*, se pueda distribuir potencialmente, dirigiendo los esfuerzos de conservación, así como sugerir prácticas más ecológicas y amigables para garantizar la permanencia de la misma especie. Van Zonneveld et al. (2009) establecen que la modelación de distribución de especies, al igual que los modelos climáticos, puede ayudar a determinar las poblaciones con mayor riesgo e identificar donde se necesitan medidas urgentes de conservación de recursos genéticos.

Así mismo indica que, la modelación de distribución de especies permite identificar el posible rango en el que esta especie puede ocurrir de manera natural. Pearson y Dawson (2003) mencionan que, a pesar de sus limitaciones, se considera que los modelos de nicho son una herramienta útil para establecer una visión inicial del impacto potencial del cambio climático en la distribución de especies.

Con respecto al uso de suelo bosque, los resultados encontrados permiten identificar diferencias en las tres proyecciones, para el año 2020 se produjo una considerable reducción de alta probabilidad de ocurrencia, que fue alrededor del 50 % con relación a la proyección actual y 2050, de igual manera se pudo establecer en el año 2050 un incremento de área con relación a la proyección actual (2014), tanto para probabilidad alta como para probabilidad media de ocurrencia de la familia estudiada.

Ahora bien, las variables ambientales que contribuyeron para estos resultados en cada escenario, se estableció que para la proyección actual la bio 6 (Temperatura mínima del mes más frío), bio 19 (Precipitación del Trimestre más frio) y bio 13 (Precipitación del mes más lluvioso) fueron las que estuvieron presentes; para la proyección 2020 se encontró la bio 6 (Temperatura mínima del mes más frío), bio 5 (Temperatura máxima del mes más cálido) y bio 19 (Precipitación del Trimestre más frio); y para la proyección 2050 estuvo la bio 19 (Precipitación del Trimestre más frio), bio 6 (Temperatura mínima del mes más frío) y bio 16 (Precipitación del Trimestre más húmedo).

Lo anterior indica que las variables involucradas tienen que ver con la humedad, y si consideramos la morfología y fisiología de la especie, ésta se desarrolla en sitios húmedos. Según la investigación realizada por Hernández-Valencia y López-Hernández (1999), en la que estudia la densidad de oligoquetos durante diferentes épocas del año en diferentes usos de suelo, se encontró que durante la época de lluvias este género se incrementó a nivel de perfiles y de uso de suelo a pesar de los efectos antrópicos presentados.

De manera similar Jiménez y Decaëns (2000), en su estudio establece que la familia *Glosscolecida*e se mantienen en capullo de manera inactivo energético hasta que lleguan las temporadas de lluvia, época favorable para su reproducción. Según Gallisian (1971), a este receso de actividades se lo conoce como diapausa, que tiene como finalidad el ahorro energético para épocas y ambientes adecuadas de reproducción.

De la misma forma, Jiménez et al. (1998), mencionan que la humedad del suelo es un factor importante y determinante en la distribución vertical y horizontal de las lombrices en cada uno de sus estaciones de desarrollo. Esto probablemente podría explicar la disminución considerable del área con alta probabilidad de ocurrencia de la familia *Glossoscolecidae* para el año 2020, si recordamos en este escenario una de las variables climáticas que más influenció, la bio 5 (Temperatura máxima del mes más cálido), por lo tanto, esta variable ambiental puede afectar su distribución espacial potencial para la familia la familia *Glossoscolecidae*.

Por otra parte, teniendo en cuenta los municipios de distribución, se encontró buenos resultados en la proyección actual para la zona del páramo Paja Blanca, e incluso se proyectan en zonas que se encuentran fuera del área de estudio, como los municipios de Cumbal, Mallama y Tuquerres.

Se estableció también una preocupante disminución de área para el año 2020, probablemente causada por la bio 5 como se mencionó antes, donde se ven afectados los ocho municipios que conforman la estrella hídrica Páramo Paja blanca, y lo más preocupante es que esta zona no se redistribuye, es decir, no se crean nuevas zonas de nicho ecológico, sino que por el contrario el hábitat para esta especie se reduce. Pearson & Dawson (2003) mencionan que los cambios negativos se evidencian en el desplazamiento de las zonas adecuadas para el desarrollo de diferentes especies, mientras que los cambios positivos pueden verse en el incremento de las áreas con condiciones ambientales favorables para otras especies.

Con los resultados obtenidos de la caracterización de la macrofauna se permite obtener una línea base acerca de la biodiversidad del suelo y el estado de conservación del ecosistema páramo de Paja Blanca.

Con respecto a la modelación espacial de macrofauna del suelo en diferentes escenarios de cambio climático, a través de la familia *Glossoscolecidae,* considerada como bioindicador de un ecosistema (Salamanca y Chamorro, 1994), se estima cúal será la influencia del clima sobre esta familia en un futuro, y con ello los diferentes componentes que interactúan e influyen sobre este agroecosistema.

Alternativas de conservación

Se plantean diferentes alternativas de mitigación y adaptación ante el cambio climático, tomando como referencia general los resultados encontrados de la modelación de nichos ecológicos realizados con el programa Maxent, donde la BIO 1 (temperatura media anual) y la BIO 9 (temperatura media del trimestre más seco) probablemente causaron disminución o perdida de áreas potenciales para la especie de estudio en los diferentes usos de suelo.

Fortalecimiento de las capacidades

Proporcionar a los productores el conocimiento necesario para lograr la adaptación y mitigación oportuna de los efectos del cambio climático sobre la producción agrícola y pecuaria.

Líneas de acción: Proveer asistencia técnica a los productores para el manejo sostenible de los recursos naturales.

Actividades:

- Establecer Escuelas de campo con enfoque de agricultura, ganadería sostenible para las familias en los territorios ambientalmente más vulnerables.
- Proveer asistencia técnica para la administración, uso adecuado del agua y cosecha para cultivos agrícolas.
- Fomentar el aprovechamiento sostenible de las energías renovables. (MP)
- Implementar programas de prácticas y obras de conservación de suelos, agua y agroforestería.
- Promover la agroforestería en los sistemas de producción existentes.
- Promover cultivos que respondan mejor a los impactos de cambio climático y las necesidades de regenerar suelos y ecosistemas, capturar CO_2.

Líneas de acción: Capacitar a los productores y productoras sobre el manejo adecuado de los desechos sólidos y líquidos, así como de su aprovechamiento en los procesos productivos.

Actividades:

- Potenciar la utilización de los desechos de las actividades agropecuarias para la elaboración de insumos en la producción y la alimentación animal.
- Establecer programas de aprovechamiento de los desechos sólidos para la producción de energía y otros productos relacionados.
- Promover escuelas de campo con énfasis en la producción ecológicamente amigable.
- Promover la capacitación en buenas prácticas agrícolas, manejo de plagas y enfermedades, así como la prevención, protección y restauración en zonas vulnerables.

Líneas de acción: Proporcionar a los productores el conocimiento necesario para lograr la adaptación y mitigación oportuna de los efectos del cambio climático sobre la producción agrícola y pecuaria.

Actividades:

- Capacitar a los actores de las cadenas productivas sobre requerimientos de calidad de insumos con estándares ambientales.
- Organización y asesoramiento a las familias productoras en la implementación de planes de negocios verdes.
- Capacitar a productores y productoras en técnicas de uso y aprovechamiento sostenible de los servicios y productos del bosque.
- Asesorar a los productores y productoras agrícolas, pecuarias, forestales en la aplicación de buenas prácticas de producción y manufactura.
- Promover la implementación de sellos verdes para la producción agropecuaria.
- Capacitar a los productores agrícolas, pecuarios, en el uso adecuado de plaguicidas.

Innovación y Transferencia Tecnológica

Brindar las herramientas tecnológicas necesarias a los productores y productoras para la mitigación de los efectos del cambio climático para así contribuir a garantizar la seguridad alimentaria de la población.

Líneas de acción: Poner a disposición de los productores y productoras la tecnología e información necesaria para la mejor adaptación y mitigación del cambio climático.

Actividades:

- Crear un sistema de monitoreo y alerta temprana para la determinación de los posibles impactos de los fenómenos naturales sobre la producción agrícola, pecuaria, forestal.
- Promover la adopción de nuevas tecnologías más amigables con el medio ambiente en la agricultura y ganadería.
- Implementar proyectos de investigación, validación y transferencia con énfasis a la adaptación al cambio climático en los rubros agrícolas, pecuarios, forestales.
- Construcción de obras de captación de agua en los lugares de nacimiento de agua.

Cooperación Interinstitucional

Establecer los vínculos de cooperación interinstitucional necesarios para lograr una implementación efectiva de las diferentes actividades encaminadas a la conservación de este ecosistema paramuno ante el cambio climático.

Líneas de acción: Consolidar alianzas de cooperación con los principales actores e instituciones involucrados dentro de este territorio.

Actividades:

- Proveer de infraestructura para el establecimiento de sistemas de riego en las zonas con mayor vulnerabilidad.
- Coordinar junto con los actores locales del páramo Paja Blanca la implementación de prácticas y obras de conservación de suelo, así como de otras medidas que se identifiquen conjuntamente y que contribuyan a reducir la vulnerabilidad de este ecosistema.
- Promover el establecimiento de convenios de cooperación financiera con instituciones de fomento y apoyo a las actividades productivas y de conservación con los actores de los territorios.

Gestión de los ecosistemas forestales para mitigar la vulnerabilidad al cambio climático y mejorar la capacidad de captura de carbono

Capturar CO_2 a través del componente arbóreo en zonas de alta influencia antropogénica.

Líneas de acción: Implementación del componente arbóreo.

Actividades:

- Identificación de sitios potenciales para reforestación que contribuya además a preservar el recurso hídrico.
- Implantación de sistemas silvopastoriles y silvoagricola según lo requiera.
- Campañas de restauración ecológica en aquellos sitios de pie de monte que contribuyan a la preservación y la expansión de la biodiversidad del lugar.
- Promover a través de educación ambiental la conservación de parques naturales.

Pago por servicios ambientales

Concientizar sobre el que contamina paga.

Líneas de acción: Ética social.

Actividades:

- Promoción de tecnologías que controlen o reduzcan las emisiones antropogénicas ocasionadas por agricultura o ganadería de GEI, con el objetivo final de conseguir la mayor eficiencia energética posible.
- Instrumentos de regulación como normatividad para grandes problemas de contaminación local.
- Implementar instrumentos de mercado, como impuestos, subsidios y permisos transferibles.
- Implementar instrumentos de responsabilidad moral (acuerdos, voluntarios, educación y sensibilización ambiental).
- Impuestos sobre emisiones, tasas por servicio o vertimiento, permisos de emisiones transferibles, entre otros.

Conclusiones

La distribución potencial de la familia evaluada en la modelación mostró una estrecha relación con las variables climáticas BIO 13, correspondiente a precipitación del mes más lluvioso y BIO 19 correspondiente a la Precipitación del Trimestre más frio, ya que probablemente tenga que ver con la fisiología y morfología de la misma.

La distribución potencial de esta familia permite además tener una concepción acerca de lo que será el futuro de los usos de suelo en este ecosistema paramuno. Por lo tanto, es importante tomar medidas que incentiven su establecimiento o manejo adecuado de los mismos.

Las alternativas de conservación propuestas a los productores son la base conceptual necesaria para lograr consolidar acciones que aproximen a las comunidades localizadas en el parque regional a la toma de decisiones, para lograr la adaptación y mitigación en los ecosistemas estratégicos.

Referencias

Banda, J., Torres, M., Alatorre, L. y Wiebe, L. (2015). Distribución potencial de la guacamaya verde (ara militaris) en el Estado de Chihuahua México mediante el método de máxima entropía. En L. Alatorre., M. Torres., H. Rojas., L. Bravo., L. Wiebe., F. Sandoval. y E. López (Coord.) *Geoinformática aplicada a procesos geoambientales en el contexto local y regional: teledetección y sistemas de información geográfica* (pp. 341-367). México: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Cruz-Cárdenas, G., Villaseñor, J., López-Mata, L., Martínez-Meyer, E. y Ortiz, E. (2014). Selección de predictores ambientales para el modelado de la distribución de especies en Maxent. Revista Chapingo. *Serie ciencias forestales y del ambiente, 20*(2), 187-201.

Delgado A., Zambrano J., Ramos M., Arteaga J, Casanova M., Narváez G., Calderón J., David., M. y Pantoja Y. (2010). Declaratoria del Parque Natural Regional Páramo de Paja Blanca Territorio Sagrado de los Pastos. Corporación Autónoma Regional de Nariño CORPONARIÑO, Grupo de Investigación Terra, Asociación GAICA. Recuperado de http://corponarino.gov.co/wp-content/uploads/2019/06/Documento-Tecnico-P%C3%A1ramo-de-Paja-Blanca-1.pdf

Gallisian A. (1971). Diapause et regeneration posterieure chez le lombricide Eophila dollfussi (Tetry) (tesis). Universite de Provence, Francia.

Hernández-Valencia, I. y López-Hernández, D. (1999). Allocation of phosphorus in a tropical savanna. *Chemosphere, 39*(2), 199-207. doi: 10.1016/S0045-6535(99)00103-4

Jiménez, J.J. & T. Decaëns. (2000). Vertical distribution of earthworms in grassland soils of the Colombian Llanos. Biology and Fertility of Soils, 32(6), 463-473.

Jiménez, J.J., Moreno, A., Decaëns, T., Lavelle, P., Fisher, M. & Thomas, R. (1998). Earthworm communities in nature savannas and man-made pastures of the Eastern plains of Colombia. Biology and Fertility of Soils, 28(1), 101-110. doi: 10.1007/s003740050469

Leguía, E., Soudre, M. y Rugnitz, M. (2010) *Predicción y evaluación del impacto del cambio climático sobre los sistemas agroforestales en la amazonia peruana y andina ecuatoriana* (informe final de proyecto). Pucallpa, Perú. Recuperado de http://repositorio.iiap.org.pe/bitstream/IIAP/217/1/Leguia_documentotecnico_2010.pdf

Martínez, H. y Sanabria, A. (2012). Cálculo eficiente del estimador Jackknife para mínimos cuadrados lineales de rango deficiente. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 36*(141), 587-594.

Martínez, N. (2010). Apuntes sobre modelación de nichos ecológicos. Laboratorio de Evolución Molecular y Experimental. Recuperado de https://www.yumpu.com/es/document/view/14874920/2010-apuntes-sobre-modelacion-de-nichos-ecologicos-instituto-de-

Nazeri, M., Jusoff, K., Madani, N., Mahmud, A., Bahman, A. R., & Kumar, L. (2012). Predictive Modeling and Mapping of Malayan Sun Bear (Helarctos malayanus) Distribution Using Maximum Entropy. *PLoS ONE, 7*(10), e48104. doi: 10.1371/journal.pone.0048104

Pearson, R. G., & Dawson, T. P. (2003). Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global ecology and biogeography, 12*(5), 361-371. doi: 10.1046/j.1466-822X.2003.00042.x

Phillips, S. & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography, 31*(2), 161-175.

Phillips, S., Anderson, R. y Schapire, R. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling, 190*(3), 231-259. doi:10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026

Phillips, S; Anderson, R; Schapire, R. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling, 190,* 231-259. doi:10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026

Phillips, S; Dudik, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography, 31*(2), 161-175. doi: 10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x

Van Zonneveld, M., Jarvis, A., Dvorak, W., Lema, G. & Leibing, C. (2009). Climate change impact predictions on Pinus patula and Pinus tecunumanii populations in Mexico and Central America. *Forest ecology and management, 257,* 1.566-1.576. doi:10.1016/j.foreco.2008.12.027

Evaluación de la calidad del servicio de tres sistemas de acueducto rural en Aldana, Guachucal y Cuaspud

Dayana Stefanya Guevara Ortega[136]
Karen Vanessa Morales Oñate[137]
Paola Andrea Ortega Guerrero[138]

Resumen

La presente investigación se centra en la evaluación de la calidad del servicio de tres sistemas de acueducto rural, ubicados en los municipios de Aldana, Guachucal y Cuaspud, pertenecientes a la exprovincia de Obando. La evaluación se realizó teniendo en cuenta el nivel del servicio prestado, a través de la metodología de Smits y Bey, la cual emplea indicadores de cobertura (%), calidad (IRCA, IRABA), continuidad (horas de servicio al día) y satisfacción del usuario frente a la calidad del agua y desempeño de la Junta Administradora de Acueducto Rural. En este sentido, la metodología empleada se realiza mediante una calificación del nivel de servicio prestado, donde se asigna puntajes a cada indicador de 1, 0.75, 0.5 y 0.25, según los criterios establecidos; de esta manera, al sumar los resultados se puede obtener una calificación final para poder categorizar el desempeño de cada acueducto en alto, aceptable, deficiente y muy deficiente. Finalmente, después de aplicar la metodología, se logró obtener la calificación del servicio de cada acueducto, dando como resultado un nivel deficiente para los acueductos del Carchi y Cualapud alto y bajo y un nivel aceptable para el acueducto de la Laguna-Chapuesmal. Los factores limitantes para que el nivel de servicio no obtenga las calificaciones más altas son principalmente la calidad y continuidad del agua.

Palabras clave: acueducto rural, calidad, cobertura, continuidad, IRCA, IRABA.

[136] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: dayguevara@umariana.edu.co

[137] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: karmorales@umariana.edu.co

[138] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: portega@umariana.edu.co

Evaluation of the quality of the service of three systems of rural aqueduct in Aldana, Guachucal and Cuaspud

Abstract

The present investigation focuses on the evaluation of the service quality of three rural aqueduct systems located in the municipalities of Aldana, Guachucal and Cuaspud belonging to exprovincia de Obando. The evaluation was made taking into account the level of service provided, through the methodology of Smits and Bey, which uses indicators of coverage (%), quality (IRCA, IRABA), continuity (hours of service per day) and user satisfaction with water quality and performance of the Board rural water supply administrator.

In this sense, the methodology used is carried out by means of a rating of the level of service provided, where scores are assigned to each indicator of 1, 0.75, 0.5 and 0.25 according to the established criteria. In this way, by adding the results, it is possible to obtain a final grade, in order to categorize the performance of each aqueduct into high, acceptable, deficient and very poor. Finally, after applying the aforementioned methodology, it was possible to obtain the qualification of the service of each aqueduct, resulting in a deficient level for the high and low Carchi and Cualapud aqueducts and an acceptable level for the aqueduct of the Laguna-Chapuesmal. The limiting factors so that the level of service does not obtain the highest ratings are, mainly, the quality and continuity of the water.

Key words: rural aqueduct, quality, coverage, continuity, IRCA, IRABA.

Avaliação da qualidade o serviço de três sistemas de acueducto rural em Aldana, Guachucal e Cuaspud

Resumo

A presente investigação enfoca a avaliação da qualidade do serviço de três sistemas de aquedutos rurais localizados nos municípios de Aldana, Guachucal e Cuaspud pertencentes à exprovincia de Obando. A avaliação foi feita levando-se em consideração o nível de serviço prestado, através da metodologia de Smits e Bey, que utiliza indicadores de cobertura (%), qualidade (IRCA, IRABA), continuidade (horas de atendimento por dia) e satisfação do usuário com qualidade da água e desempenho do conselho de gestão do aqueduto rural.

Nesse sentido, a metodologia utilizada é realizada por meio de uma classificação do nível de serviço prestado, onde são atribuídas pontuações a cada indicador, de 1, 0,75, 0,5 e 0,25, de acordo com os critérios estabelecidos. Dessa forma, adicionando os resultados, é possível obter uma nota final, a fim de categorizar o desempenho de cada aqueduto em alto, aceitável, deficiente e muito deficiente.

Após a aplicação da metodologia supracitada, foi possível obter a qualificação do serviço de cada aqueduto, resultando em um nível deficitário para os aquedutos alto e baixo de Carchi e Cualapud e um nível aceitável para o aqueduto da Laguna-Chapuesmal. Os fatores limitantes para que o nível de serviço não obtenha as classificações mais altas são principalmente a qualidade e a continuidade da água.

Palavras-chave: Aqueduto Rural, Qualidade, Cobertura, Continuidade, IRCA, IRABA.

Introducción

En Colombia, el servicio de acueducto en las zonas rurales generalmente es prestado por organizaciones comunitarias, estructuradas en su mayoría como juntas administradoras de acueducto rural, siendo aproximadamente 12000 de estas, según la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, que corresponden al 40% del total de la zona rural del país (Cadavid, 2009).

En este orden de ideas, la provisión de los servicios de agua y saneamiento para las áreas rurales en condiciones de calidad, continuidad y cobertura es un desafío, pues, debido a las condiciones de ruralidad, tales como la dispersión de viviendas, limitaciones geográficas para el acceso de la población, el bajo nivel socioeconómico de los habitantes, la utilización de tecnologías no convencionales para la provisión de servicios, hacen que no sea sostenible el servicio a través del tiempo, lo cual dificulta su prestación (Carrasco, 2011)

En relación con lo anterior, en Colombia ya se ha empezado a incluir esta problemática dentro de diferentes estudios, tal es el caso de la investigación denominada *Gobernanza y sostenibilidad de los sistemas de agua potable y saneamiento rurales en Colombia,* desarrollada por Smits et al. (2012), en conjunto con el Banco Interamericano de Desarrollo, la cual, dentro de sus objetivos pretende adecuar un set de indicadores aplicable al contexto rural Colombiano, para poder calificar la calidad del servicio de agua de los sistemas de acueductos rurales.

En este orden de ideas, la presente investigación tiene como objetivo evaluar la calidad del servicio de tres sistemas de acueducto de los municipios de Aldana, Guachucal y Cuaspud, organizados en Juntas Administradoras de Acueducto Rural (JAAR) de La Laguna- Chapuesmal, Cualapud Alto

y Bajo y El Carchi, respectivamente, a través de la metodología propuesta por Smits et al. (2012) y los formularios de sistema, comunidad y prestación del servicio del Sistema de Información de Agua y Saneamiento Rural (SIASAR).

Finalmente, es importante mencionar que esta investigación se desarrolló en el marco del convenio interinstitucional No 022 2017–1427 2017, denominado *Estrategia piloto de innovación para el fortalecimiento de prestadores del servicio de acueducto rural de la Exprovincia de Obando,* donde instituciones como el Fondo Rotatorio del Ministerio de Relaciones Exteriores, la Gobernación de Nariño por medio del Plan Departamental de Aguas, el Instituto Departamental de Salud y la Universidad Mariana mediante el grupo de Investigación Ambiental GIA, aunaron esfuerzos con el fin de mejorar la calidad del agua en el sector rural, a través del fortalecimiento del prestador.

Metodología

Para el desarrollo del objetivo de esta investigación se parte de la realización de un diagnóstico de los tres sistemas de acueducto, a partir de información primaria y secundaria. Para la recolección de la información primaria se utilizaron los cuestionarios del Sistema de Información de Agua y Saneamiento Rural (SIASAR), los cuales constan de tres formularios: Comunidad, Sistema y Prestación del servicio, donde en general se especifica la infraestructura de tratamiento para el cuestionario de sistema, características generales de los suscriptores para el cuestionario de comunidad y, finalmente, aspectos relevantes de la Junta Administradora de Acueducto, suscriptores, tarifa, entre otros.

Adicionalmente, se diseñó una encuesta tipo estructurada, aplicada a la comunidad de los 3 sistemas de acueducto rural, con el fin de conocer el nivel de satisfacción de los usuarios frente al servicio de acueducto prestado por las Juntas Administradoras de Acueducto Rural, para lo cual se empleó el muestreo por selección intencionada, debido a que las áreas de estudio hacen parte de zonas rurales dispersas. Por otro lado, la información secundaria requerida para la calificación del servicio (IRCA e IRABA) fue facilitada por el Instituto Departamental de Salud, a través de las actas de inspección sanitaria de cada acueducto.

En cuanto a la calidad del servicio está representa las características con las cuales los usuarios o suscriptores reciben el mismo, e incluye la cobertura, la cual hace referencia al porcentaje de predios residenciales con acceso al servicio de acueducto, la continuidad que se define como el equivalente de horas por día que se presta el servicio, la calidad del agua a través de los indicadores IRCA e IRABA y la percepción del usuario sobre estas variables en forma de su satisfacción con el servicio.

En este sentido, para determinar la calidad del servicio prestado de los tres sistemas de acueducto rural, se adapta la metodología propuesta por Smits et al. (2012), la cual clasifica en nivel alto, aceptable, deficiente y muy deficiente, como se muestra en la Tabla 1, los cuales se establecieron de acuerdo a un nivel de referencia, que es el nivel de servicio básico, definido como las características mínimas con las cuales un servicio de agua debe cumplir según la normativa vigente. Para aquellos componentes para los cuales no existe un nivel mínimo normativo, por ejemplo, satisfacción de usuarios, se estableció el nivel de referencia con base en las prácticas actuales en el país y la experiencia profesional del equipo de trabajo.

Tabla 1. *Calificación del servicio*

Calidad del Servicio	Rango de Puntaje
Alto	Mayor 4,5
Aceptable	Entre 3,75 y 4,4
Deficiente	Entre 3 y 3,74
Muy deficiente	Menor a 3

En este orden de ideas, para calificar la calidad de servicio, se tienen en cuenta el conjunto de indicadores mencionados, los cuales se muestran en la Tabla 2, donde de acuerdo con el rango en el que se encuentren se asignan puntajes de 1, 0.75, 0.5 y 0.25 para la calidad alta, aceptable, deficiente y muy deficiente respectivamente. Para la calificación final, se realizó una suma del puntaje de cada indicador, para así clasificar la calidad del servicio de acuerdo a la Tabla 1.

Tabla 2. *Clasificación de la Calidad del servicio*

Calidad del Servicio	Cobertura (%)	Continuidad (Horas)	Calidad		Satisfacción de los Usuarios
			IRCA (%)	IRABA (%)	
Alto (1)	>90	>23	0-5 Sin riesgo	0-10 Sin riesgo	Del 100 % al 80 % de la población cree que es buena la calidad del agua y el desempeño de la Junta Administradora de Acueducto
Aceptable (0.75)	80-90	20-23	5.1-14 Riesgo bajo	10.1-25 Riesgo bajo	Del 79 % al 51 % de la población cree que es buena la calidad del agua y el desempeño de la Junta Administradora de Acueducto
Deficiente (0.5)	60-79	12-19	14.7-80 Riesgo medio-alto	25.1-70 Riesgo medio-alto	Del 50 % al 30 % de la población cree que es buena la calidad del agua y el desempeño de la Junta Administradora de Acueducto
Muy deficiente (0.25)	<59	<12	>80 Inviablemente sanitario	70.1-100 Muy alto	Menos del 30 % de la población cree que es buena la calidad del agua y el desempeño de la Junta Administradora de Acueducto

Fuente: Adaptado de Smits et al., 2012.

Resultados, Análisis y Discusión

Para el desarrollo de esta investigación, inicialmente se realizó el diagnóstico de las tres Juntas Administradoras de Acueducto Rural El Carchi, Laguna-Chapuesmal y Cualapud Alto y Bajo, de los municipios de Cualapud, Aldana y Guachucal respectivamente, a través de la información recolectada producto de los cuestionarios de SIASAR. A continuación, se presenta una descripción de cada acueducto rural de estudio, el cual contiene características generales de los componentes técnicos, sociales y administrativos, así:

Junta Administradora de Acueducto Rural "El Carchi"

El acueducto rural El Carchi se abastece de la quebrada Los Sapos, con un caudal de entrada al sistema de 0.5 l/s. Este acueducto presenta una infraestructura de tratamiento (ver Figura 1) conformada en general por cuatro cámaras de inspección, 2 tanques de almacenamiento y desinfección. Es importante mencionar que este sistema de acueducto no cuenta con una infraestructura de captación de agua, sino que se realiza una canalización de la tubería de la fuente superficial, adicionalmente, no cuenta con desarenador, lo cual puede influir en problemas en las tuberías de aducción y conducción. Un inadecuado sistema de tratamiento en las zonas rurales conlleva a la implementación de alternativas como conexiones ilegales a la red pública o directamente a los ríos, lagos, pozos profundos, lo cual tiene como resultado altos costos para los usuarios y no garantizar la calidad del agua, lo que genera un riesgo potencial para la salud en los niños y adultos y afectaciones ambientales a las fuentes hídricas (Delgado, Trujillo y Torres, 2017).

En este orden de ideas, la infraestructura de abastecimiento está conformada por dos tanques de almacenamiento uno de tipo semienterrado y el otro elevado, de capacidad de 107.8 y 86.15 metros cúbicos respectivamente. De igual manera, existen 2 líneas de conducción en el sistema de 60 y 5.000 metros de longitud, con 4 cámaras de inspección (ver Figura 1). Por otro lado, el sistema de acueducto del Carchi abastece a 4 sectores divididos en 2 redes de distribución, así: El Carchi y Puente Tierra, Santa Rosa y Peña Blanca, siendo un acueducto multiveredal, con una cobertura del 100 % de la población.

Además, este acueducto cuenta con un tratamiento de desinfección con Hipoclorito de calcio (granular) con una concentración de 0,2 mg/l y una frecuencia de desinfección diaria, donde la cantidad o dosis de cloro que se debe aplicar depende de la cantidad y de la calidad del agua, esta aplicación de cloro en el agua requiere mucho cuidado, ya que una dosis insuficiente no produce la desinfección total y una dosis excesiva produce efectos negativos para la salud, como los distintos compuestos orgánicos, dentro de los cuales se encuentran los trihalometanos, que son compuestos carcinógenos para el humano. Los trihalometanos se encuentran en el agua potable como resultado de la interacción del cloro con materia orgánica natural que se encuentra en el agua, donde estos estarán presentes mientras el agua contenga un exceso de cloro o hipoclorito de calcio (Ocasio y López, 2011).

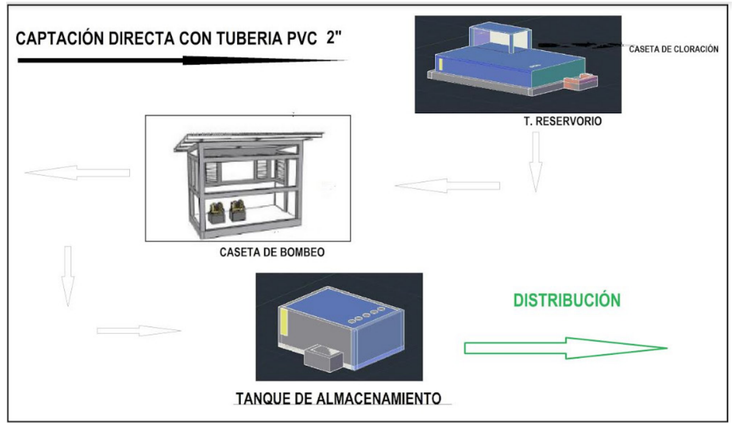


Figura 1. Sistema de Abastecimiento de Agua El Carchi.

Por otra parte, en la Tabla 3 se presenta las características generales de la población beneficiaria del sistema de acueducto el Carchi, teniendo un total de 1.035 habitantes, donde el 100 % corresponde a etnia indígena, cuentan con servicios públicos de energía eléctrica, saneamiento básico, telefonía celular e internet. Cabe mencionar que, en esta población aunque cuenta con infraestructura de saneamiento básico, el 42 % de la comunidad tiene dispositivos de descarga hidráulica automática o manual a red de alcantarillado o tanque séptico y el 58 % restante cuenta con letrinas de pozo abierto o descargas a la calle, terreno o desagüe, lo cual puede traer consecuencias para esta comunidad, pues, las mejoras en el acceso a servicios de agua y saneamiento hacen parte de la inclusión social y el logro de una vida digna. Además, el acceso a servicios de calidad permite reducir su vulnerabilidad y ampliar sus oportunidades de generación de ingresos. Finalmente, el acceso a agua y saneamiento de calidad facilita la movilidad social, superando barreras a la salud, e indirectamente, a la educación, a la búsqueda de empleo y a la equidad de género (Robledo, 2013).

Tabla 3. *Características de la comunidad el Carchi*

Parámetro	Valor
Población total	1035
Usuarios	207
Etnia	Indígena

Finalmente, en la Tabla 4 se presenta la estructuración de la Junta Administradora de Acueducto Rural (JAAR), legalizada ante cámara de comercio el 15 de enero de 2016, la cual está conformada por presidente, secretario, tesorero fiscal y dos vocales. La JAAR renueva los integrantes de la junta directiva cada dos años y generalmente realiza reuniones cada tres meses, donde idealmente, según los estatutos de la Asociación Junta Administradora de Acueducto de la Cámara de Comercio, la comunidad y la JAAR pueden participar democráticamente en las deliberaciones y decisiones, además, participar en las Asambleas y Reuniones y asistir a los Comités que designe la Junta Directiva para la vigilancia de las obras construidas con el cuidado y recuperación de las cuencas hidrográficas (Comercio, 2010).

Tabla 4. *Junta Administradora de Acueducto Rural El Carchi*

Cargo	Nombre
Presidente de la junta de acueducto	Homero Imbacuan
Secretario	Alexander Ayala
Tesorero	Sandra Arango
Fiscal	Jaime Chamorro
Vocal	Mariela Narváez
Vocal	Nicolás Portilla

Junta Administradora de Acueducto Rural La Laguna-Chapuesmal

El sistema de acueducto rural La Laguna-Chapuesmal se abastece de la quebrada Pusialquer, la cual hace parte de la cuenca hidrográfica del río Guaitara, con un caudal de 2,5 l/s, donde la captación del agua se realiza a través de una bocatoma de 22 años de operación, por lo cual, su estado estructural está deteriorado. Según el RAS (2000), el periodo máximo de diseño de una obra de captación es de 30 años, “el tiempo que razonablemente se espera que la obra sirva a los propósitos sin tener gastos de operación y mantenimiento elevados, que hagan antieconómico su uso o que se requieran ser eliminadas por insuficientes” Rodríguez (como se citó en Soto, 2012, p. 20). En el caso de la captación de este sistema, se observa que el periodo de diseño está por cumplirse, razón por la cual puede traer algunas consecuencias en tiempo futuro.

Así, el acueducto rural de La Laguna-Chapuesmal tiene un sistema de tratamiento de agua potable conformado por: desarenador, sedimentador, filtración, y una etapa de desinfección. Además, cuenta con un proceso de coagulación para la clarificación del agua a través de la adición de sulfato de aluminio, como se puede evidenciar en la Figura 2.

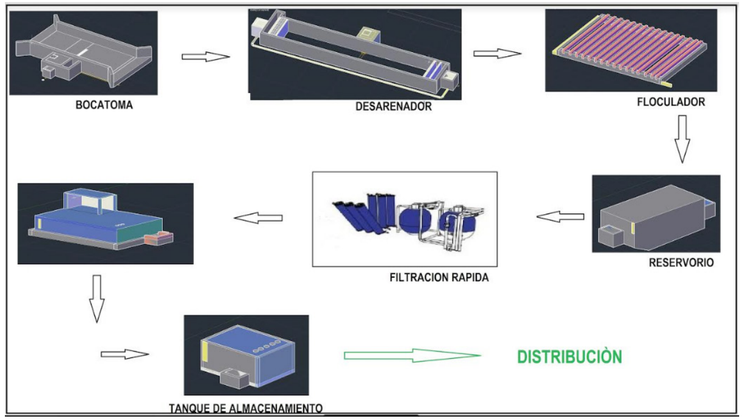


Figura 2. Sistema de Abastecimiento de Agua Laguna-Chapuesmal.

En este sentido, los dos tanques de almacenamiento son: uno de tipo enterrado y el otro semienterrado, con una capacidad de 135 y 76 m^3 respectivamente. En el tratamiento de coagulación y floculación se emplea como coagulante sulfato de aluminio, el cual se adiciona a la entrada al desarenador para la clarificación del agua. En cuanto a la desinfección, este tratamiento es realizado con hipoclorito de calcio, con una concentración de 0.8 mg/L, administrando una dosis diaria de 400 g. En el medio rural para la desinfección lo más utilizado es el cloro granular. Un producto con gran poder bactericida, capaz de matar las bacterias o impedir su desarrollo, además, es económico y de fácil manejo (Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2007)

Así, el sistema de acueducto rural la Laguna-Chapuesmal presta un servicio permanente, las 24 horas los 7 días de la semana, a 230 conexiones de red, las cuales cuentan con micromedición. “Se ha comprobado que en las comunidades que disponen de medidores de agua para controlar el desperdicio y con tarifas razonables disminuyen el consumo de agua, mientras que en otras sin micromedición el desperdicio es mayor” (Aguirre, 2015, p. 23).

La distribución se realiza mediante bombeo, es decir, el agua tratada es bombeada a un tanque para su posterior distribución por gravedad al 100 % en la población distribuida en las tres veredas que presta el servicio este acueducto: Laguna, Chapuesmal, Chitairo. Esta distribución es una de las unidades con más costo de operación, esto se debe principalmente a los altos precios de la energía hoy en día (León, Iglesias y Martínez, 2017).

Tabla 5. *Características de la comunidad de la Laguna-Chapuesmal*

Parámetro	Valor
Población total	1380
Usuarios	230
Etnia	Indígena

A su vez, en la Tabla 5 se evidencia las características generales de los habitantes de la Laguna, Chapuesmal y Chitairo que hacen parte de este acueducto, con un total de 230 viviendas, con 1.380 habitantes, en donde su etnia predominante es indígena, haciendo parte del Resguardo de Pastos-Aldana. Esta comunidad cuenta con el acceso a servicios básicos de energía eléctrica, gas, saneamiento básico, siendo esto de gran importancia, debido a que contar con los servicios básicos eleva el bienestar de las personas y su calidad de vida. En una vivienda digna hay más higiene y mejores condiciones físicas y sociales para llevar a cabo las diferentes actividades de los integrantes del hogar (SEDESOL, 2011).

Tabla 6. *Junta Administradora de Acueducto Rural Laguna-Chapuesmal*

Cargo	Nombre
Presidente de la junta de acueducto	Manuel Tupas
Secretario	Hernando Ceballos
Tesorero	Servio Zúñiga

Por último, se presenta la estructura de la junta directiva de este sistema de acueducto como se muestra en la Tabla 6, la cual está legalizada ante la Cámara de Comercio, sin embargo, esta junta directiva está incompleta, pues de acuerdo a los estatutos de la Cámara de Comercio de Pasto, debe estar constituida por 7 miembros: presidente, vicepresidente, tesorero, secretario, fiscal y vocales. Esta junta está representada por la comunidad que gestiona y/o administran el acueducto local, con el fin de brindar a sus usuarios un servicio de calidad (Díaz, s.f.).

Además, cabe resaltar que la tarifa establecida por el consumo de m3 es de 4627,80, presentándose una voluntad de pago del 95 %, los fondos recaudados son destinados a gastos operativos, administrativos, entre otros, siendo esto importante para una adecuada operación y mantenimiento del sistema de acueducto.

Junta administradora de Acueducto Rural Cualapud Alto y Bajo

El acueducto Cualapud Alto y bajo se abastece de un manantial ubicado en la finca la OSSA, con un caudal de entrada al sistema de 2.5 l/s. Este acueducto presenta una infraestructura de tratamiento (ver Figura 2) conformada en general por 3 tanques de almacenamiento y un tratamiento de desinfección. Es importante mencionar que este sistema de acueducto cuenta con una infraestructura de captación de agua por medio de una caja de captación, cabe aclarar que en la zona de captación existe riesgo de contaminación pecuaria. Según la FAO (2006), la contaminación del agua potable está principalmente asociada a los desechos de los animales, antibióticos, hormonas, sustancias químicas utilizadas en la producción pecuaria, que ocasionan una alteración en las propiedades fisicoquímicas del agua.

En este orden de ideas, la infraestructura de abastecimiento está conformada por tres tanques de almacenamiento, siendo uno elevado, otro semienterrado y el último enterrado, donde la frecuencia de lavado es cada 3 meses. La existencia de tres tanques de almacenamiento es debido a la distancia entre las veredas, es decir, uno está instalado en la planta y los otros dos en la parte alta y baja de Cualapud, con el fin de suministrar agua a los usuarios. Cabe mencionar que la frecuencia de lavado de los tanques, según el Decreto 1575 del 2007, se debe realizar como mínimo dos (2) veces al año, con el fin de evitar alteraciones químicas, físicas o microbiológicas en la calidad del agua (Ministerio de la Protección Social, 2007).

De igual manera, como se observa en la Figura 3, existen 2 líneas de conducción en el sistema, con 3 válvulas de purga. Por otro lado, el sistema de acueducto Cualpaud Alto y Bajo presta su servicio a 2.000 habitantes, distribuidos en 400 viviendas ubicadas en esta vereda. Con base en lo an-

terior, la población del acueducto es indígena y pertenecen al resguardo indígena Guachucal, obteniendo así un 100 % de cobertura del servicio de acueducto en el sector. Cabe mencionar, la importancia de la cobertura de acueducto rural en Colombia, debido a que en el año 1993 se tenía una cobertura del 79,7 % y en 2003 se incrementó en un 6,4 %, obteniendo un 86,1 % de la cobertura de acueducto, sin embargo, la expansión de la cobertura está centrada en la zona rural. Finalmente, según datos del Departamento Nacional de Planeación (DNP), en 708 municipios del país (65 % de los municipios), la cobertura de acueducto no alcanza el 75 % de la población (Unicef, s.f.).

Este acueducto cuenta con un tratamiento de desinfección por medio de cloro granulado con una dosis de 300 gramos cada 12 litros, con una frecuencia de cada nueve días, cabe mencionar que el cloro es suministrado por la Alcaldía de Guachucal, sin embargo, el acueducto ha sufrido interrupciones en el tratamiento de desinfección por la falta de suministro de cloro en 2 días del mes, esta falta de suministro puede ocasionar diferentes riesgos a corto y largo plazo, generando la proliferación de microorganismos en el agua, es así que, las epidemias más comunes a causa de la ausencia de desinfección son la Salmonella, las Shigellas, el rotavirus, entre otros (Solsona y Méndez, 2002).

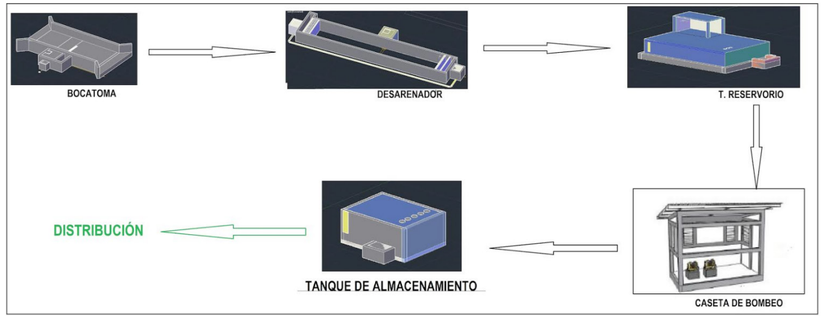


Figura 3. Sistema de Abastecimiento de Agua Cualapud Alto y Bajo.

Por otra parte, en la Tabla 9 se muestra las características generales de los habitantes de Cualapud Alto y Bajo, con un total de 400 viviendas con 2.000 habitantes. Esta comunidad cuenta con el acceso a servicios básicos de internet, saneamiento básico, telefonía celular y energía eléctrica. En este sentido, según la Organización de Naciones Unidas o el Banco Mundial afirman que el acceso a la energía eléctrica ha sido una preocupación permanente de los países en vías de desarrollo, siendo esta una herramienta clave para su progreso económico, social y humano en localidades urbanas y rurales (Mendieta y Pizarro, 2015)

Tabla 7. *Características de la comunidad de Cualapud Alto y Bajo*

Parámetro	Valor
Población total	2000
Usuarios	400
Etnia	Indígena

Por último, se presenta la estructura de la Junta Administradora de Acueducto (ver Tabla 8), la cual está legalizada ante la Cámara de Comercio. Dicha junta está conformada por un presidente, un secretario y un tesorero, notando así la ausencia de un fiscal y un vocal. De igual manera, se observa que existe equidad de género debido a la presencia de una mujer en la Junta Administradora. Es importante mencionar el papel que desarrollan la Junta Administradora de Acueducto en su comunidad, ya que gracias a su organización comunitaria pueden proveer el servicio de agua potable. Además, son construidos por iniciativa de las comunidades para resolver los problemas que ni el Estado, ni el mercado, les pueden resolver, es así, que en Colombia existen más de doce mil las organizaciones comunitarias que proveen servicios públicos domiciliarios, las cuales suministran agua potable y saneamiento básico a cerca del 40 % de los pobladores rurales en el país (Mesa, Pérez y Valencia, 2013).

Tabla 8. *Junta Administradora de Acueducto Rural Cualapud Alto y Bajo*

Cargo	Nombre
Presidente de la junta de acueducto	Andres Cuastumal
Secretario	Alba Chaquelan
Tesorero	Ermes Reina

Calidad del servicio de los prestadores del sistema de acueducto rural

En la Tabla 9 se puede observar las cifras para cada uno de los ítems en cada sistema de acueducto, donde se observa que en cuanto a la cobertura los 3 sistemas presentan el 100 %, siendo esto un aspecto a destacar, debido a que en Colombia esta es una de las más grandes problemáticas que se presentan en cuanto al servicio de agua potable, ya que en las zonas rurales la cobertura alcanzaba solo el 57 % (DANE, 2010).

De la misma manera, se observa que en cuanto continuidad del servicio se presenta un panorama diferente en cada acueducto rural, destacándose la labor del acueducto de La Laguna-Chapuesmal en este indicador, el cual es el único que presenta una continuidad de 24 horas de servicio, caso contrario ocurre con los otros 2 acueductos donde su continuidad en horas es de 12 y entre 4 y 6 para Cualapud y El Carchi respectivamente, representado así inconvenientes para la comunidad servida, pues según Organización Panamericana de la Salud y Oraganización Mundial de la Salud (2009), el suministro de agua potable es un servicio en el cual no deben existir cortes temporales, es decir que, debe estar presente en cualquier momento que se lo necesite, pues el agua es una necesidad esencial para todas las personas, por lo cual se debe garantizar el acceso seguro a una cantidad suficiente de agua para beber, cocinar y para la higiene personal y doméstica.

Así mismo, en relación a la calidad de agua (ver Tabla 9), la cual está medida por medio de los indicadores IRCA e IRABA, se puede observar que en los 3 acueductos se presentan riesgos de medio-alto, pero el sistema de acueducto El Carchi representa los valores más altos, seguido por Cualapud y finamente La Laguna-Chapuesmal, representado un riesgo para las personas que consumen esta agua, pues se ha asociado la calidad de esta con la morbimortalidad de la población. En un estudio realizado por Guzmán, Nava y Díaz (2015), relacionan el IRCA con la mortalidad infantil, obteniéndose los valores más altos de correlación, lo que indica una asociación significativa entre la mala calidad del agua y la mortalidad infantil.

Adicionalmente, la satisfacción de los usuarios en el desempeño de la Junta Administradora de Acueducto Rural y en la calidad del agua suministrada en el acueducto de La Laguna- Chapuesmal presenta una satisfacción del 67 % por parte de los usuarios, a diferencia de los acueductos de Cualapud Alto y bajo y El Carchi, donde se presenta una satisfacción del 50 % y 55 % respectivamente. (Ver Tabla 9).

Tabla 9. *Calidad del servicio en los 3 sistemas de acueducto rural*

Sistema de Acueducto	Cobertura (%)	Continuidad (Horas)	Calidad		Satisfacción de los Usuarios
			IRCA (%)	IRABA (%)	
Laguna-Chapuesmal	100	24	22	59	66,41 %
El Carchi	100	4-6	35	85	55 %
Cualapud Alto- Bajo	100	12	34	69	50 %

En la Tabla 10 se muestra los resultados obtenidos después de aplicar la metodología adaptada de Smits et al. (2012), donde se observa que el único acueducto que tiene una calidad del servicio aceptable es el de La Laguna-Chapuesmal, pues como se mencionó, en cuanto a la infraestructura de tratamiento del agua, este es el acueducto que presenta una planta de tratamiento completa, siendo la única que tiene tratamientos de coagulación- floculación y filtración, a excepción de los otros acueductos que tienen solamente desinfección, además de contar con un servicio continuo y sin interrupciones. Es importante resaltar que, aunque presenta aún dificultades en un suministro seguro en cuanto a la calidad de agua, es el acueducto que mejor se encuentra en relación a los 3 acueductos.

Tabla 10. *Calificación de la calidad del servicio de los 3 sistemas de acueducto rural*

Sistema de Acueducto	Cobertura (%)	Continuidad (Horas)	Calidad		Satisfacción del Usuario	Total	Calidad del Servicio
			IRCA (%)	IRABA (%)			
Laguna-Chapuesmal	1	1	0.5	0.5	0,75	3,75	Aceptable
El Carchi	1	0.25	0.5	0.25	0.5	2,5	Deficiente
Cualapud Alto- Bajo	1	0.5	0.5	0.5	0.5	3	Deficiente

Por otra parte, como se evidencia en Tabla 10, tanto para el acueducto del Carchi como para el de Cualapud alto y bajo, se presenta una calidad de servicio deficiente, esto asociado a la no continuidad del servicio que estos presentan, así como también a la calidad del agua suministrada, con índices de riesgo medio-alto, tanto para el IRABA como IRCA, ya que pesar de que cuentan con una planta de tratamiento de agua potable, se observa que esta no está teniendo la eficiencia necesaria para suministrar agua segura, asociada a la inadecuada operación y mantenimiento.

Conclusiones

A partir del diagnóstico y la evaluación de la calidad de cada servicio prestado por cada sistema de acueducto se pudo determinar que El Carchi y Cualapud alto y bajo se encuentran clasificados en un nivel deficiente; mientras que el acueducto de La Laguna tiene un nivel aceptable, además de niveles de IRCA e IRABA de riesgo medio-alto, representando así una problemática para los beneficiarios de estos sistemas de acueducto que necesitan de atención inmediata.

Así mismo, relacionando los tres sistemas de acueductos se pudo determinar que el acueducto que está mejor estructurado en cuanto a infraestructura es el de La Laguna, debido a que esta es más completa, lo cual se puede evidenciar en la calidad del agua, con índices de IRCA e IRABA menores en comparación a los otros acueductos.

Referencias

Aguirre, F. (2015). *Abastecimiento de Agua Potable para Comunidades Rurales*. Ecuador: Universidad Técnica de Machala.

Cadavid N. (2009) Acueductos Comunitarios: Patrimonio Social y Ambiental del Valle de Aburrá. *Avances en Recursos Hidráulicos, 20,* 57-64

Cámara de Comercio. (2010). *Estatutos de la asociación Junta Administradora de Acueducto.* San Juan de Pasto.

Carrasco, W. (2011). Políticas públicas para la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento en las áreas rurales (documento de proyecto). Santiago de Chile: Naciones Unidas. Recuperado de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3842/1/S2011912.pdf

Delgado, S., Trujillo, J. y Torres, M. (2017). Gestión del agua en comunidades rurales; caso de estudio cuenca del río Guayuriba, Meta-Colombia. *Luna Azul, 45,* 59-70. doi: 10.17151/luaz.2017.45.5

Díaz, M. (s.f.). Las Juntas Administradoras de Acueductos Rurales JAAR, Aportando Al Derecho Humano al Agua en Panamá. Recuperado de https://goo.gl/QGFY3B

Guzmán B., Nava G. y Díaz, P. (2015). La calidad del agua para consumo humano y su asociación con la morbimortalidad en Colombia, 2008-2012. *Biomédica, 35*(2), 177-190. doi: 10.7705/biomedica.v35i0.2511

León C., Iglesias, P. y Martínez J. (2017). Optimización de costos de bombeo en redes de distribución de agua con capacidad de almacenamiento mediante el uso del concepto de curva de consigna. *Línea temática B,* 1-9. Recuperado de http://geama.org/jia2017/wp-content/uploads/ponencias/posters/rb2.pdf

Mendieta, D. y Pizarro, J. (20 de marzo de 2015). Electricidad, Desarrollo Rural y Buen Vivir. En *III Simposio Internacional Historia de la electrificación. Estrategias y cambios en el territorio y la sociedad.* Simposio llevado a cabo en Ciudad de México. Recuperado de https://goo.gl/TWpUu3

Mesa, J., Pérez, C. y Valencia, G. (2013). Comunidades organizadas y el servicio público de agua potable en Colombia: una defensa de la tercera opción económica desde la teoría de recursos de uso común. *Ecos de ECONOMÍA, 17*(37), 125-159.

Ministerio de la Protección Social. (2007). Decreto 1575 de 2007. Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para el Consumo Humano. Bogotá. Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Disponibilidad-del-recurso-hidrico/Decreto-1575-de-2007.pdf

Ocasio, N. y López, M. (2011). *El Uso del Cloro en la Desinfección del Agua* (trabajo de grado). Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras. Recuperado de http://hispagua.cedex.es/sites/default/files/uso_cloro.pdf

Organización Panamericana d la Salud (OPS). (2007). Guía para la Selección de Sistema de Desinfección. Recuperado de http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/agua/guiaseleccsistdesinf.pdf

Organización Panamericana de la Salud-Organización Mundial de la Salud. (2009). Cantidad mínima de agua necesaria para uso doméstico. Recuperado de http://www.disaster-info.net/Agua/pdf/9-UsoDomestico.pdf

Robledo, M. (2013). *Acceso a agua y saneamiento de calidad.* Cali, Colombia.

SEDESOL. (2011) Medición de la Pobreza Servicios Básicos de la Vivienda. Recuperado de https://goo.gl/VXREy1

Smits S., Tamayo P., Ibarra, V., Rojas, J., Benavides, A., Bey, V. (2012). Gobernanza y sostenibilidad de los sistemas de agua potable y saneamiento rurales en Colombia. Washington: Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado de https://publications.iadb.org/es/gobernanza-y-sostenibilidad-de-los-sistemas-de-agua-potable-y-saneamiento-rurales-en-colombia

Solsona, F. y Méndez, J. (2002). Desinfección del agua. Recuperado de http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/fulltext/libro.pdf

Soto, M. (2012). *Metodología para diseñar un sistema de acueducto con bajas poblaciones. Caso de estudio corregimiento Las Palmas* (tesis de pregrado). Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena, Colombia. Recuperado de https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0063114.pdf

Unicef. (s.f.). El agua potable y el saneamiento básico en los planes de desarrollo. Recuperado de https://www.unicef.org/colombia/pdf/Agua3.pdf

Evaluación al nivel de adherencia al protocolo de gestión en seguridad y salud de los trabajadores de la empresa Aseoyotoco S.A.S E.S.P en el área de recolección de residuos sólidos en el año 2018

Mayerli Alexandra Pastes Diosa[139]
Diana Lorena Ramírez Rodríguez[140]
María Fernanda Restrepo[141]
Juan Guillermo Popayán-Hernández[142]

Resumen

La recolección de residuos sólidos de tipo doméstico implica la exposición a diversos factores de riesgo, entre los que se destaca: 1) Biomecánico, por la manipulación de cargas y posturas repetitivas; 2) Biológico, por la exposición a bacterias, hongos y virus; 3) Psicosocial, debido a las largas jornadas laborales y el ostracismo asociado al oficio; 4) Público, principalmente debido a que las labores son ejecutadas en vía pública; y 5) Físico, ocasionado por la exposición a ruido, calor, entre otros. Así las cosas, el presente trabajo de investigación se enfocó hacia la evaluación del nivel de adherencia al protocolo de gestión en seguridad y salud de los trabajadores de la empresa de ASEOYOTOCO S.A.S E.S. P en el área de recolección de residuos sólidos en el año 2018. Esta problemática se abordó desde el paradigma positivista, con un estudio de tipo descriptivo y enfoque mixto.

Palabras clave: enfermedad laboral, residuos sólidos, riesgo biológico.

Evaluation of the level of adherence to the safety and health management protocol of the workers of the company of Aseoyotoco S.A.S E.S.P in the solid waste collection area in 2018

Abstract

The collection of solid waste of domestic type involves exposure to various risk factors, among which are: 1) Biomechanical, because of the manipulation of loads and repetitive postures. 2) Biological, due to exposure to bacteria, fungi and viruses. 3) Psychosocial, due to long working days and the ostracism associated with the occupation. 4) Public, mainly because the work is carried out on public roads and 5) Physical, caused by the exhibition of noise, heat, among others. In this way, the present research work focused on the evaluation of the level of adherence to the safety and health management protocol of the workers of Aseoyotoco S.A.S E.S.P Company

[139] Administración en Salud Ocupacional, Corporación Universitaria Minuto de Dios. Buga, Valle del Cauca, Colombia. Correo electrónico: mpastesdios@uniminuto.edu.co

[140] Administración en Salud Ocupacional, Corporación Universitaria Minuto de Dios. Buga, Valle del Cauca, Colombia. Correo electrónico: dramirezro5@uniminuto.edu.co

[141] Administración en Salud Ocupacional, Corporación Universitaria Minuto de Dios. Buga, Valle del Cauca, Colombia. Correo electrónico: mrestrepoci@uniminuto.edu.co

[142] Administración en Salud Ocupacional, Corporación Universitaria Minuto de Dios. Buga, Valle del Cauca, Colombia. Correo electrónico: jgpopayanh@unal.edu.co

in the solid waste collection area in 2018. This problem was approached from the positivist paradigm, with a descriptive study and mixed approach.

Key words: occupational disease, solid waste, biological risk.

Avaliação do nível de aderência ao protocolo de segurança e saúde dos trabalhadores na empresa Aseoyotoco S.A.S. E.S.P na área de captação de residuos sólidos durante o ano 2018

Resumen

A coleta de resíduos sólidos de tipo doméstico envolve a exposição a vários fatores de risco, dentre os quais estão: 1) Biomecânico, devido à manipulação de cargas e posturas repetitivas. 2) Biológico, pela exposição a bactérias, fungos e vírus. 3) Psicossocial, devido aos longos dias úteis e ao confinamento associado à ocupação. 4) Público, principalmente porque o trabalho é realizado em vias públicas e 5) Físico, causado pela exibição de ruídos, calor, entre outros. Nesta ordem de ideias, o presente trabalho de investigação foca em avaliação do nível de aderência ao protocolo de segurança e saúde dos trabalhadores na empresa de ASEOYOTOCO S.A.S. E.S.P, na área de captação de residuos sólidos durante o ano 2018. Este problema foi abordada do paradigma positivista com um estudo descritivo e abordagem mista.

Palavras-chave: doença profissional, desechos sólidos, risco biológico.

Introducción

> El manejo de los residuos sólidos constituye a nivel mundial un problema para las grandes ciudades, factores como el crecimiento demográfico, la concentración de población en las zonas urbanas, el desarrollo Ineficaz del sector industrial y/o empresarial, los cambios en patrones de consumo y las mejoras del nivel de vida, entre otros, han incrementado la generación de residuos sólidos en los pueblos y ciudades. (Sáez y Urdaneta, 2014, p. 122).

"El manejo de residuos sólidos está comprendido por todas las actividades funcionales u operativas relacionadas con la manipulación de los residuos sólidos desde el lugar donde son generados hasta la disposición final de los mismos" Ochoa (como se citó en Sáez y Urdaneta, 2014, p. 124), es uno de los oficios que como otros genera peligros en el desarrollo de sus actividades. Por lo tanto, el propósito de esta investigación se ha orientado hacia la identificación de peligros y control del riesgo biológico al cual se encuentran expuestos directamente, mediante la evaluación del nivel de adherencia al protocolo de gestión en seguridad y salud de los trabajadores encargados de la recolección de residuos sólidos de la empresa de Aseoyotoco.

> El manejo de los residuos sólidos en el país, históricamente, se ha hecho en función de la prestación del servicio de aseo. La preocupación por los residuos generados en los centros urbanos ha partido de las consideraciones de tipo higiénico y sanitario (Ministerio del Medio Ambiente, 1997, p. 5).

> Al respecto según Collazos (2005), en Colombia el 80 % de la disposición final de los residuos se vuelca en basureros a cielo abierto, convirtiéndose en agentes altamente contaminantes, que afectan seriamente la seguridad sanitaria de la población y por ende la calidad de vida. (Rodríguez, 2015, p. 6).

> La exposición laboral a los desechos biológicos involucra al personal que debe manejarlos tanto dentro como fuera del establecimiento, quienes de no contar con suficiente capacitación, entrenamiento, herramientas y equipos de protección adecuados, así como, facilidades e instalaciones apropiadas para el manejo y tratamiento de los desechos, pueden exponerse directamente a gérmenes patógenos o a la acción de objetos punzo cortantes (Serit, Matos, Panunzio, Nuñez y Bellorín, 2005, s.p.).

El tratamiento de residuos sólidos, es una actividad que afecta de forma directa e indirecta la salud de los trabajadores de las empresas gestoras de residuos y su contexto social (Valencia, Espinosa, Parra y Peña, 2011). Teniendo en cuenta, además, que las instituciones municipales encargadas en realizar la gestión de residuos muchas veces no llegan a cumplir los procesos completos que se requieren para un buen funcionamiento de recolección de residuos (Ojeda, 2009).

El diagnóstico de las condiciones laborales a las cuales se encontraban expuestos los trabajadores del área de recolección y transporte permite elaborar planes de mejoramiento que amortigüen el riesgo que conlleva la realización de esta actividad, dado que se impone la necesidad de conocer adecuadamente las posibilidades de que los desechos y materiales lleguen a afectar la salud ser humano, por tal motivo, se identificaron los aspectos más relevantes que incidieron en la afectación para la salud de los trabajadores.

Como lo mencionan Labre y San Lucas (2018):

> Los trabajadores de empresas gestoras de residuos sólidos están constantemente expuestos a factores de riesgos para su salud, con una alta posibilidad de contaminación y contagio por distintos agentes, mediante el contacto directo que tienen con la basura o residuos que pueden quedar con agentes virales contaminantes, después de su uso o con la recolección de los residuos que desarrollan durante las jornadas laborales, lo cual puede incidir para adquirir enfermedades. (p. 236).

Otro factor a tener en cuenta, es el campo de trabajo, puesto que la intemperie y el contacto permanente con basura puede potenciar el riesgo de accidente por mordedura de animales o picadura de insectos, que potencialmente puede transmitir enfermedades infecciosas al trabajador (Lenis, López y Cuadros, 2012), este factor es modificable, a través de la apropiación de conocimientos, actitudes y prácticas de la población sobre la prevención de la picadura de mosquitos. La educación y la capacitación sobre problemas de salud permiten incrementar los conocimientos, los cambios de actitudes y la percepción de riesgo, para que puedan prevenir cualquier factor que incida negativamente en la salud de la población (Acosta, Chalgub, Baydes y Abraham, 1999).

La posibilidad de contaminación y contagio también puede producirse a partir de accidentes o por exposición, los cuales son factores controlables y evitables mediante procedimientos de trabajo aplicados adecuadamente, y de la adopción de medidas de protección individual o colectiva que minimicen su incidencia.

> Para los autores López, Huerta y Martínez (2011), la gestión de los residuos se destaca en el transcurso del tiempo y las necesidades sociales que fomentan la obligatoriedad y adecuación de acciones y normativas que regulen el manejo y control de los desechos sólidos, además de los impactos ambientales y la sostenibilidad en la gestión de residuos, mejorando de esa forma los procesos de desarrollo para las futuras generaciones. (Labre y San Kucas, 2018, p. 227).

"El Manejo Integral de los Residuos Sólidos es un conjunto de actividades educativas, técnicas, operativas y administrativas, relacionadas con la generación, separación en la fuente, almacenamiento, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos" (Rodríguez, 2015, p. 7).

> La gestión de los residuos sólidos generados por las actividades humanas y las aplicaciones tecnológicas constituye uno de los retos más importantes para políticos, técnicos y científicos, que están buscando una solución correcta, o al menos aceptable, a la cuestión de minimizar los impactos que producen en el medio natural y social. Se trata de un problema, inherente a la actividad humana, muy difícil a una solución definitiva. (Rodríguez, 2015, p. 5).

> Como ocurre en relación a otros problemas ambientales, hasta ahora el estudio del impacto de los residuos sobre el medio había sido más desarrollado por las ciencias físicas o naturales. Sin embargo, en el momento presente, las ciencias sociales que se han incorporado con firmeza al campo del medio ambiente están poniendo las bases para enmarcar el problema de los residuos en el estudio de la relación sociedad-naturaleza y, de forma más concreta, en el conocimiento de la relación entre desarrollo económico, tecnología y población. (p. 6).

> En Colombia no se conocen experiencias exitosas de gestión integral de residuos sólidos en ecosistemas insulares; sin embargo, desde hace algunos años se han realizado acciones importantes (evacuación de residuos sólidos) frente al manejo de los residuos sólidos generados, que aunque no han solucionado el problema en su totalidad son iniciativas interesantes de mostrar al país y a la comunidad internacional. (p. 16).

Por lo tanto, se debe generar acciones que impacten de manera positiva el nivel de adherencia al protocolo de seguridad y salud en el trabajo, además de concientizar al personal administrativo de las empresas de aseo para que brinden herramientas de prevención y proteccion, así como un eficaz control de dichos peligros.

Metodología

El tipo de estudio que se empleó para determinar el nivel de adherencia al protocolo de gestión en seguridad y salud de los trabajadores de la empresa de ASEOYOTOCO S.A.S E.S. P en el área de recolección de residuos sólidos fue descriptivo, permitiendo describir de manera sistemática, continua, oportuna y confiable, información relevante y necesaria sobre las condiciones de salud de la población objeto de estudio; además de identificar los factores influyentes en la incidencia de accidentes laborales, estableciendo así, los controles oportunos y específicos para minimizar la afectación de la condición insegura en los trabajadores expuestos.

El modelo de enfoque fue mixto, obteniendo objetividad de los resultados. La información fue analizada estadísticamente, con el fin de determinar el grado de adecuación de los controles ejecutados por asociación de enfermedades laborales derivadas de la exposición a residuos biológicos.

Población y muestra

Criterio de tipificación de la población

Los cargos considerados como críticos se encuentran en el área de recolección y transporte de residuos, por lo tanto, la población objeto correspondio a los 9 trabajadores de dicha área.

Muestra

Se realizo muestreo por conveniencia, ya que en el área de recolección y transporte se contaba con 9 trabajadores, mayores de edad y de género masculino y femenino. Teniendo en cuenta el nivel de riesgo considerado como alto y la relevancia para la investigación, la totalidad de los trabajadores se consideraron objeto de estudio para la evaluación al nivel de adherencia al protocolo de gestión en seguridad y salud.

Formulación del problema

Aumentar el nivel de adherencia en los trabajadores, para el control del riesgo bilógico, buscando minimizar o disminuir este riesgo, mediante procedimientos adecuados para mantener y preservar la salud de los trabajadores, brindando herramientas para el mejoramiento de las condiciones de seguridad y salud, además de controlar el impacto social y económico que ello implica, ya que el riesgo biológico involucra una alta manipulación de elementos punzocortantes, así como, el manejo de líquidos orgánicos potencialmente infecciosos, que pueden representar un riesgo paraa la salud del trabajador.

> Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), refiere que algunos riesgos ocupacionales, tales como traumatismos, ruidos, agentes carcinogénicos, partículas transportadas por el aire y riesgos ergonómicos representan una parte considerable de la carga de morbilidad derivada de enfermedades crónicas: 37 % de todos los casos de dorsalgia; 16 % de pérdida de audición; 13 % de enfermedad pulmonar obstructiva crónica; 11% de asma; 8 % de traumatismos; 9 % de cáncer de pulmón; 2 % de leucemia; y 8 % de depresión. Aproximadamente un 70 % de los trabajadores carecen de cualquier tipo de seguro que pudiera indemnizarlos en caso de enfermedades y traumatismos ocupacionales. Las enfermedades profesionales más comunes son el cáncer atribuible a la exposición a sustancias peligrosas, las enfermedades musculoesqueléticas, las enfermedades respiratorias, la pérdida de audición, las enfermedades circulatorias y las enfermedades transmisibles causadas por exposición a agentes patógenos. (Ocrospoma, Villar y Yachachin, 2017, p. 1).

> Las estadísticas de crecimiento del Sistema de Riesgos Laborales en Colombia nos muestran que pasamos de tener aproximadamente 3.5 millones de trabajadores afiliados en el año 1994 a tener en 2014 cerca de 9 millones, las cifras de los últimos años muestran un promedio de 6´499.000 afiliados anuales en comparación con el año 2014 con 9´011.000. De igual manera, la accidentalidad laboral ha aumentado, pasamos de 410.000 en el 2009 a 687.000 en el año 2014. Para el año 2009 se calificaron un total de 6 mil enfermedades laborales, mientras que para el año 2014 se calificaron 9.700 casos. Frente a este tema se ha discutido durante los últimos años y ***se prevé la posibilidad de un dramático aumento teniendo en cuenta que muchas de estas enfermedades se reportaban como enfermedad común***. La nueva normatividad llama a la responsabilidad (…). (Pulido, 2018, p. 40).

Para el año 2016 “las estadísticas indican en que promedio 6,4 trabajadores de cada 100 sufrieron accidentes laborales” (Dinero, 2018).

Tabla 1. *Accidentes y enfermedades laborales en 2017*

Departamentos con mas Accidentes laborales (Tasa por cada 100 trabajadores afiliados)		Departamentos con menos accidentes laborales (Tasa por cada 100 trabajadores afiliados)		Departamentos con mas enfermos a causa del trabajo (Tasa por cada 100.000 trabajadores)		Departamentos con menos enfermos a causa del trabajo (Tasa por cada 100.000 trabajadores)	
Magdalena	10	Vichada	2,5	Cesar	124,1	Guainia	0
Cundinamarca	9,3	Guainia	2,7	Valle	126,2	Vaupés	0
San Andres y Prov	8,5	Chocó	2,7	Bolivar	128,8	Vichada	0
Meta	8,3	Amazonas	2,8	Cauca	132,3	Putumayo	6,1
Antioquia	8,1	Putumayo	2,9	Cundinamarca	240,5	Casanare	9,9

Año	2014	2015	2016	2017
Muertes calificadas	569	566	607	568

Fuente: Dane (Revista Dinero, 2018)

Solo en Medellín en el año 2016 y primer trimestre de 2017, se reportaron un total de 28 operarios del servicio de aseo que presta la empresa Promoambiental Caribe (Pacaribe) que han sufrido accidentes por pinchazos con agujas de jeringas y heridas con elementos cortopunzantes, como vidrios fragmentados y metales filosos.

Resultados

La investigación conto con la participación de 9 trabajadores del área de recolección de la empresa AseoYotoco S.A.S E.S.P, de los cuales el 78 % (2 trabajadores) fueron operarios y el 22 %(2 trabajadores) conductores. El 11 % de la muestra estuvo conformada por personal con intervalo de edades entre los 18 a 25 años (1 trabajador), de 35 a 31 años el 22 %, y con el mismo porcentaje de 41 a 45 años (2 trabajadores) y la mayor representación con edades entre los 46 a 53 años el 44 % (4 trabajadores).

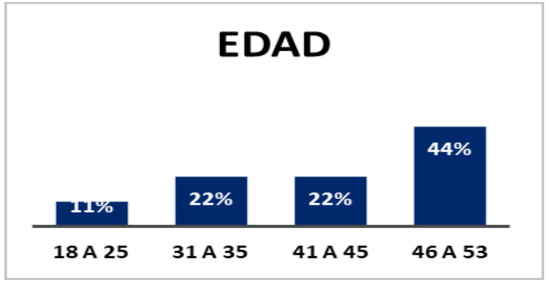


Figura 1. Intervalo de edad.
Fuente: presente investigación, 2018.

En relacion a la carga laboral, el 44 % de los trabajadores (4 personas) refirió que labora mas de 8 horas diarias, el resto de la muestra (56 %) manifestó que desempeñan sus labores con horarios inferiores a las 8 horas diarias.

En cuanto al uso de Elementos de Protección Personal (EPP), el 100 % de los encuestados utilizaban zapatos cómodos, otras medidas de protección que presentaron buena adherencia por los trabajadores de la empresa son: la protección respiratoria con un porcentaje de 56 % de uso, al igual que el uso de ropa protectora con 67 %, guantes 78 %, y con un 67 % y 78 % de uso se encuentran las gafas y la gorra protectora respectivamente, esto en contraste con la falta de adherencia para el uso del casco, que solo lo utilizaron el 33 % de los participantes y la protección auditiva con un 44 % de adherencia dentro del personal.

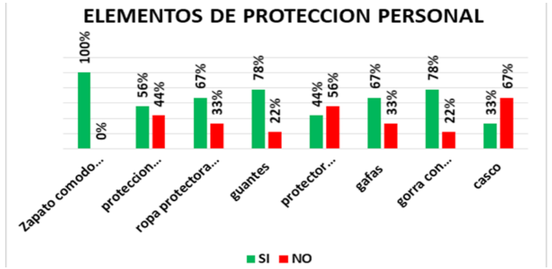


Figura 2. Uso de Elementos de protección personal.
Fuente: La prersente investigación, 2018.

A la pregunta ¿utilizan los EPP sumistrados por la empresa?, el 56 % de los participantes (5 trabajadores) manifestaron no usarlos, y el 44 % restante si lo utilizan. Otro de los hallazgos a resaltar es el tema de las capacitaciones, encontrando que el 67 % de los trabajadores (6 personas), manifestaron haber recibido algún tipo de capacitación sobre el uso, cuidado y mantenimiento de los elementos de protección personal, el 33 % que equivale a 3 trabajadores refirieron no recibir capacitaciones. Por su parte, Macalopú (2013), en su estudio señala que existe relación entre los accidentes laborales y el uso de los elementos de protección personal en el trabajador de limpieza publica, en dicho estudio un 81,1 % de los trabajadores sufrió algún accidente por no usar los elementos de protección personal.

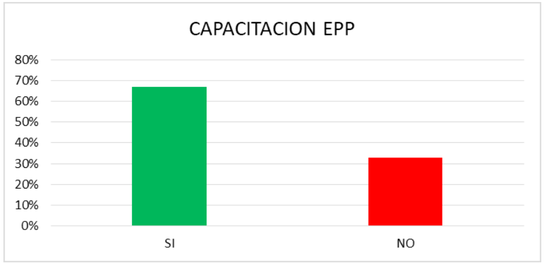


Figura 3. Capacitaciones elementos de protección personal.
Fuente: La presente investigación, 2018.

De los 9 trabajadores participantes en la encuesta dirigida al personal del área de recolección de la empresa de Aseoyotoco S.A.S E.S.P, el 44 %, que equivale a 4 trabajadores no usa, ni mantiene y no almacena correctamente los Epp asignados para su oficio y el 56 % que equivale a los 5 trabajadores usan, mantienen y almacenan correctamente los Epp.

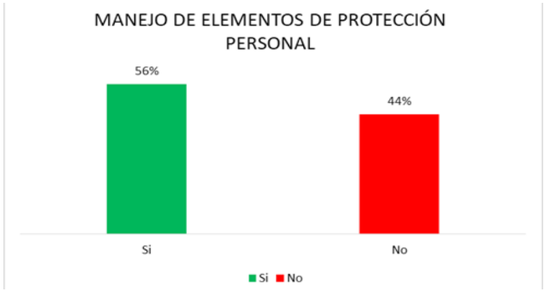


Figura 4. Manejo de elementos de protección personal.
Fuente: La presente investigación, 2018.

Referente al consumo de alimentos del personal del área de recolección de la empresa de Aseoyotoco S.A.S E.S.P, el 56 %, que equivale a 5 trabajadores, manifestaron haber consumido algún tipo de alimentos durante el desarrollo de la actividad, de igual manera solo un 56 % de los encuestados confirmo que se lavan las manos antes y después de consumir alimentos.

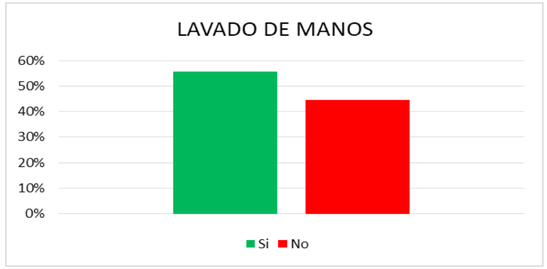


Figura 5. Lavado de manos.
Fuente: La presente investigación, 2018.

El 67 % de los encuestados, que equivale a 6 trabajadores, refirieron que no utiliza gel antibacterial como complemento para el lavado de manos, y el 33 %, que equivale a 3 trabajadores, refieren que sí utilizan gel antibacterial como complemento para el lavado de manos. En relación al lavado de manos, el 56 % de los trabajadores refieren que en la empresa no existen duchas ni lavamanos para su higiene después de terminada su labor, y el 44 % (4 trabajadores) refieren que sí existen duchas y lavamanos.

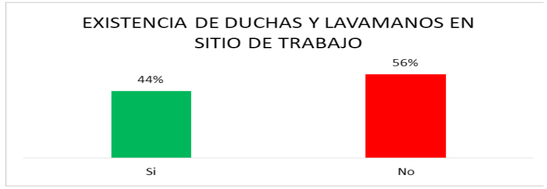


Figura 6. Existencia de duchas y lavamanos.
Fuente: La presente investigación, 2018.

En relación al riesgo biológico y el conocimiento que tienen los trabajadores de la empresa objeto de estudio, el 56 % de los trabajadores refirió que no los han informado sobre el riesgo biológico al que están expuestos, contrario al 44 % que manifestaron que si están formados e informados sobre el riesgo biológico. Este aspecto es de vital importancia, al conocer el tipo de riesgo y las consecuencias de un accidente laboral, la manera de trabajar y la responsabilidad de las personas (Nava, 1994).

> De esta forma, aun cuando la actividad de la prevención de riesgos laborales ha tomado diferentes nombres a lo largo del tiempo, todas van enfocadas hacia el mismo objetivo fundamental: "la protección de la salud y el bienestar de los trabajadores mediante acciones preventivas y de control en el ambiente de trabajo". Van Der Haar & Goelzer (como se citó en Molano y Arévalo, 2013).

A pesar de no ser informados en su mayoría del tipo de riesgo al que se encuentran expuestos, el 100 % de los trabajadores reconocio estar expuestos a peligros como polvo, ruido, vapores, olores fuertes, humos. la inadecuada selección de residuos desde su fuente y la mala gestión que se le da a estos, aumenta la incidencia de enfermedades en los recicladores, debido a que están directamente expuestos a sustancias que pueden generar infecciones gastrointestinales, respiratorias, problemas de piel, entre otras (Rodríguez y Gaitán, 2016).



Figura 7. Exposición a riesgos.
Fuente: Autores, 2018

Otro de los hallazgos importantes, fue referente a la vigilancia especifica de la salud, donde el 67 % de los participantes, mencionaron que sí hay vigilancia específica, mientras que el 33 % refieron que no hay vigilancia específica de la salud.

La investigación de Maldonado (2016) realizada en Ecuador, determinó:

- Que es urgente diseñar un plan de vigilancia de la salud que incluya la difusión del manual que compendie los protocolos de bioseguridad propuestos.
- Los trabajadores del área de servicios generales de limpieza desconocen el manejo de desechos hospitalarios que se debe llevar en un hospital.
- La evacuación de los desechos hospitalarios debe realizarse con base en una planeación que no está claramente definida ni difundida. (p. 36).

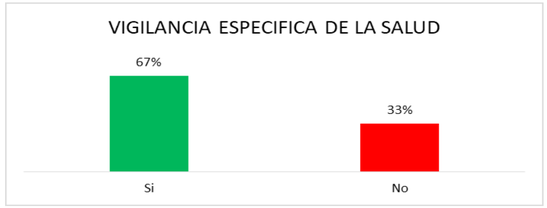


Figura 8. Vigilancia especifica de la salud.
Fuente: La presente investigación, 2018.

Por otro lado, solo el 56 % de los trabajadores participantes, afirmo conocer el protocolo a seguir en caso de accidente por pinchazo o herida, el 44 % restante manifestó que no lo conocen, algo que se opone a lo planteado en el Plan Decenal 2012-2021 (Ministerio de Salud y Protección Social, 2013), donde se reitera:

> La necesidad de las empresas de contribuir al mejoramiento de las condiciones de salud y medio ambiente de trabajo de la población trabajadora colombiana, mediante la prevención de los riesgos laborales y ocupacionales, que puedan afectar negativamente el estado de bienestar y salud, mediante la promoción de la salud de las poblaciones laborales vulnerables a riesgos ocupacionales, con enfoque diferencial, aunando esfuerzos para prevenir, mitigar y superar los riesgos de esta población, fortaleciendo la gestión intersectorial y la participación social en el nivel local, regional y nacional. (p. 3).

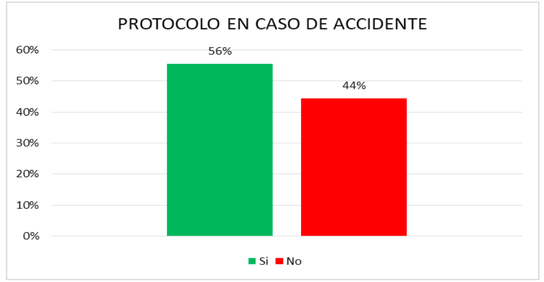


Figura 9. Protocolo en caso de accidente.
Fuente: La presente investigación, 2018.

En cuanto a las enfermedades que puedieran atribuirse o no a la labor



Figura 10. Patologías presentadas.
Fuente: La presente investigación, 2018.

En cuanto al nivel de comunicación de la empresa respecto a condiciones de seguridad, el 67 % de la muestra manifestó que sí existe una buena comunicación, lo cual va de la mano con el 67 % de trabajadores que reportan permanentemente las condiciones de riesgo y participa en la solución, mientras que el 33 % no reporta permanentemente las condiciones de riesgo y tampoco participa en la solución.

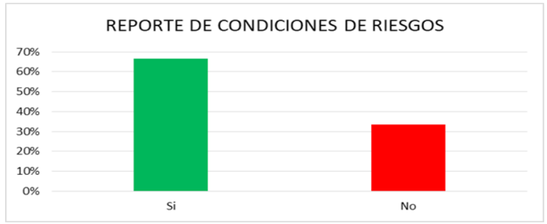


Figura 11. Reporte de condiciones de riesgo.
Fuente: La presente investigación, 2018.

Conclusiones

El nivel de adherencia al protocolo de gestión en seguridad y salud de los trabajadores de la empresa ASEOYOTOCO S.A.S E.S. P en el área de recolección de residuos sólidos, debe evaluarse y estipular planes de mejoramiento, con el fin de lograr que la totalidad de trabajadores de la empresa conozcan las medidas de protección y utilicen los elementos asignados, de igual manera, es necesario concientizar a la totalidad de empleados de los riesgos a los que están expuestos, para mejorar su nivel de adherencia al protocolo de seguridad y salud.

La empresa ASEOYOTOCO S.A.S E.S. P no tiene un claro diagnóstico de las condiciones laborales a las cuales se encuentran expuestos los trabajadores del área de recolección y transporte de la empresa Tuluaseo en Yotoco, por lo cual existen trabajadores que omiten las medidas de protección, esto pone en grave riesgo, no solo al trabajador sino el contexto donde este se desenvuelve, sin contar los costos que esto puede derivar para la empresa.

Es necesario que al interior de la empresa se generen señales de alarma para que los empleados puedan reconocer síntomas de gastroenteritis, diarreas, infecciones cutáneas y alergias (rinitis, asma, otitis, conjuntivitis, refriado, neumonía), además de afecciones en la piel, los pies y lo ojos, ya que es aquí donde se evidencia el bajo nivel de conocimiento por parte de los trabajadores frente al riesgo al que están expuestos, pues refieren comer alimentos durante el desarrollo de su labor, asi como desconocer las instalaciones físicas, como el lavamanos y duchas, sin tener en cuenta la afectación que esto podría causar a su salud.

En consecuencia, se debe priorizar la socialización de las medidas de bioseguridad y los protocolos estipulados por la empresa, asi como por los organismos de control, llevando a que el trabajador asuma una postura de autocuidado y vigilancia de su salud.

Referencias

Acosta, O., Chalgub, A., Baydes, R. y Abraham, E. (1999). Modificación de los conocimientos, actitudes y prácticas de la población sobre la prevención de los mosquitos. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, *37*(1), 6-12.

Así quedo el balance de accidentes y enfermedades laborales en 2017. (15 de febrero de 2018). *Revista Dinero.* Recuperado de https://www.dinero.com/edicion-impresa/pais/articulo/accidentes-y-enfermedades-laborales-en-2017/255313

Labre, A. y San Lucas, P. (2018). Condiciones de trabajo y salud ocupacional en trabajadores de una empresa ecuatoriana gestora de residuos. *Uniandes EPISTEME Revista digital de Ciencia, Tecnología e Innovación*, *5*(3), 225-238.

Lenis, V., López, Y. y Cuadros, Y. (2012). Condiciones de salud y de trabajo informal en recuperadores ambientales del área rural de Medellín, Colombia, 2008. *Revista de Saúde pública, 46*(5), 866-874.

Macalopú, S. (2013). *Accidentes de trabajo y elementos de protección personal en trabajadores de limpieza pública del distrito de José Leonar-*

do Ortiz, Chiclayo Perú (tesis de pregrado). Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, Perú. Recuperado de http://tesis.usat.edu.pe/xmlui/bitstream/handle/20.500.12423/421/TL_Macalopu_Torres_Sandra_Ines.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Maldonado, L. (2016). *Diseñar un protocolo, para prevenir riesgos biológicos en empleados de servicios generales del Hospital Humberto Molina* (tesis de maestría). Universidad de Guayaquil, Ecuador. Recuperado de http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/21412/1/DR.%20MALDONADO%20MONTOYA%20LUIS%20ALBERTO.pdf

Ministerio de Salud y Protección Social. (2013). Plan Decenal de Salud Pública 2012-2021. Dimensión salud y ámbito laboral. Recuperado de https://www.minsalud.gov.co/plandecenal/Documents/dimensiones/dimension-salud-ambitolaboral.pdf

Ministerio del Medio Ambiente. (1997). Política para la gestión integral de residuos. Recuperado de http://cvc.gov.co/sites/default/files/Sistema_Gestion_de_Calidad/Procesos%20y%20procedimientos%20Vigente/Normatividad_Gnl/Politica%20para%20la%20Gestion%20Integral%20de%20Residuos%20Solidos%20-%201997.pdf

Molano, J. y Arévalo, N. (2013). De la salud ocupacional a la gestión de la seguridad y salud en el trabajo: más que semántica, una transformación del sistema general de riesgos profesionales. *Innovar, 23*(48), 21-31.

Nava, H. (1994). Antecedentes históricos de la salud en el trabajo. En C. Barquín. (Ed.). *Sociomedicina* (pp. 533-536). México: Méndez editores.

Ocrospoma, I., Villar, M. y Yachachin, D. (2017). *Exposición a riesgos ergonómicos en los trabajadores encargados de la recolección de residuos sólidos del distrito de ventanilla, Enero – Julio 2018* (trabajo de especialización). Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima, Perú. Recuperado de http://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/upch/3554/Exposicion_OcrospomaLopez_%20Isabel.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ojeda, J. (2009). *Análisis situacional de la gestión de residuos sólidos urbanos casos: Catalunya (España) y Loja (Ecuador*) (proyecto de maestría). Universidad Autónoma de Madrid. Recuperado de http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/1589/1/T-SENESCYT-00707.pdf

Pulido, A. (2018). *Identificación las teorías implícitas de los trabajadores medical Pro&nfo ante los riesgos laborales* (trabajo de especialización). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Recuperado de http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/14618/1/PulidopinzonYenniandrea2018.pdf

Rodríguez, J. (2015). *Manejo integral de residuos sólidos urbanos domiciliarios en Colombia: Mitos y realidades* (trabajo de especialización). Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. Recuperado de https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/7349/RodriguezContrerasJuanCarlos2015.pdf?sequence=1

Rodríguez, M. y Gaitán, D. (2016). Metodología costo-beneficio y su aplicación en la salud de los recicladores en Bogotá D.C. *Boletín Semillas Ambientales*, *10*(2), 25-27.

Sáez, A. y Urdaneta, J. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latinay el Caribe. *Omnia, 20*(3), 121-135.

Serit, Y., Matos, J., Panunzio, A., Nuñez, M. y Bellorín, M. (2005). Desechos biológicos generados en laboratorios de la facultad de Medicina de una institución universitaria. *Kasmera, 33*(1). Recuperado de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0075-52222005000100004

Valencia, J., Espinosa, A., Parra, A. y Peña, M. (2011). Percepción del riesgo por emisiones atmosféricas provenientes de la disposición final de residuos sólidos. *Revista de salud pública*, *13*(6), 930-941.

Economía ambiental sostenible: un aporte de las empresas transportadoras de la región andina a la conservación de los recursos naturales

Arlez María Valencia Restrepo[143]
Jaiber Adrián Valencia Ospina[144]
Luz Marina Santa[145]
Alberto Cuartas Castillo[146]
Juan Guillermo Popayán-Hernández[147]

Resumen

En este artículo se realiza una revisión a la interrelación entre las empresas de transporte, la economía y el medio ambiente. En concreto, se manifiesta la carencia de una economía ambiental en el desarrollo de la actividad mercantil de servicios de transporte. Se estudia los diferentes conceptos que se asocia al tema del impacto ambiental desde el punto de vista económico, describiendo los principales elementos, así como también, se propone diferentes estrategias para la correcta gestión ambiental en el servicio de transporte, buscando incrementar la rentabilidad financiera en este tipo de empresas.

Palabras clave: economía ambiental, medio ambiente, movilidad, transporte.

[143] Corporación Universitaria Minuto de Dios. Guadalajara de Buga, Colombia. Correo electrónico: arlez.valencia@uniminuto.edu

[144] Corporación Universitaria Minuto de Dios. Guadalajara de Buga, Colombia. Correo electrónico: aariassuns@uniminuto.edu.co

[145] Corporación Universitaria Minuto de Dios. Guadalajara de Buga, Colombia. Correo electrónico: luz.santa@uniminuto.edu

[146] Corporación Universitaria Minuto de Dios. Guadalajara de Buga, Colombia. Correo electrónico: alberto.cuartas@uniminuto.edu

[147] Corporación Universitaria Minuto de Dios. Guadalajara de Buga, Colombia. Correo electrónico: jgpopayanh@unal.edu.co

Sustainable environmental economy: a contribution of the courier companies of the Andean region to the conservation of natural resources

Abstract

This article reviews the interrelation between transport companies, the economy and the environment. The lack of an environmental economy in the development of the commercial activity of transport services is evidenced. The different concepts associated with the issue of environmental impact are studied from an economic point of view, describing the main elements, and different strategies are proposed for proper environmental management in the transport service, seeking to increase financial profitability in this type of companies.

Key words: Environmental economics, environment, mobility, transport.

Economia ambiental sustentável: uma contribuição das empresas transportadoras da região andina para a conservação dos recursos naturais

Resumo

Este artigo analisa a inter-relação entre empresas de transporte, a economia e o meio ambiente. É evidenciada a falta de uma economia ambiental no desenvolvimento da atividade comercial de serviços de transporte. Os diferentes conceitos associados à questão do impacto ambiental são estudados do ponto de vista econômico, descrevendo os principais elementos, e são propostas diferentes estratégias para uma gestão ambiental adequada no serviço de transporte, buscando aumentar a rentabilidade financeira nesse tipo de empresa.

Palavras-chave: Economia ambiental, meio ambiente, mobilidade, transportes.

Introducción

En cualquier sistema económico, las funciones elementales de producción, distribución y consumo ocurren dentro de un mundo natural circundante. Una de las funciones que desempeña el entorno natural es la de proveer materias primas y energía, sin los cuales serán imposibles la producción y el consumo. En consecuencia, uno de los impactos que tiene cualquier sistema económico sobre la naturaleza es explotarla para proveerse de materias primas para mantener el sistema en funcionamiento. Las actividades de producción y consumo también generan desechos o residuos que regresan al entorno natural, [de acuerdo como se manipulen estos residuos pueden conducir a la contaminación del ambiente natural]. (Nuñez, 2008).

La importancia de la economía ambiental es:

Conducir en forma sistemática a una mejor toma de decisiones en la evaluación y gestión económica de los recursos ambientales y naturales. Difícilmente se puede comprender el problema de los impactos que dañan al medio ambiente, así como sus soluciones, sin comprender la relación entre economía y medio ambiente.

Algunas cuestiones importantes que estudia la economía ambiental es hasta qué punto las distintas externalidades llevan a una asignación incorrecta de los recursos, cómo podemos mejorar esta asignación y la forma en que deberíamos hacerlo, por qué lograr un mayor bienestar social. Asimismo, la economía ambiental, puede ayudar consistentemente a dar respuesta a problemas acerca de: cómo empleamos y cómo podríamos emplear mejor los recursos naturales, en cuánto valoramos la protección de espacios naturales, cuándo vale la pena realizar un proyecto, cuándo vale la pena construir una carretera, en cuánto deberíamos penalizar a aquellas industrias que dañan nuestro entorno, etc. (Raffo y Mayta, 2015, pp. 63-64).

El consumo de materias primas, para este caso el consumo de combustibles, genera emisiones y residuos para las Empresas Transportadoras de la región Andina, que puede incidir directamente en la escasez de los recursos naturales renovables y no renovables o en la manera que se dan los servicios ecosistémicos, como ejemplo, se puede citar la emisión de gases generada por el uso de combustible fósil, la cantidad de monóxido de carbono que aportan significativamente al deterioro de la capa de ozono, la generación de residuos como son las llantas afectan al medio ambiente y salud pública, ya que el periodo de descomposición de estos elementos tardan miles de años en hacerlo.

Toda industria genera impactos ambientales, pensar en el solo hecho que el aire que respiramos tiene algún grado de contaminación y, por lo tanto, los vehículos de las Empresas Transportadoras de la región Andina no es la excepción, por ello, se debe tomar consciencia que estas empresas en menor o mayor grado aportan a los problemas ambientales, tal es el caso del cambio climático, la generación de residuos sólidos y líquidos, el deterioro de las propiedades físicas del suelo, la generación de ruido, etc., por lo anterior, en este artículo se presentan algunas propuestas para la minimización de los impactos ambientales negativos generados.

La propuesta principal está encaminada a hacer conscientes de los aportes a la problemática ambiental y las externalidades ambientales que se generan durante los procesos productivos que se desarrollan, en segunda medida, se analizará los incentivos económicos o beneficios tributarios que el Estado colombiano tiene para las empresas comprometidas con el mejoramiento de la calidad ambiental, por ejemplo, la manera en la cual la empresa puede ser beneficiada a través de incentivos económicos al demostrar que su producción es limpia, entre muchos otros beneficios, aumentando así la rentabilidad del negocio, sin el agotamiento de los recursos naturales y disminuyendo el impacto ambiental causado por estos factores.

Lo anterior traerá grandes beneficios a nivel ambiental y a nivel socioeconómico a la región Andina, dado que muestra el interés de las empresas transportadoras en proyectarse como empresas socialmente responsables y comprometidas con el cumplimiento de la normatividad, sin que ello signifique el sacrificio de los servicios prestados a la comunidad.

Problemas ambientales en las empresas transportadoras

La industria de transporte genera gran impacto en el medio ambiente, afectando directamente la calidad del aire, del suelo y, principalmente, la salud de las personas, lo anterior debido al uso de combustibles fósiles, al igual que la generación de residuos sólidos y líquidos depositados sin el tratamiento adecuado; Por otra parte, la contaminación del suelo ocasionalmente sucede por los derrames accidentales de hidrocarburos y se suma el ruido generado por los vehículos en áreas de zona residencial.

Las Empresas Transportadoras de la región Andina realizan sus actividades de transporte con rutas en los departamentos de Valle del Cauca, Cauca y Nariño; por ende, al cumplir con su trabajo el gran parque automotor que integra el conjunto de estas empresas y en función con el medio ambiente, prolifera la contaminación con el uso de combustibles fósiles y petrodiésel, ocasionando el deterioro de la capa de ozono a través de la emisión de gases efecto invernadero, de igual manera, las llantas que por obvias razones el autobús debe usar son cambiadas en un tiempo máximo de 8 a 10 meses, sin importar que en la fabricación de las mismas se utilicen más de 200 ingredientes, como base de dichos ingredientes se dividen en 5 grupos: caucho natural, caucho sintético, negro de humo y sílice, cables de refuerzos metálicos y textiles, numerosos agentes químicos, sin olvidar que una llanta demora en degradarse mil años.

De acuerdo con los análisis realizados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la contaminación atmosférica en Colombia es uno de los problemas ambientales de mayor preocupación para los colombianos por los impactos generados tanto en la salud como en el ambiente, además, es el tercer factor generador de costos sociales después de la contaminación del agua y de los desastres naturales. De acuerdo con lo establecido en el Título 5 del Decreto 1076 de 2015 y ajustando la definición, la contaminación atmosférica es el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes, entendidos estos como fenómenos físicos o sustancias o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana que solos, o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de estas. (Ministerio de Ambiente, s.f., párr. 1).

Para el desarrollo de sus actividades, las empresas transportadoras de la región Andina están comprometidas con el cuidado del medio ambiente y la baja emisión de gases que afectan la capa de ozono, por ello, realizan mantenimiento preventivo frecuente al parque automotor y cada vez más vinculan vehículos que integran la UREA como parte del chasis y motores EURO 5 como factor de baja contaminación ambiental (Transipiales S.A., 2016)

Principales relaciones entre economía ambiental y la actividad de las empresas transportadoras de la región Andina

Existe una relación directa entre los servicios que prestan las Empresas Transportadoras de la región Andina y el objeto de estudio de la economía ambiental. Relación que tiene sus cimientos desde la misma razón de ser de estas compañías.

El crecimiento continuo que lleva experimentando este sector a lo largo de los últimos años y su previsible aumento, hacen que el reto de conseguir un transporte sostenible sea una prioridad estratégica a escala local, nacional, europea y mundial.

Se trata de producir un servicio óptimo, transportando y moviendo personas y mercancías de forma superior, con menos recursos y menor impacto

ambiental. La disociación de las fuerzas económicas respecto a las presiones ambientales, no solo exige la "desmaterialización" sino también la "desenergización" y "descarbonización" de los sistemas de producción, consumo y transporte. Por ello, la disminución progresiva de la intensidad energética y de carbono en los sistemas de producción de consumo y transporte se reconoce, generalmente, como un factor clave en la transición económica por vías sostenibles. (Herrero, 2011).

Las empresas de transporte requieren el uso de recursos naturales, como son los combustibles fósiles para abastecer los vehículos transportadores y prestar sus servicios, la demanda de dichos recursos naturales involucra el consumo de materias primas que aportan al problema de la escasez de los recursos naturales del país, al cambio climático, el deterioro del medio ambiente y la salud de las personas.

Impacto socioeconómico sobre el medio ambiente

Los impactos ambientales describen los efectos que la ejecución de un determinado proyecto puede causar sobre el medio ambiente. A continuación, se describen los impactos ambientales más representativos de la actividad de transporte:

- **Consumo de combustibles fósiles y emisiones atmosféricas.**

El agente principal causante del impacto ambiental del transporte es el consumo de combustible que, de acuerdo con el modelo energético actual, se basa en el consumo de materias primas derivadas del petróleo (gasolina, gasóleo), recurso natural limitado. Este consumo es el origen principal de las emisiones a la atmósfera del sector, con otros efectos negativos sobre el medio ambiente.

El consumo de combustible y de energía, tal y como se ha indicado anteriormente, trae como consecuencia, además de la eliminación de recursos naturales no renovables, otros impactos medioambientales asociados: la emisión de gases de efecto invernadero y la emisión de contaminantes [como lo es el material particulado]. (Consejería de Medio Ambiente, s.f., pp. 15-16).

- **Emisión de gases de efecto invernadero y cambio climático.**

Se trata de una consecuencia directa e inevitable del consumo de combustibles fósiles (gasolina, gasóleo, gas natural). El principal gas de efecto invernadero es el **dióxido de carbono, CO2** [y monóxido de carbono CO]. (…).

El cambio climático se produce por la acumulación excesiva de CO2 y otros gases en la atmósfera, que impiden la evacuación al espacio de parte del calor emitido por la Tierra una vez calentada ésta por los rayos solares (efecto invernadero). En caso de incrementarse la presencia de gases de efecto invernadero en la atmósfera por la actividad humana (efecto invernadero artificial), la retención de calor sería mayor, aumentando la temperatura media de la superficie terrestre. (Consejería del Medio Ambiente, s.f., p. 16).

- **Consumo de agua.**

En las empresas de transporte el agua se destina, por lo general, a consumo humano, a consumo higiénico-sanitario y a consumo para el lavado de vehículos e instalaciones.

Este último consumo tiene especial incidencia en el transporte de pasajeros, donde el lavado es más frecuente por las necesidades de higiene requeridas. (Consejería del Medio Ambiente, s.f., p. 18).

- **Generación de residuos.**

"Las operaciones de reparación y mantenimiento de vehículos generan importantes cantidades de residuos de distinta naturaleza (peligrosos, urbanos y eseciales)" (Consejería del Medio Ambiente, s.f., p. 19).

Entre ellos destacan:

✓ ***Residuos peligrosos.***

Los residuos peligrosos son considerados como fuentes de riesgo para el medio ambiente y la salud. Estos residuos generados a partir de actividades industriales, agrícolas, de servicios y aún de las actividades domésticas, constituyen un tema ambiental de especial importancia en razón de su volumen cada vez creciente como consecuencia del proceso de desarrollo económico y de sus características. Su problemática se asocia a diversas causas como, por ejemplo, la presencia de impurezas de los materiales, la baja tecnología de proceso, las deficiencias de las prácticas operacionales o las características de los productos y sustancias al final de su vida útil, entre otras. Los casos que generan la mayor preocupación social se derivan de los efectos evidenciados sobre la salud y el medio ambiente, resultantes de una disposición inadecuada de este tipo de residuos (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2016, p. 7).

Entre estos se destacan: aceites usados, filtros de combustible, baterías usadas, filtros de aceite, bidones o envases que han contenido sustancias o residuos peligrosos, liquido de baterías, neumáticos fuera de uso, combustible fuera de uso (Consejería del Medio Ambiente, s.f.).

- **Vertidos contaminantes a la red de saneamiento, a cauce o al suelo.**

Entre las consecuencias ambientales de la actividad del transporte se encuentra el derrame accidental de sustancias químicas contaminantes y el vertido de aguas contaminadas. Estos derrames y vertidos líquidos deben ser gestionados correctamente con el fin de evitar consecuencias negativas sobre el medio ambiente.

El derrame accidental en el subsuelo de sustancias químicas contaminantes suele deberse a fenómenos **accidentales o fortuitos** como consecuencia de accidentes de carretera y ferroviarios de cisternas que transportan dichas sustancias, o por un **mal estado** de los equipos de transporte que tienen pérdidas (válvulas con holgura, picadura de tanques), o por una **mala práctica** operativa de los mismos (válvulas mal cerradas y malas prácticas en la carga y descarga del producto, entre otras causas). Las consecuencias ambientales del derrame de una sustancia contaminante es la afección al suelo y, en muchos casos, a las aguas subterráneas someras. (Manual para la Gestión Ambiental en el Sector Transporte en Andalucia), estos productos al caer a la calzada son arrastrados por la lluvia y contaminan las aguas. (Consejería de Medio Ambiente, s.f., p. 21).

- **Generación de ruido.**

El principal causante del ruido global es el tráfico. Pese a todas las medidas adoptadas al respecto en la lucha contra el ruido no se ha conseguido una reducción permanente del mismo.

Esto es debido a que, mientras en el ámbito de los vehículos de motor se han reducido las emisiones de ruido a través de la disminución escalonada de los valores límites, simultáneamente se ha producido un crecimiento del tráfico terrestre, contrarrestando las reducciones conseguidas.

Además, se prevé que en el futuro aumente la cantidad de automóviles, del kilometraje realizado por cada uno, de vehículos con potencia superior y de vehículos pesados, lo que supondrá consecuentemente el incremento del ruido. (Wong, 2007, p. 68).

Estos altos niveles de ruido pueden causar trastornos en la salud de las personas y en los animales, así como pérdidas de productividad y rendimiento en la población afectada: trabajadores, estudiantes, etc.

- **Uso del suelo.**

La afectación sobre los suelos que se han producido a nivel mundial por la construcción de vías para conectar centros urbanos, zonas productivas, y puertos que configuran los puntos de los sistemas de transporte. Estos desarrollos han causado la pérdida, contaminación y/o la ocupación de entornos naturales para dar paso al obligado desarrollo y conectividad mundial. (Webmaster, 2013, s.p.).

- **Proximidad de espacios naturales protegidas.**

Todos los efectos anteriores cobran mayor importancia cuando se producen en las proximidades de espacios naturales protegidos (…), donde el equilibrio de los ecosistemas es muy delicado, bien por su fragilidad, por la escasez de las especies que en él habitan o porque se trate de zonas de paso de aves migratorias. (Consejería de Medio Ambiente, s.f., p. 22).

Estrategia de economía ambiental en el marco de la gestión ambiental

Para el desarrollo de sus actividades misionales, se encontró que la mejor estrategia para que las Empresas Transportadoras de la región Andina puedan ser sostenibles en el tiempo y más amigables con el medio ambiente es la incursión en los mercados verdes. Al establecer un programa de mercados verdes, le permitirá mantener o aumentar sus ganancias, aprovechando las posibilidades que brinda la aplicación de los principios de economía ambiental, lo que a su vez permitirá minimizar el deterioro de los ecosistemas y de los recursos naturales que son utilizados en sus procesos productivos. Para el cumplimiento de estas metas, la empresa busca implementar diferentes programas y proyectos que coadyuven a que sea pionera en producción sostenible:

- **Biotecnología.**

El cambio climático se produce por la acumulación excesiva de CO2 y otros gases en la atmósfera, que impiden la evacuación al espacio de parte del calor

emitido por la Tierra una vez calentada ésta por los rayos solares (efecto invernadero). En caso de incrementarse la presencia de gases de efecto invernadero en la atmósfera por la actividad humana (efecto invernadero artificial), la retención de calor sería mayor, aumentando la temperatura media de la superficie terrestre. (Consejería de Medio Ambiente, s.f., p. 16).

La meta de Colombia, bajo el título oficial de Contribución Nacionalmente Determinada (INDC por sus siglas en inglés), podría aumentar de manera condicionada al 25% o 30% dependiendo de los recursos de cooperación internacional que reciba el país en los próximos años para apoyar sus esfuerzos de mitigación. El punto de referencia para esta reducción de emisiones es el Inventario de Gases de Efecto Invernadero producido por el IDEAM para el 2010. (Ambientum, 2015).

Las Empresas Transportadoras de la región Andina pueden aportar a la reducción de gases de efecto invernadero implementando las siguientes acciones:

"Estándares de rendimiento y conducción verde; renovación de la flota; uso de combustibles de menor carbono intensidad; promoción del transporte público; incentivos al uso del transporte privado; cobros por congestión" (Ministerio de Ambiente, s.f.).

- **Aprovechamiento de residuos.**

"Las operaciones de reparación y mantenimiento de vehículos generan importantes cantidades de residuos de distinta naturaleza (peligrosos, urbanos y especiales)" (Consejería de Medio Ambiente, s.f., p. 19). Entre estos se destacan aceites usados, filtros de combustible, baterías usadas, filtros de aceite, bidones o envases que han contenido sustancias o residuos peligrosos, liquido de baterías, neumáticos fuera de uso, combustible fuera de uso. Muchos de estos residuos son utilizados para generación energía, el caso de los neumáticos usados son aprovechados para la fabricación de asfalto.

- **Estrategia Pedagógica de Gestión.**

Esta estrategia permite alcanzar un objetivo de aprendizaje con los conductores de la empresa y afianzar la formación en temas ambientales, para ello la empresa se debe basar en una formación teórica-practica, acompañada de un instructor conocedor del tema que logre ejecutar el proceso, orientando a los transportadores a las buenas prácticas ambientales. Dentro del programa de capacitación se debe tener como base teórica una intensidad de 8 horas donde se abarquen temas como:

- Identificación del ecosistema.
- Reconocimiento del medio ambiente.
- Características del medio ambiente.
- Identificación de contaminantes del medio ambiente.
- Estrategia de mejoramiento para disminuir la contaminación de los recursos naturales.

- **Estrategia de conservación del suelo.**

La estrategia de conservación del suelo está destinada a la preservación de todos los componentes que hacen parte de éste, implica la no afectación de los medio bióticos y abióticos, por los cuales los vehículos de las Empresas Transportadoras de la región Andina realizan su recorrido.

Este mecanismo de gestión permite dar un control más riguroso a la flota de vehículos que prestan el servicio, de igual manera, estos procesos implican la capacitación de los conductores y el compromiso de ellos con respecto al medio ambiente.

Tabla 1. *Matriz de estrategias propuesta*

Estrategia de Conservación del Suelo			
Actividad	**Impacto**	**Mecanismo de gestión**	**Aporte ambiental**
Derrame de hidrocarburos en el transporte de personas o bienes.	Afectación de las características físico-químicas del suelo. Destrucción de la cobertura vegetal Erosión de los horizontes del suelo.	Capacitación a los conductores para atender una eventualidad de derrame a través de kit de derrames en cada vehículo. Chequeos aleatorios de los vehículos, con el fin de revisar aspectos tecno-mecánicos que permitan detectar posibles fugas de hidrocarburos.	Reducción del riesgo de impacto al suelo y su posible erosión.
Compra de llantas nuevas	Explotación excesiva de los recursos naturales	Verificación del estado de las llantas de cada vehículo para determinar si es posible reencauchar estas y desarrollar un programa de reutilización.	Reducción en la extracción de caucho y explotación de los recursos naturales.
Estrategia de Conservacion del Recurso Hidrico			
Actividad	**Impacto**	**Mecanismo de gestión**	**Aporte ambiental**
Lavado de vehículos	Contaminación del agua y fuentes hídricas Reducción de la disponibilidad del agua Afectación de los sistemas acuáticos	Implementación de un sistema con agua subterránea e hidrolavadoras que permitan la utilización de agua no potable y, de igual manera, el consumo del recurso sea el menor posible.	Disminución del impacto a las fuentes hídricas. Reducción del consumo de agua. Aumento de la disponibilidad del agua superficial para tratamiento y consumo humano.
Estrategia de Conservacion de la Atmosfera			
Actividad	**Impacto**	**Mecanismo de gestión**	**Aporte ambiental**
Emisión de Dióxido de carbono, monóxido de carbono y material particulado por fuentes móviles	Contaminación de la atmósfera por gases de efecto invernadero	Revisión tecno-mecánica obligatoria de cada vehículo.	Reducción de los agentes contaminantes a la atmósfera.
	Aporte al cambio climático	A largo plazo, cambio de vehículo modelos viejos por nuevos para garantizar que los sistemas mecánicos se ajusten más a la disminución de contaminantes.	Minimización del impacto de la atmósfera a causa de la quema de combustible fósil.
	Reducción de la capa de ozono	Gestión del aporte a la huella de carbono a través de la siembra de árboles.	Aumento de la cobertura vegetal y arbórea para la absorción del Monóxido y dióxido de carbono.

Conclusiones

El desarrollo del diagnóstico ambiental en las Empresas Transportadoras de la región Andina permitió detectar los principales problemas que impactan los diferentes ecosistemas y los recursos naturales. Este diagnóstico se enfatizó en las debilidades ambientales de las empresas prestadoras del servicio, para dar así respuesta al plan de gestión ambiental y mitigar los impactos generados en la ejecución de la actividad económica.

Ahora bien, si la base de la economía en las Empresas Transportadoras de la región Andina, desde la perspectiva empresarial, es el servicio transporte, no se deja de lado la perspectiva desde el punto de vista ambiental, donde se pudo observar que la contaminación es permanente e irreparable, ocasionando un gran impacto al medio ambiente, acabando con muchos ecosistemas que brindan sostenibilidad al planeta, sin embargo, la economía de la empresa es el punto más sensible para mantener el correcto desarrollo y crecimiento de un país, lo cual influye considerablemente en la calidad de vida del ser humano, ya que por medio de ésta se genera empleo y dinamismo a la economía nacional, por ello, se recomienda al sector del transporte en general la evolución hacia una economía ambiental sostenible, lo cual generará un impacto en la gestión de la Responsabilidad Ambiental Empresarial, además de incrementar su rentabilidad económica, es decir, si las empresas transportadoras incursionan en el mercado verde, protegen el medio ambiente y, a la vez, mejoran su economía.

Referencias

Alcaldía Mayor de Bogotá. (2016). Control y gestión ambiental a residuos peligrosos, orgánicos y escombros generados en Bogotá. Recuperado de http://www.ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=bf38af0c-0f18-43a8-ad94-b03b6a9385b7&groupId=55886

Australia y Colombia se suman a reducir sus emisiones de gases antes del 2030. (8 de diciembre de 2015). *Ambientum.* Recuperado de https://www.ambientum.com/otros/actualidad-ambiental/australia-y-colombia-se-suman-a-reducir-sus-emisiones-de-gases-antes-del-2030.asp

Consejería de Medio Ambiente. (s.f.). Manual para la gestión ambiental en el sector transporte en Andalucia. Recuperado de https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Publicaciones_Divulgacion_Y_Noticias/Documentos_Tecnicos/manual_gestion_ambiental_sector_transporte/documento_completo.pdf

Herreros, L. (2011). Transporte y movilidad, claves para la sostenibilidad. *Lychnos, 4,* 40-45. Recuperado de http://www.fgcsic.es/lychnos/es_ES/articulos/transporte_movilidad_claves_para_la_sostenibilidad

Ministerio de Ambiente. (s.f.). Colombia se compromete a reducir el 20 % de sus emisiones de gases de efecto invernadero para el año 2030. Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/noticias/1913-colombia-se-compromete-a-reducir-el-20-de-sus-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-para-el-ano-2030

Ministerio de Ambiente. (s.f.). Contaminación Atmosférica. Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/1801-plantilla-

Nuñez, J. (2008). El valor económico del medio ambiente. Recuperado de http://www.csj.gob.sv/AMBIENTE/boletin/2008/jun_08/BOLETIN19_06_08.html

Raffo, E. y Mayta, R. (2015). Valoración económica ambiental: el problema del costo social. *Industrial Data, 18*(2), 61-71.

Transipiales S.A. (2016). Nuestra empresa. Recuperado de https://transipialesvirtual.com/nuestra-empresa/

Webmaster. (2 de enero de 2013). Transporte y medio ambiente [página en Internet]. Recuperado de http://revistamakinariapesada.com/transporte-y-medio-ambiente/

Wong, V. (2007). *Desarrollo del programa técnico-económico de conducción de camiones para una empresa de transporte pesado de carga seca* (tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1835_IN.pdf

Taxonomía científica para la caracterización de los sistemas agrícolas mexicanos

Anyela Nayive Castillo Solarte[148]
José Antonio Avalos Lozano[149]
Mario Orlando Bonomi Cervantes[150]

Resumen

Se presenta la estructura y dinámica de la agricultura en México en los últimos cien años, utilizando como ejemplo, los sistemas de producción de maíz. Los resultados del análisis muestran que no se observa tendencias de variaciones estadísticamente significativas en el rendimiento y la producción, atribuibles al cambio climático. Se registra un incremento en los rendimientos y la producción de maíz en los sistemas de producción de riego y temporal del grano, impulsados por el aumento de la demanda del mercado nacional y el de autoconsumo. Se documentó mediante el análisis de una serie de tiempo (cien años) que la agricultura de maíz es vulnerable a los eventos meteorológicos y climáticos extremos, en particular al fenomeno El Niño y a las sequías. Con base en la información obtenida se estableció una definición útil de los sistemas agrícolas y se seleccionó los atributos significativos y las variables categóricas que serán utilizados en una nueva taxonomía para la agricultura mexicana.

Palabras clave: agricultura, metabolismo social, sistemas agrícolas, taxonomía.

[148] Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Posgrado Ciencias Agropecuarias. San Luis Potosí SLP, México. Correo electrónico: anycastillo@umariana.edu.co

[149] Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Posgrado Ciencias Agropecuarias. San Luis Potosí SLP, México.

[150] Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Posgrado Ciencias Agropecuarias. San Luis Potosí SLP, México.

Scientific taxonomy for the characterization of Mexican agricultural systems

Abstract

The structure and dynamics of agriculture in Mexico in the last hundred years are presented, using as an example, the maize production systems. The results of the analysis show that there are no statistically significant variation trends in performance and production attributable to climate change. There is an increase in the performance and production of corn in the irrigation and rainfed agriculture driven by the increase in the demand of the national market and the self-consumption. Through the analysis of a series of time (one hundred years), it was possible to document that corn agriculture is vulnerable to extreme weather and climatic events, particularly to the 'El Niño' phenomenon and droughts. Based on the information obtained, a useful definition of agricultural systems was established and the significant attributes and categorical variables that will be used in a new taxonomy for Mexican agriculture were selected.

Key words: agriculture, social metabolism, agricultural systems, taxonomy.

Taxonomia científica para a caracterização dos sistemas agrícolas mexicanos

Resumo

A estrutura e dinâmica da agricultura no México nos últimos cem anos são apresentadas, usando como exemplo os sistemas de produção de milho. Os resultados da análise mostram que não há tendências de variação estatisticamente significativas no desempenho e na produção atribuíveis às mudanças climáticas. Há um aumento no desempenho e produção de milho na agricultura de irrigação e de sequeiro, impulsionada pelo aumento da demanda do mercado nacional e do autoconsumo. Através da análise de uma série de tempo (cem anos), foi possível documentar que a agricultura de milho é vulnerável a condições climáticas extremas, particularmente ao fenômeno 'El Niño' e às secas. Com base nas informações obtidas, foi estabelecida uma definição útil de sistemas agrícolas e selecionados os atributos significativos e variáveis categóricas que serão utilizadas em uma nova taxonomia para a agricultura mexicana.

Palavras-chave: agricultura, metabolismo social, sistemas agrícolas, taxonomia.

Introducción

Los esfuerzos por comprender los diferentes tipos de agricultura en México no han bastado para construir un sistema de clasificación científica, sistemática y natural de los sistemas agrícolas mexicanos, pese a que se reconoce que este instrumento es un requisito indispensable para la formulación de políticas y estrategias de desarrollo en el área agrícola (González, 2010).

Bajo esta consideración, la construcción de una taxonomía de los sistemas agrícolas mexicanos representa una necesidad que permitirá potenciar las políticas públicas de desarrollo. La clasificación es básica para la construcción de estrategias de "abajo hacia arriba", que partan desde lo local e indispensables, considerando las características geológicas, edafológicas, biodiversidad y diversidad étnica, propias de países megadiversos como México y Colombia.

En los últimos años, se han utilizado una panoplia de herramientas para la selección de atributos que permitan la construcción de criterios de caracterización de los diferentes sistemas agrícolas mexicanos, la mayoría han fallado, debido a que utilizan una aproximación incorrecta, alejada del paradigma de la complejidad. Con la finalidad de afinar estos enfoques, algunos autores han recomendado incluir el concepto de metabolismo social, basados en la consideración de que los sistemas agrícolas son entidades complejas, constituidas por subsistemas sociales, biofísicos y ecológicos y sus intrincadas relaciones. La aplicación de esta herramienta permite identificar los atributos específicos en los sistemas agrícolas, además del reconocimiento de las diferentes formas de apropiación del paisaje que deben ser considerados para la clasificación de tales entidades (González de Molina y Toledo, 2011).

Así las cosas, el Metabolismo Social o Intercambio Orgánico es el concepto central del presente artículo, el cual es definido como:

> Analogía a la noción (…) fisiológica, el concepto utilizado en el estudio de las relaciones entre Sociedad y Naturaleza, describe y cuantifica los flujos de materiales y energía que se intercambian entre conglomerados sociales, particulares y concretos, y el medio natural (ecosistemas, paisajes). De manera general se pueden identificar tres campos de estudio del Metabolismo Social: agrario o rural, urbano e industrial. (González de Molina y Toledo, 2011, pp. 62-70).

Por su parte, González de Molina y Toledo (2011) describen algunos casos del análisis del metabolismo local rural, centrados en el estudio de territorios de extensión limitada y confinados al proceso metabólico de apropiación. Los estudios descritos, analizan las relaciones entre comunidades humanas concretas, tanto con los recursos naturales locales como con los mercados (locales, nacionales e internacionales); dicho de otra forma, estudian las articulaciones entre los intercambios orgánicos, ecológicos y económicos en territorios concretos. Se reconoce que esta aproximación basada en estudios microregionales es adecuada como base para la construcción de una taxonomía de sistemas agrícolas.

Kostrowicki (1977) y González (2001, 1990, 1985, 1982), mencionan que "la base de toda clasificación natural y científica son las características endógenas, internas o esenciales de los objetos que estén siendo clasificados" (citados en Gonzáles, 2010, p. 26). La consideración de que el Metabolismo Social Rural incluya estas características básicas es el fundamento que justifica la pretensión del presente trabajo, para utilizar esta aproximación en la caracterización de los diferentes tipos de sistemas agrícolas.

Objetivo general

Desarrollar una taxonomía científica, sistemática, y natural de los sistemas agrícolas mexicanos, con base en un procedimiento de caracterización de los atributos específicos, objetivos y esenciales de tales entidades.

Objetivos específicos

1.- Construir el concepto de sistema agrícola con base en atributos endógenos y objetivos, como elemento fundamental para una clasificación científica, sistemática y natural.

2.- Caracterizar el Metabolismo Social Rural de diferentes sistemas agrícolas tipo, para identificar los atributos específicos que deben ser considerados para la clasificación de tales entidades. Utilizar las categorías de una clasificación científica, sistemática, y natural de los diferentes sistemas agrícolas en México, a partir de sus atributos significativos.

3.- Seleccionar los atributos significativos que serán utilizados para desarrollar una taxonomía de los sistemas agrícolas mexicanos.

4.- Definir las categorías de una clasificación científica, sistemática y natural de los diferentes sistemas agrícolas en México, a partir de sus atributos significativos.

Desarrollo

El presente artículo describe los resultados obtenidos, básicamente en la definición de un concepto de sistema agrícola útil para la taxonomía, y la selección de los atributos significativos para la clasificación, identificando las variables indicadoras asociadas. Adicionalmente, con el fin de establecer el contexto de la investigación, se definió la estructura nacional y la dinámica de la agricultura en México, ejemplificando su funcionamiento con los sistemas de producción de maíz.

El proceso inicial se realizó considerando las estadísticas nacionales de producción agrícola desde 1925 hasta 2018, la información fue obtenida de diferentes bases de datos nacionales e internacionales, como el Archivo general agrario (AGA); el Anuario Estadístico de la Producción Agrícola (SIAP); las bases de datos del Centro de Investigaciones Agrarias; las estadísticas básicas del sector agropecuario de la Cámara de diputados, del H. Congreso de la Unión; las estadísticas del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática; las correspondientes a la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA); y las de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP); adicionalmente, se consultaron los boletines y documentos técnicos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; los boletines del Servicio de administración tributaria (SAT); y el USDA, *Foreign Agricultural Service*.

De esta manera, los datos obtenidos se analizaron, con el fin de establecer la estructura de la agricultura mexicana, considerando las superficies sembradas por diferentes cultivos y su evolución a lo largo de los últimos cien años. Se realizó un análisis multivariado para intentar comprender cuales eran los conjuntos de variables asociadas que explicaban la varianza en la producción y el rendimiento por ha, para los diferentes cultivos, modalidades de agricultura y regiones productivas. Una vez se determinaron las variables clave, se utilizaron para comprender los atributos de las formas tipo de agricultura en México. Variables como tipo de suelo, uso de agroquímicos y maquinaria, de riego, la asistencia técnica, el uso de semillas criollas, hibridas o transgénicas, el tipo de fuerza de trabajo, los ensambles, el capital de inversión, los mecanismos de transferencia de riesgo, el propósito del agricultor (autoconsumo, mercados local, nacional e internacional), se pueden constituir como grandes grupos de atributos, que permitieron construir cuatro clases de tipo generales de agricultura. (Ver Tabla 1).

Tabla 1. *Clases tipo de agricultura en México*

Sistema de producción	Industrial.
	Transición.
	Metabolismo orgánico.
	Etnoagricultura.

Asimismo, para el mismo periodo (1925-2018), se construyó una base de datos de los eventos meteorológico-climáticos y algunos procesos provocados por agentes biológicos; su influencia sobre el rendimiento de los cultivos fue determinada comparando el rendimiento al fin del periodo contra el rendimiento del año anterior y el posterior a la finalización del evento. A partir de esta base de datos se considera que será posible determinar, siempre que se utilicen series de tiempo lo suficientemente grandes, la vulnerabilidad de los sitios bajo estudio. Para la construcción de las series de tiempo de rendimiento y producción, se utilizaron las estadísticas del Gobierno Mexicano, afinadas con determinaciones del rendimiento, utilizando índices de vegetación y humedad, obtenidos a partir de información satelital. Las plataformas satelitales que se emplearon fueron LANDSAT 8 OLI y Sentinel II

Resultados y Discusión

En el año 2016, la superficie promedio sembrada en México fue de casi 22 millones de ha; de las cuales, 16 millones, el 71 % del total nacional, se utilizaron para sembrar siete cultivos fundamentales. (ver Figura 1).

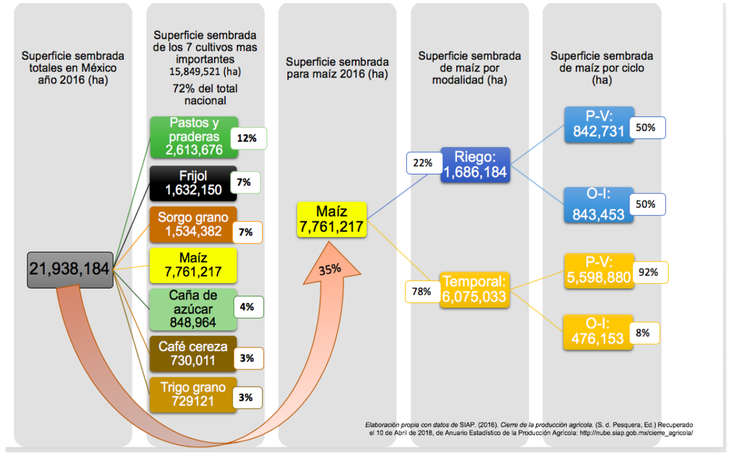


Figura 1. Estructura de la agricultura en México en 2016.

Entre los siete cultivos principales de México se destaca el maíz como el cultivo más importante, teniendo en cuenta: la superficie destinada a su producción (35 %) y el valor de su producción (ver Tabla 1), y como se discutirá más adelante, también es el cultivo fundamental en términos sociales.

Tabla 1.- Valor de la producción de los siete productos agrícolas de mayor importancia en México para el año 2016.

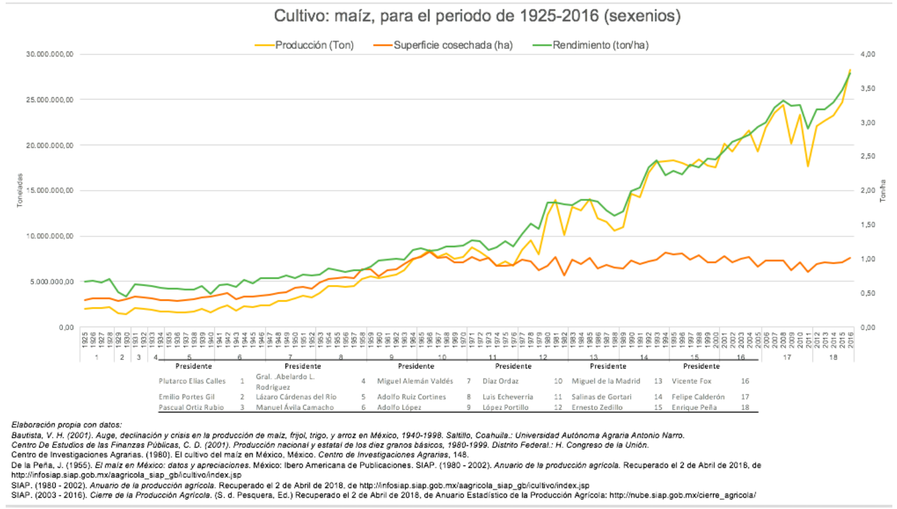
Cultivo	Sembrada ha	Producción Toneladas	Valor de Producción (US dolares, tipo de cambio 19 pesos por dolar)	Porcentaje
Maíz grano	7 761 216,74	28 250 783,31	5 249 349 794	19 %
Caña de azúcar	848 964,26	56 446 821,06	1 631 310 946	6 %
Aguacate	205 250,42	1 889 353,51	1 592 936 179	6%
Chile verde	173 146,15	3 279 909,67	1 270 617 750	5%
Tomate rojo (jitomate)	51 861,10	3 349 154,22	1 256 389 687	5 %
Pastos y praderas	2 613 676,39	53 729 455,08	1 158 498 086	4%
Alfalfa verde	387 155,33	33 119 961,45	845 242 755	3%
Sorgo	1 534 382,08	5 005 837,11	813 908 221	3%
Resto de cultivos	8 362 531,35	496 530 735,78	13 230 994 886	49%

Considerando la importancia de este producto, resulta valido, a juicio de los autores, circunscribir el campo del presente artículo a la producción de maíz, como un ejemplo representativo del funcionamiento de los sistemas de producción de alimentos en México.

En el año 2016 se sembraron 7 761 217 ha de maíz; 6 075 033 de las cuales eran temporal o secano, equivalentes al 78 % de la superficie destinada a la siembra del grano; y 1 686 184 corresponden a la modalidad de riego, el 22 % del área sembrada con maíz.

Así las cosas, el maíz de temporal en México se siembra, fundamentalmente, en el ciclo primavera-verano (PV), con un total de 5 598 880 ha (92 %), en contraste, en el ciclo otoño-invierno (OI) se siembran apenas 476 153 ha, en pequeñas áreas del territorio nacional, donde las condiciones lo permiten. Para la modalidad de producción de maíz con riego, las cosas son diferentes, en el ciclo otoño-invierno (OI) se siembran 843 453 ha (50 %) y en primavera-verano (PV) se siembra prácticamente la misma superficie 842 731 (50 %).

De la misma manera, se realizó un análisis de la producción nacional de maíz en los últimos 93 años, con el fin de comprender la dinámica general del cultivo y así determinar las tendencias significativas de variación en la producción, asociadas al cambio climático global, sin embargo, a nivel nacional, no se observan los efectos catastróficos, que diferentes escenarios han manejado como probables para este cultivo, por el contrario, los rendimientos y la producción no han dejado de aumentar. Los resultados obtenidos apuntan a que son las variables de índole económico y social las más importantes para determinar el rendimiento y la producción del grano. Como puede observarse en la Figura 2, la producción y el rendimiento han aumentado, pese a que la superficie destinada a la producción de maíz ha disminuido significativamente a partir del año 1965.



Elaboración propia con datos:
Bautista, V. H. (2001). Auge, declinación y crisis en la producción de maíz, frijol, trigo, y arroz en México, 1940-1998. Saltillo, Coahuila.: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
Centro De Estudios de las Finanzas Públicas, C. D. (2001). Producción nacional y estatal de los diez granos básicos, 1980-1999. Distrito Federal.: H. Congreso de la Unión.
Centro de Investigaciones Agrarias. (1980). El cultivo del maíz en México, México. *Centro de Investigaciones Agrarias*, 148.
De la Peña, J. (1965). *El maíz en México: datos y apreciaciones*. México: Ibero Americana de Publicaciones. SIAP. (1980 - 2002). *Anuario de la producción agrícola*. Recuperado el 2 de Abril de 2018, de http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/cultivo/index.jsp
SIAP. (1980 - 2002). *Anuario de la producción agrícola*. Recuperado el 2 de Abril de 2018, de http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/cultivo/index.jsp
SIAP. (2003 - 2016). *Cierre de la Producción Agrícola*. (S. d. Pesquera, Ed.) Recuperado el 2 de Abril de 2018, de Anuario Estadístico de la Producción Agrícola: http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/

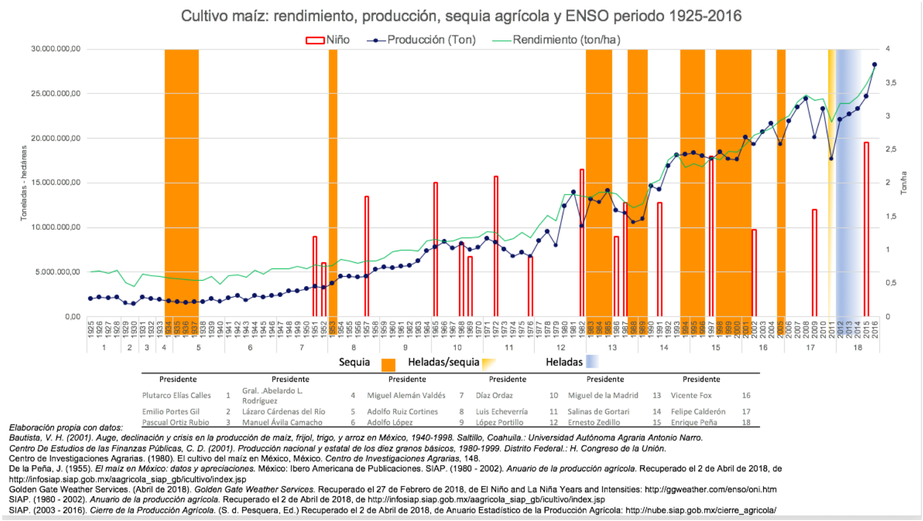
Figura 2. Producción, rendimiento, superficie del cultivo de maíz 1925-2016.

En cambio, la variabilidad climática y los eventos meteorológicos extremos sí tienen una gran influencia sobre la producción de maíz, la razón es simple, la mayoría de las tierras de secano en la República Mexicana se encuentran en zonas semiáridas, con precipitaciones menores a 600 mm/año; o áridas, con valores inferiores a 300 mm/año, lo cual provoca que la agricultura de temporal en México, incluso en años con buenas lluvias, sea una actividad de bajos rendimientos y gran incertidumbre, no por el régimen de aridez, sino principalmente, por las dinámicas complejas de la temperatura, la humedad, y los vientos, asociadas a este tipo de régimen climático, que influyen en la producción de múltiples formas.

> De hecho, mientras más árida sea una región, más variable e impredecible será la precipitación. Por esta razón, la precipitación media anual es un mal predictor de la cantidad de lluvia que recibirá una región árida en un año determinado. (Hernández, 2006, p. 16).

La gran variabilidad en la precipitación es la característica fundamental de las zonas de temporal mexicanas, las cuales sufren frecuentes sequías. En los últimos 30 años estos fenómenos han sido la causa fundamental de los siniestros, provocando más del 80 % del total de las perdidas agrícolas en todo el país (AGROASEMEX, 2006).

En la Figura 3 se presentan los resultados del análisis realizado en una serie de tiempo de cien años, sobre los efectos de diversos fenómenos meteorológicos y climáticos extremos en la producción de maíz en México.



Elaboración propia con datos:
Bautista, V. H. (2001). Auge, declinación y crisis en la producción de maíz, frijol, trigo, y arroz en México, 1940-1998. Saltillo, Coahuila.: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
Centro De Estudios de las Finanzas Públicas, C. D. (2001). Producción nacional y estatal de los diez granos básicos, 1980-1999. Distrito Federal.: H. Congreso de la Unión.
Centro de Investigaciones Agrarias. (1980). El cultivo del maíz en México, México. *Centro de Investigaciones Agrarias*, 148.
De la Peña, J. (1955). *El maíz en México: datos y apreciaciones*. México: Ibero Americana de Publicaciones. SIAP. (1980 - 2002). *Anuario de la producción agrícola*. Recuperado el 2 de Abril de 2018, de http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/cultivo/index.jsp
Golden Gate Weather Services. (Abril de 2018). *Golden Gate Weather Services*. Recuperado el 27 de Febrero de 2018, de El Niño and La Niña Years and Intensities: http://ggweather.com/enso/oni.htm
SIAP. (1980 - 2002). *Anuario de la producción agrícola*. Recuperado el 2 de Abril de 2018, de http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/cultivo/index.jsp
SIAP. (2003 - 2016). *Cierre de la Producción Agrícola*. (S. d. Pesquera, Ed.) Recuperado el 2 de Abril de 2018, de Anuario Estadístico de la Producción Agrícola: http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/

Figura 3. Análisis sobre los efectos de diversos fenómenos meteorológicos y climáticos extremos en la producción de maíz en México.

Niños, sequias, heladas, inundaciones y sus combinaciones afectan regularmente la producción de maíz, y pareciera que los efectos de estos fenómenos se han incrementado con el tiempo, por ejemplo, en 2011, una sequia y un conjunto de heladas produjeron la pérdida más importante en la producción y el rendimiento de maíz en los últimos cien años; sin embargo, esto no se debe al incremento en la frecuencia o magnitud de las amenazas, que no han sucedido, sino más bien, al aumento en la vulnerabilidad de los sistemas de producción industrial, ahora más dependientes del agua de las presas y otros insumos. Aunque, es importante anotar para el caso de México, sí se han producido cambios climáticos locales, de gran influencia regional sobre la agricultura, pero estos se asocian más con cambios en el uso de la tierra y la deforestación, que con el incremento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera. Es importante aclarar que los sistemas industriales de producción agrícola con riego, también son vulnerables a El Niño y a las sequias.

Los riesgos meteorológico-climáticos asociados a la agricultura han provocado que esta sea una actividad de bajo rendimiento y poca rentabilidad; sin fuentes disponibles de financiamiento, ni mecanismos de transferencia de riesgo, un dato significativo es que, en 2015, apenas el 8 % de las unidades de producción agrícolas recibieron financiamiento (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2017; CEDRSSA, 2015).

México es grande y anfractuoso, y las unidades de producción (UP) pequeñas, en 2014 existían 3 286 465 UP, de las cuales, el 90 % son de 20 ha o menos y el 73 % es inferior a 5 ha, según la Encuesta Nacional Agropecuaria (INEGI, 2017), más de 2 millones de estas UP se destinan al autoconsumo, produciendo 5,5 millones de toneladas de maíz, en más de 4 millones de ha, correspondientes al 15 % de la superficie agrícola nacional (INEGI, 2017). Por otro lado, estas UP de autoconsumo son heterogéneas en sus condiciones ecológicas y rendimientos; lo que dificulta el desarrollo de paquetes tecnológicos y la innovación, además, están dispersas y se sitúan en lugares poco comunicados, lo que dificulta la accesibilidad, la dotación de insumos, la asistencia técnica y el transporte de sus productos a los sitios de consumo.

Los factores descritos en el párrafo anterior han provocado que la agricultura concentre al sector de la población mexicana con mayor vulnerabilidad social; según el Banco Mundial, en 2015, la población rural en México alcanzó 25 330 000 personas (Banco Mundial, 2015), de las cuales, más de 17 millones (61 %), vivían en situación de pobreza (Banco Mundial, 2015). El problema es que la población rural sigue aumentando en términos absolutos, mientras su contribución a la economía nacional disminuye, en 2015, la Población Económicamente Activa (PEA) empleada en el sector agrícola y ganadero alcanzó 6 900 000 personas, el 13,4 % de la PEA nacional (Consejo Nacional de Población, 2016) sin embargo, su contribución al Producto Interno Bruto (PIB) nacional, en el 2014, fue apenas del 3,32 %.

Conclusiones

El conocimiento de la estructura y dinámica de la agricultura mexicana permitió elaborar un marco conceptual, fundado en la definición de un concepto útil y concreto de sistema agrícola, adicionalmente, se seleccionaron un conjunto de atributos endógenos, cuantificables y objetivos, para funcionar como elementos de clasificación para una taxonomía agrícola científica, sistemática y natural; entendiendo un atributo como las cualidades o propiedades endógenas y significativas de los sistemas agrícolas.

Para fines de la presente investigación, se estableció que:

> Un sistema agrícola es un conjunto articulado de elementos sociales, económicos y ecológicos, coherentemente organizados por el orden social, cuyo propósito es obtener, mediante el trabajo humano, alimentos y materias primas de los agroecosistemas, destinados a conglomerados sociales, particulares y concretos, gestionando las poblaciones vegetales y animales, el suelo, el agua, las diferentes formas de energía solar, animal, o de combustibles fósiles; y los elementos del clima, y el medio natural. Estos sistemas presentan un funcionamiento adaptativo, dinámico, teleológico, de autopreservación y en ocasiones evolutivo; constituido por un conjunto de elementos (composición), procesos que articulan a los elementos (estructura) y una función (propósito). Los sistemas agrícolas son construidos por el intercambio orgánico histórico entre una sociedad concreta y sus ecosistemas (Gonzalez de Molina y Toledo, 2011, p. 62-70).

Con base en los resultados obtenidos, se seleccionaron y definieron un conjunto de atributos y variables categóricas, que serán utilizadas para la construcción de una taxonomía agrícola mexicana. (Ver Tabla 2).

Tabla 2. *Atributos y variables de las clases de agricultura en México*

Atributo	Variable
Energía	Uso de Energía fósil o eléctrica.
	Uso de fertilizantes, plaguicidas, mejoradores de suelo.
	Uso maquinaria agrícola
	Uso de energía humana y animal.
Mercado	Producción dedicada al autoconsumo.
	Mercado local.
	Mercado Nacional.
	Mercado Internacional.
	Mixto
Tamaño de la Unidad de Producción	X ≤ 5 ha.
	20 ha ≤ X ≥ 5 ha.
	X ≥ 20 ha
Modalidad	Riego agua superficial.
	Riego subterráneo.
	Jugo.
	Temporal.
Ensambles	Monocultivo.
	Multicultivo.
	Agro-silvícola.
	Agro-pastoril.
	Agro-silvo-pastoril.
Fuerza de trabajo	Trabajadores por cuenta propia.
	Trabajadores no remunerados.
	Trabajadores remunerados.
Capital de inversión.	Basada en la fuerza de trabajo.
	Financiera.
	Mecanismos de transferencia de riesgo
Evaluación del rendimiento y la producción primaria neta por hectárea, de agroecosistemas, índice de siniestralidad, en series de tiempo significativas.	Valores calibrados de rendimiento con base en índices de vegetación
	Series de tiempo de eventos meteorológico climáticos y su efecto sobre el rendimiento y la producción de los cultivos.
	Índice de siniestralidad (hectáreas cosechadas/ hectáreas sembradas)
	Series de tiempo sobre la variación en la Humedad del suelo

Referencias

AGROASEMEX. (2006). *La Experiencia Mexicana en el Desarrollo y Operación de Seguros Paramétricos Aplicados a la Agricultura* (1.ª ed.). Ciudad de México, México: AGROASEMEX.

Banco Mundial. (2015). Datos. Recuperado de https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.RUR.TOTL.ZS?locations=MX

Consejo Nacional de Población. (2016). Información Sociodemografica sobre la Población Laboral del País. Recuperado de www.gob.mx/conapo/articulo/informacion_sociodemografica_sobre_la_fuerza_laboral_del_pais?idiom=es

González de Molina, M. y Toledo, V. (2011). *Metabolismos, Naturaleza e Historia: Hacia una Teoría de las Transformaciones Socioecológicas*. Barcelona, España: Icaria.

González, A. E. (2010). *Principios para la Clasificación de los Sistemas Agrícolas* (Folleto Técnico No. 37). Estado de México, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2014). Encuesta Nacional Agropecuaria-ENA 2014 [diapositivas]. México. Recuperado de https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ena/2014/doc/ena2014_pres.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2017). Encuesta Nacional Agropecuaria. Recuperado de http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/encagro/ena/2017/

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2018). Cultivos y productos de ganadería. Recuperado de http://www.fao.org/faostat/es/#data/TP

Capacidad de captura de carbono en el cultivo de caña panelera *Saccharum Officinarum*

María Patricia Obando Enriquez[151]
Marly Andrea Delgado Pantoja[152]
Yuly Yohana Vacca Guerrero[153]

Resumen

El cambio climático representa una de las amenazas más preocupantes para el ambiente, debido a las emisiones de CO_2 en la atmósfera, producto de la actividad humana que altera la composición de la atmósfera y se suma a la variabilidad natural del clima. Esto ha probado un aumento de los gases de efecto invernadero –GEI- que producen un cambio de la temperatura y un desajuste en el clima, causando impactos negativos a la seguridad alimentaria, la economía mundial, la infraestructura física, los recursos naturales y, por ende, a la salud humana. La investigación se encuentra enmarcada en el papel que cumple la caña panelera *Saccharum officinarum* al capturar CO_2. El proceso metodológico se desarrolló en tres etapas: Fase I: Caracterización de prácticas de manejo; Fase II: Cuantificación del carbono capturado; y Fase III: Comparación del Carbono capturado vs. Edad del cultivo. Se concluyó que el potencial de carbono almacenado por el cultivo es de 16,3 Ton/ha*año, ubicándola como una especie prestadora de servicios ecosistémicos, que permite el equilibrio de los gases atmosféricos con la estabilidad del clima, ubicándola como una especie representativa en la zona de montaña en el departamento de Nariño; además, el cultivo representa un renglón importante en la economía local.

[151] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Colombia. Correo electrónico: mobando@umariana.edu.co

[152] Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Colombia.

[153] Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Colombia.

Palabras clave: cambio climático, captura de carbono, caña panelera, servicios ecosistémicos, sostenibilidad, sustentabilidad.

Capability of carbon capture in the cultivation of sugar cane *Saccharum Officinarum*

Abstract

Climate change represents one of the most worrisome threats to the environment, due to CO_2 emissions in the atmosphere, because of human activity, alters the composition of the atmosphere and adds to the natural variability of the climate. This has proven an increase in greenhouse gases –GHGs- that produce a change in temperature and a mismatch in the climate, causing negative impacts on food security, the world economy, physical infrastructure, natural resources and therefore human health.

The research is framed in the role played by the sugar cane *Saccharum officinarum* when capturing CO_2. The methodological process was developed in three stages: Phase I: characterization of management practices; Phase II: quantification of the captured carbon, and Phase III: comparison of the captured carbon Vs age of the crop. In conclusion, the carbon potential stored by the cultivation is 16.3 Ton / ha * year, placing it as a provider of ecosystem services, allowing the equilibrium of atmospheric gases with the stability of the climate, which make it a representative species in the mountain zone in the department of Nariño. The cultivation represents an important line in the local economy.

Key words: climate change, carbon capture, sugar cane, ecosystem services, sustainability.

Capacidade de captura de carbono no cultivo da cana de açúcar *Saccharum Officinarum*

Resumo

A mudança climática representa uma das ameaças mais preocupantes ao meio ambiente, devido às emissões de CO_2 na atmosfera, resultantes de atividades humanas que alteram a composição da atmosfera e aumentam a variabilidade natural do clima. Isto gerou aumento de gases com efeito de estufa, levando a uma mudança de temperatura e um desajuste do clima, causando impactos negativos sobre a segurança alimentar, a economia global, infraestrutura física, recursos naturais e, portanto, para a saúde humana.

A pesquisa enquadra-se no papel desempenhado pela cana de açúcar *Saccharum officinarum* ao capturar CO_2. O processo metodológico foi desenvolvido em três etapas: Fase I: caracterização das práticas de gestão; Fase II: quantificação do carbono capturado, e Fase III: comparação do carbono capturado Vs idade idade do cultivo. Concluiu-se que o potencial de carbono armazenado pela cultura é de 16,3 toneladas / ha * ano, colocando-o como uma espécie de empréstimo dos serviços dos ecossistemas, permitindo o equilíbrio de gases atmosféricos para a estabilidade climática, colocando-a como uma espécie de representação a zona de montanha no departamento de Nariño, e também o cultivo representa uma linha importante na economia local.

Palavras-chave: mudança climática, captura de carbono, cana de açúcar, serviços ambientais, sustentabilidade.

Introducción

Colombia es un país vulnerable, que está siendo afectado por los impactos adversos predecibles del cambio climático. En la actualidad, el cambio climático obliga a pensar en desarrollo de manera diferente. Para reducir sus riesgos es necesario hacer cambios radicales y sistemáticos, que promuevan estilos de vida y de consumo más sostenible. Desde el punto de vista ambiental, la función de la agricultura se ha convertido en un factor determinante frente a la mitigación del cambio climático, por esta razón, se hace necesario ahondar en investigación sobre los sistemas agrícolas, como es el caso del cultivo de caña panelera *Saccharum officinarum*, pues, es claro que este cultivo es representativo a nivel regional y, principalmente, en la zona occidente del departamento de Nariño.

En la actualidad se están llevando a cabo diversos estudios que apuntan a contrarrestar estos impactos, de los cuales, los sistemas agrícolas toman gran importancia dentro de la dimensión ambiental como instrumentos, con un enorme potencial para contribuir a la minimización de los efectos adversos del cambio climático, cuyo fin es aportar en la búsqueda de un desarrollo sostenible, y que a su vez contribuya con estrategias de adaptación y mitigación. La investigación se basa en el papel que cumple la caña panelera *Saccharum officinarum* en los servicios ecosistémicos frente a la reducción de emisiones de CO_2 a través de la captura de carbono.

Justificación

La investigación presenta un alto grado de impacto social, determinante a la hora de implementar estrategias que permitan responder de manera oportuna y concreta a ciertas problemáticas causadas por las actividades naturales y antrópicas. Es sumamente importante generar conciencia en acciones ambientales sostenibles que contrarresten los impactos generados, a través del aprovechamiento de los servicios ambientales de los sistemas productivos; para este caso, aun cuando ya existen mecanismos estatales y de corporaciones competentes que brindan asesoría a agricultura, se debe generar mayor investigación en los beneficios ecosistémicos de los sistemas agrícolas, existen demostraciones precisas de todos los beneficios que se generan, bajo estrictas tipologías de manejo del cultivo, cuyo beneficio no solo es local sino que repercute en todo el territorio.

Metodología

Para la caracterización de las prácticas de manejo llevadas a cabo en el cultivo de caña panelera *Saccharum officinarum,* se realizó un desplazamiento al sitio de estudio, donde se efectuó una encuesta semiestructurada, conformada por dieciséis preguntas de selección múltiple, aplicadas a agricultores, cuya actividad económica es destinada al cultivo en mención. Posterior a esto, se realizó la sistematización de datos obtenidos para su análisis.

Consecutivamente, para la cuantificación del carbono almacenado en el cultivo de caña panelera *Saccharum officinarum* fue necesario:

Reconocimiento de fincas. Con base en los datos obtenidos de la aplicación de la encuesta, se seleccionaron tres (3) fincas, considerando criterios como: variedad, topografía, extensión y edad del cultivo; siendo este último el más importante dentro de la estimación de carbono capturado por el mismo (ver Figura 1).



Figura 1. Reconocimiento de fincas.

Toma de muestras. Inicialmente, se determinaron los puntos de muestreo distribuidos aleatoriamente en la totalidad de la extensión, equivalente a 1 ha, y estableciendo para ello un área muestreada de 50*50 cm. En general se tomaron doce (12) muestras, donde se tuvieron en cuenta los rangos de edad definidos dentro de la metodología adoptada para la investigación, de la siguiente manera: seis (6) muestras en edad de 0-6 meses, tres (3) muestras en edad de 6-12 meses, y tres (3) muestras en edad de 12-18 meses.



Figura 2. Reconocimiento de fincas.

Cuantificación de biomasa aérea y terrestre. Para la cuantificación de biomasa aérea y terrestre se utilizó el método directo o también llamado método destructivo, que consiste básicamente en derribar por completo la planta contenida dentro del área muestreada, para posteriormente ser triturada, determinando así la biomasa a través del peso directo de cada uno de sus componentes (raíz, tallo, hojas).

Etapa de laboratorio. Los análisis correspondientes a porcentaje de carbono y humedad se realizaron en el laboratorio Agrosoillab, ubicado en la ciudad de Bogotá. Por consideraciones del laboratorio, las muestras enviadas contenían 500 gr de biomasa fresca, distribuidos en cantidades iguales entre sus componentes (raíz, tallo, y hojas). Obtenidos los resultados en la etapa de laboratorio, se procedió a su sistematización en una hoja de cálculo del programa Excel.

Determinación del Carbono Almacenado. Para la estimación de carbono almacenado en la biomasa aérea de cada muestra, se utilizaron las siguientes fórmulas establecidas por Sierra (2010).

La biomasa empleada para el estudio fue la tomada en la muestra, correspondiente al peso verde contenido en la parcela, parámetro calculado por la siguiente ecuasión:

$$BA = \frac{B_{UTA} * U_A}{A} \quad (1) \qquad (1)$$

Donde:

BA: Rendimientos de biomasa de la especie (Ton/10.000 m² ó Ton/ha).

BUTA: Biomasa útil (Ton) contenida en el área muestreada (m²).

UA: Unidad de área (ha transformada a m²).

A: Área muestreada (m²).

A partir de los resultados de laboratorio que determinaron el porcentaje de carbono contenido y los datos de biomasa por hectárea, se hizo el cálculo de la captura de carbono por unidad de área (Ton/Ha). La fórmula utilizada para el cálculo del contenido de carbono fue la siguiente:

$$C_{UA} = \frac{B_A * \%CO}{100} \qquad (2)$$

Donde:

CUA: Captura de carbono por unidad de área (Ton/ha) por parte de la especie.

%CO: Porcentaje de carbono orgánico presente en la biomasa de la especie (%).

Partiendo de los anteriores resultados, se realizó una comparación de la cantidad de carbono capturado por el cultivo de caña panelera *Saccharum officinarum* con respecto a la edad del mismo.

Resultados, Análisis y Discusión

A través de las acciones que se desarrollaron con la participación de los agricultores, se realizo la caracterización de las prácticas de manejo llevadas a cabo en el cultivo de caña panelera *Saccharum officinarum,* dentro de la cual se infiere que uno de los aspectos más representativos a nivel regional corresponde a la extensión de la propiedad. La predominancia en los agricultores es de 0.5 y 2 ha de terreno. Información que corrobora, en general, la tenencia de tierra de los agricultores en Nariño, cuya extensión de terreno se denomina minifundio (entre 0.5 y 2 ha.), situación que permite inferir que, en muchos casos el agricultor optimiza la totalidad de la extensión dedicada al cultivo, situación que inhibe el normal crecimiento de las plantas, cuyas necesidades tienen unos requerimientos específicos, que al no cumplirse desencadenan problemas de producción y económicas.

En la actualidad diversas figuras estatales y privadas se encargan de brindar asesoría en cuanto a tipologías de manejo, que permitan optimizar la producción, pero desconocen la potencialidad ambiental, pues estos temas aún se desligan de los campos, sin omitir que al tener un cultivo que cumpla con las condiciones requeridas, indirectamente se está beneficiando al medio ambiente garantizando los servicios ambientales. Cabe resaltar que la agricultura es una de las causas de la aceleración del calentamiento global, aunque nuestros campesinos no tiene una maquinaria tan tecnificada sí datan una huella de carbono, aunque comparada con ciudades donde se establecen sistemas agrícolas con toda la tecnología del caso es mínima, de ahí la importancia de crear incentivos que permitan estructurar estrategias, donde la agricultura enlazada con el medio ambiente giren en la misma línea y apunten hacia un desarrollo sostenible y sustentable.

Es importante conocer la extensión de la propiedad como un indicador importante en la captura de carbono, pues dependiendo del número de plantaciones de caña panelera *Saccharum officinarum* existente en la propiedad, se asumirá una cantidad de CO_2 contrarrestado. Esta variable influye en la densidad de plantas por unidad de área dentro del cultivo, lo cual podría influir en los rendimientos de biomasa por hectárea del mismo (Sierra, 2010). Por otra parte, cabe destacar que, por su extensión tan reducida por tratarse de minifundios, el cañicultor solo puede aprovechar los cultivos de caña panelera para el autoconsumo y no para su comercialización (Alcaldía Municipio de Ancuya, 2000-2008).

Otro aspecto representativo corresponde a la edad del cultivo, factor determinante en la captura de carbono, pues la tasa fotosintética es alta en plantas jóvenes, y después de 4 a 5 meses empieza a decrecer notoriamente, aunque la intercepción de la radiación solar puede ser casi completa, la tasa de producción de biomasa tiende a disminuir con la edad del cultivo, debido a la acumulación de sacarosa en las hojas, proceso que inhibe la tasa de fotosíntesis. Esta característica va a depender de la variedad de caña panelera y de las condiciones en las que se cultiva (Amaya, Cock, Hernández y Irvine, 2011).

De seguimiento con la metodología implementada se procedió a cuantificar el carbono orgánico contenido en la caña panelera *Saccharum Officinarum.* A través de las ecuaciones matemáticas mencionadas (1 y 2), se registro en una hoja de cálculo Excel los resultados para realizar los cálculos pertinentes. En la Tabla 1 se puede observar la variación de carbono capturado.

Tabla 1. *Captura de carbono en el cultivo de caña panelera Saccharum Officinarum*

	0 – 6 meses	***6 – 12 meses***	***12 – 18 meses***
Carbono Almacenado (Ton/ha)	7.239	13.389	28.260
		16.296	

Los resultados iniciales en la cuantificación del carbono suponen a la caña panelera *Saccharum officinarum* como una especie de gran representatividad en cuanto a captura de carbono, teniendo en cuenta estudios realizados en plantas que presentan características similares, al pertenecer al grupo de las C4 (ciclos bioquímicos de la fotosíntesis), al igual que maíz *Zea Mayz* y la Guadua *guadua Angustifolia* Kunt.

La capacidad promedio de captura de carbono en el cultivo de caña panelera *Saccharum Officinarum,* establecido con una antigüedad mayor a 5 años, en un sistema de siembra chorrillo (distancia entre plantas 1 m^2) y obedeciendo a criterios estipulados para el estudio corresponde a 16,296 Ton/ha.

Relacionando este valor con el estudio realizado en el maíz *Zea Mayz, (*Arboleda, 2010) por la Universidad de Nariño, donde se evaluó tres diferentes tratamientos (Banco de proteínas Bp, Arreglo monocultivo Mc, Arreglo cultivo en callejones Cc) frente a la captura de carbono, éste en promedio captura 14,72 Ton/ha, un periodo de tiempo igual a 1 año. Esta investigación fue realizada en el corregimiento de Obonuco, municipio de Pasto, en condiciones climáticas de temperatura (13 °C) y elevación (2710 m s. n. m.), diferentes a los de la caña panelera, lo cual infiere notablemente en la captura de Carbono, puesto que existe mayor actividad fotosintética en climas cálidos (rangos de 23 °C a 30 °C). (Manrique, 2003). Por lo tanto, se puede decir que el potencial de captura de la caña panelera *Saccharum Officinarum* es mayor; esta diferencia obedece también a la duración del cultivo, la caña tiene en promedio de duración de 18 meses, mientras que el maíz se cultiva anualmente.

En relación con el estudio de evaluación de la Guadua *guadua angustifolia* Kunth (León, Folleco y Andrade, 2013), como un ejemplar para la captura de carbono, desarrollado en el municipio de Chachagüí por la Universidad de Nariño, la cantidad de carbono presente en el cultivo fue de 343,8 Ton para 18 ha, para efectos del estudio 19,1 Ton/ha. Infiriendo de los análisis que se realizaron para el cultivo de caña panelera *Saccharum Officinarum,* es notable la diferencia que existe entre el potencial que presenta la Guadua *guadua angustifolia* Kunth frente a la captura de carbono, posiblemente debido a factores externos que condicionan el proceso fotosintético para la fijación de carbono.

La Guadua *guadua angustifolia* Kunth es una planta que hace parte de los bambúes más productivos a nivel mundial, es considerada como una planta altamente fotosintética, catalogada como una C_4, que fija una importante cantidad de carbono por sus altas tasas de crecimiento en comparación con las especies forestales. Su crecimiento rápido permite mayor aprovechamiento de la actividad fotosintética, traducida en la cantidad de biomasa acumulada (aproximadamente 500 cm^3/diarios), de esta manera, es importante señalar el gran potencial de almacenamiento de CO^2 (Tischer, 2014). Cabe resaltar que, ésta al ser una planta que se autorregenera, con un adecuado manejo y con cosechas por el sistema de entresaca, estaría garantizando una captura permanente de CO_2, lo que no sucede con otras especies, las cuales al cosecharse tienden a reiniciar el proceso (Cruz, 2014).

Dentro de los sistemas agrícolas en mención, existen diferencias considerables en cuanto a la densidad del cultivo, para efectos del presente se asumió en todos los casos 1 ha de extensión. Dentro de la información secundaria obtenida con los cañicultores del municipio de Ancuya, vereda el Llano, las fincas seleccionadas manejan un sistema de siembra en chorrillo, distancia entre planta de 1m^2, cada mata de caña panelera puede presentar hasta 10 brotes, lo que significa que dentro de la extensión estipulada existen 100 000 plantas de caña *Saccharum Officinarum,* capturando carbono durante mas o menos 18 meses. Para el caso del maíz *Zea Mayz*, 71 445 plantas, y en la Guadua *guadua angustifolia* Kunth 6 000 culmos (plantas). Estas discrepancias en cuanto a la densidad del cultivo, intervienen en el aprovechamiento fotosintético, que finalmente define el potencial de carbono capturado por parte de la especie.

Un sistema agrícola desempeña una función importante frente a la captura de carbono, que se encuentra condicionada al tiempo de permanencia del cultivo, tal es el caso del tema objeto de estudio, donde la caña panelera *Saccharum Officinarum* garantiza mayor aprovechamiento fotosintético, traducido en un servicio ecosistémico determinante en términos ambientales, sociales y económicos.

De otra parte, a nivel internacional, se atribuye a la captura de carbono investigaciones realizadas en sistemas forestales, principalmente en México. Ejemplo de ello, el artículo publicado por Casanova-Lugo, Petit-Aldana, Solorio-Sánchez (2011), donde se infiere que los ecosistemas terrestres, como los bosques, almacenan mayor cantidad de carbono a nivel de vegetación, como en el suelo, cumpliendo un rol fundamental en el intercambio de CO_2. Haciendo referencia a un estudio realizado en Michoacán por Ordóñez (1999), se demuestra que el carbono almacenado en bosques de pino y roble llega a ser de 222.9 a 266.9 Gt/ha, en relación a tierras con fines agrícolas.

De igual manera, al relacionar la investigación con la captura de carbono en Pino *Pinus patula* (Benavides, Viviana. Montenegro, Katalina. León G, Javier, 2009), plantación de 15 años de edad, desarrollada en el Centro Ambiental Chimayoy-municipio de Pasto, se determinó que el pino posee un potencial de captura en biomasa aérea de 901,29 Ton en una extensión de 18 ha, por lo cual, se determina que captura 50,07 Ton/ha; en relación con la caña panelera *Saccharum Officinarum,* es notable observar que el pino al pertenecer al grupo de las C_3 se beneficia de manera más óptima del proceso fotosintético traducido en biomasa en forma de carbono.

Estas variaciones en cuanto a las proporciones de captura de carbono se relacionan con el ciclo del que cada uno hace parte, los sistemas forestales se mantienen por largos periodos de tiempo en relación con los cultivos, almacenan carbono en ramas, hojas, tallo y raíces en forma de biomasa aérea o terrestre, y debido a su frondosidad la biomasa es mucho mayor, en tanto existe mejor aprovechamiento fotosintético, con la cual se convierten en principales formas de almacenamiento de carbono. Además, las especies arbóreas presentan altas tasas de crecimiento y longevidad, fomentando prácticas sostenibles, enfatizando al ciclaje de nutrientes, contribuyendo a almacenar carbono a largo plazo y durante todo el periodo de producción y desarrollo de las plantas, condicionado también por los arreglos y densidad de los árboles (Ruiz, 2002).

Tras analizar directamente los resultados de la investigación, se pueden observar el comportamiento del carbono capturado en el cultivo de caña panelera *Saccharum officinarum* con respecto a la edad, así:

Rango de edad de 0 a 6 meses. Cuando el cultivo se encontraba en 4 meses de edad el carbono capturado fue de 7, 239 Ton/ha.

Rango de edad de 6 a 12 meses. Cuando el cultivo se encontraba en ocho (8) meses de edad el carbono capturado fue de 13, 389 Ton/ha.

Rango de edad de 12 a 18 meses. Cuando el cultivo se encontraba en catorce (14) meses de edad el carbono capturado fue de 28,260 Ton/ha.

En la Tabla 2 se puede observar en resumen el comportamiento del carbono capturado para cada edad.

Tabla 2. *Carbono capturado en el cultivo de caña panelera Saccharum Officinarum, según la edad*

0 – 6 meses	***6 – 12 meses***	***12 – 18 meses***
7,239 Ton/ha	13,389Ton/ha	28,260Ton/ha

Es importante tener en cuenta las variables climáticas, debido a que, en la captura o almacenamiento de carbono, variables como la temperatura, brillo solar, precipitación y humedad, permiten garantizar el proceso fotosintético que desarrollan las plantas, contribuyendo a la formación de biomasa que se traduce en carbono. Dentro del municipio de Ancuya no se cuenta con una estación meteorológica que pueda ser tomada como punto de referencia para el reporte, de ahí la importancia de establecer estaciones de monitoreo que permitan vigilar el comportamiento climáti-

co y establecer las acciones de manejo a realizarse en el cultivo, para que optimicen la producción, y que indirectamente garanticen la calidad de los servicios ecosistémicos.

En contexto, el cultivo de caña panelera *Saccharum officinarum* como sistema agrícola, su principal aprovechamiento es la producción de panela, sin estimar los servicios ecosistémicos que evidentemente presta, como se puede apreciar en los resultados obtenidos y con los que se puede afirmar que en el cultivo de caña panelera *Saccharum officinarum,* el comportamiento del carbono capturado se presenta de manera proporcional a la edad del mismo, pues a medida que el cultivo incrementa su edad, el carbono capturado por parte de este es mayor y viceversa. Sin embargo, CENICAÑA en uno de sus apartados expone que, la edad del cultivo es un factor determinante en la captura de carbono, pues la tasa fotosintética es alta en plantas jóvenes, y a partir de los 4 a 5 meses empieza a decrecer notoriamente, aunque la intercepción de la radiación solar puede ser casi completa, la tasa de producción de biomasa tiende a disminuir con la edad del cultivo, debido a la acumulación de sacarosa en las hojas, proceso que inhibe la tasa de fotosíntesis (Amaya et al., 2011), en relación con los resultados se podemos rechazar esta afirmación, pues se denota que a medida que la planta avanza en edad, debido a la formación de cadenas de sacarosa y, por ende, biomasa útil, el potencial de captura de carbono aumenta.

De igual manera, Osorio (2007) hace referencia que el proceso fotosintético en la caña panelera, con el cual se da la fijación del carbono, es mayor en edades menores y empieza a disminuir a medida que esta avanza en edad, pues a partir de los 12 meses gran parte de la energía obtenida en el proceso fotosintético es utilizada para la formación de sacarosa (Osorio, 2007). Sin embargo, cabe resaltar que la planta no rompe por completo su función como prestadora de un servicio ambiental, afirmación que evidentemente es contraria a los resultados.

La agricultura se ve influenciada por variables climáticas como la temperatura, el brillo solar y la precipitación. No obstante, estas variables también se ven condicionadas en gran medida por los requerimientos de crecimiento y desarrollo propios de un cultivo, tal es el caso de la caña panelera *Saccharum officinarum,* tema objeto de estudio de la investigación (Sierra, 2010). En este aspecto es lógico afirmar que, en la planta inciden de manera más óptima las variables climáticas en edades mayores cuando la planta esta pronta a la formación del producto que se obtiene de ella, e indirectamente, en cuanto a los servicios ambientales es cuando mayor potencial presenta, en relación con las diferentes etapas de su desarrollo.

En este aspecto, los factores ambientales que constituyen el ambiente en el cual se desarrolla una planta son: biótico y abiótico. En lo referente a la captura de carbono uno de los procesos más importantes que realiza la planta es la fotosíntesis, que se ve afectada por la luz, la temperatura, el CO_2, la disponibilidad de humedad, los nutrientes, el área foliar y su disposición en el tallo, la edad de la planta y las diferentes variedades; aspectos biológicos que permiten determinar la incidencia del clima en el carbono capturado (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica], Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2007). Por ende, determinar el papel que estas variables climáticas cumplen dentro del cultivo para su buen desempeño cobran relevancia, pues es necesario ver reflejado su comportamiento respecto al tiempo.

Un factor importante para el desarrollo de la caña panelera *Saccharum officinarum* es la temperatura, puesto que influye de manera directa, por lo general, ésta requiere altas temperaturas durante el período de crecimiento donde se presenta la mayor actividad fotosintética, sin embargo, ésta puede variar en las próximas décadas, dependiendo de las respuestas adaptativas a los niveles cambiantes de CO_2, que incluyen desde respuestas directas al propio CO_2 hasta respuestas indirectas debidas a la variabilidad climática en el futuro (Cogua, 2011).

La temperatura que la planta requiere depende del proceso que se está desarrollando en el momento, condicionado también por la edad del cultivo. Cabe resaltar que la mayor temperatura que puede obtener la planta se la mide en las hojas, pues en ellas se realiza el proceso fotosintético de manera directa al reflejarse la mayor cantidad de brillo solar. Esta energía es utilizada para la formación de cadenas de sacarosa, y la acumulación de biomasa, responsable de la captura de CO_2 (Amaya et al., 2011).

Otro aspecto climático determinante dentro de la planta es la precipitación, por lo general, el crecimiento de los cultivos no se ve limitado de manera importante por el brillo solar o por la temperatura del aire. Habitualmente cualquier especie vegetal puede desarrollarse sin ningún problema en cualquier época del año, solo si dispone de humedad suficiente para satisfacer sus necesidades hídricas (Olivares, 2009).

La disponibilidad de agua condiciona al cultivo, pues su déficit o exceso pueden tener efectos negativos en el desarrollo de la planta, lo cual se ve reflejado en la significativa disminución de la biomasa, aumentando su grado de sacarosa, frenando el crecimiento, debido a que la planta sufre un cierto grado de estrés por no brindarle las condiciones necesarias (Amaya et al., 2011).

Conclusiones

La variabilidad climática se constituye en un reto de gran importancia al que se ha enfrentado la agricultura, la cual cumple un papel importante dentro de la mitigación del mismo a través de cultivos como la caña panelera *Saccharum officinarum,* que se presenta como una especie prestadora del servicio ambiental de captura de carbono, contribuyendo a la reducción de concentración de CO_2 en la atmósfera, pues al evaluarla con otros sistemas agrícolas pertenecientes al grupo de las C_4 puede garantizar un potencial de captura a pequeña escala, teniendo en cuenta que los sistemas forestales son líderes en la prestación de este servicio.

La caracterización de las prácticas actuales de manejo toma relevancia dentro de la investigación, pues es considerada un factor determinante dentro del desarrollo del cultivo, teniendo en cuenta las exigencias de crecimiento del mismo y la variabilidad climática influyente. Es importante fomentar en el agricultor sistemas de vigilancia, control y seguimiento al cultivo haciendo relevancia en las prácticas y técnicas de manejo.

La caña panelera es un cultivo que representa aproximadamente el 60 % de la economía local en el municipio de Ancuya, razón que toma peso al persistir en sensibilizar al agricultor, explicándole que con su cultivo esta contribuyendo con la mitigación frente al cambio climático, aun cuando se cree que esta problemática es ajena. El proponer esta estrategia como viable frente al cambio climático puede resultar imprescindible, para ello, se debe conocer la dinámica del carbono, contando con la información básica (Ordóñez, 1999).

Referencias

Alcaldía Municipal de Ancuyá Nariño. (2008). Esquema de Ordenamiento Territorial EOT Ancuyá Nariño 2000-2008. Recuperdo de http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/eot_esquema%20de%20ordenamiento%20territorial_ancuya_%20nari%C3%B1o%202000%20-2008.pdf

Amaya, A., Cock, J., Hernández, A. y Irvine, J. (2011). *Biología.* Centro de investigación de la caña de azúcar de Colombia, Cali, Valle del Cauca.

Arboleda, P. (2010). *Evaluación del almacenamiento de Carbono en maíz (Zea Mayz) en tres sistemas de producción del municipio de Pasto departamento de Nariño.* Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia.

Benavides, V., Montenegro, K. y Leon, G. (2013). *Captura de carbono en la biomasa aérea en pino (Pinus patula) Municipio de Pasto, departamento de Nariño.* Universidad de Nariño. Pasto.

Casanova-Lugo, Petit-Aldana, J. y Solorio-Sánchez, J. (2011). Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el trópico mexicano. *Revista Chapingo sirie ciencia forestales y del ambiente, 17*(1), 133-143.

Cogua, J. (2011). *Curso virtual de fisiología vegetal.* Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, D. C.

Corporación Colombiana de Invetigación Agropecuaria (Corpoica)-Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2007). Guía tecnológica para el manejo integral del sistema productivo de caña panelera. Recuperado de https://conectarural.org/sitio/sites/default/files/documentos/Guia_panelera.pdf

Cruz, H. (2014). Biomasa y atrapamiento de carbono en Bambú Guadua. Recuperado de https://docplayer.es/16035718-Biomasa-y-atrapamiento-de-carbono-en-bambu-guadua.html

León, J. A., Folleco, D., Andrade, P. R. (2013). Cuantificación de carbono en plantación de Guadua *guadua angustifolia* Kunth Chachagüí, Nariño. Universidad Mariana. Chachagui.

Manrique, E. (2003). Los pigmentos fotosintéticos, algo más que la captación de luz para la fotosíntesis. *Ecosistemas,* 12(1), 1-11.

Olivares, B. (2009). Características de interés agrícola de la precipitación en la agricultura de secano. *INIA divulga, 14,* 25-27.

Ordóñez, J. (1999). *Captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán*. México: Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAP.

Osorio, G. (2007). *Manual Técnico Buenas prácticas agrícolas -BPA- y buenas prácticas de manufactura –BPM en la producción de caña y panela.* Rionegro, Colombia: Corpoica

Ruiz, A. (2002). *Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Matiguás, Nicaragua* (tesis de maestría). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza Programa de Enseñanza para el Desarrollo y la Conservación, Turrialba, Costa Rica.

Sierra, C. (2010). *Relación de la Captura de Carbono en Saccharum Officinarum con otros Factores Ambientales para el Cultivo de Caña Panelera* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. Recuperado de http://www.bdigital.unal.edu.co/2810/1/905016.2010.pdf

Tischer, H. (2013). *Sociedad Colombiana del Bambú*. Colombia: Guadua – publicaciones.

Gestión del territorio universitario: miradas y perspectivas para la educación ambiental

Alejandra María Rodríguez Guarín[154]
Salomón Rodríguez Guarín[155]
Sandra Faisuler Potosi Rodríguez[156]
Mabel Cristina Calvache Muñoz[157]

Resumen

La ponencia constituye una aproximación pedagógica interdisciplinar para el abordaje de la dimensión ambiental en el contexto universitario. Su propósito se centra en generar capacidades de apropiación, revitalización e innovación con base en un modelo metodológico cualitativo y herramientas de tipo etnográfico, en la búsqueda de resignificar la dimensión ambiental en el quehacer educativo. Sus resultados son materializados a partir de la apropiación y gestión de los recursos presentes en el territorio universitario, frente a las particularidades en las cuales coexisten los jóvenes en el contexto actual de Popayán (Cauca), a través de la articulación de los aprendizajes ambientales con el desarrollo de adaptaciones curriculares acordes con los programas académicos y, finalmente, el establecimiento de los lineamientos para la puesta en marcha del Proyecto Educativo Ambiental Universitario (PRAU) en la Corporación Universitaria Comfacauca, como un ejercicio participativo e incluyente. La investigación permitió el desarrollo de pedagogías activas en la búsqueda de una cultura ambiental innovadora, consolidando criterios de adaptación al cambio climático, sustentabilidad ambiental para su accionar dentro y fuera de la comunidad académica, y el establecimiento de criterios de responsabilidad social conducentes a la construcción de una visión y herramientas de gestión pertinentes con el territorio.

Palabras clave: currículo, educación ambiental, gestión ambiental, gestión del territorio, proyecto educativo ambiental universitario.

[154] Corporación Universitaria Comfacauca – Unicomfacauca, Tecnología en Gestión Gastronómica. Popayán, Colombia. Correo electrónico: investigarte@unicomfacauca.edu.co

[155] Corporación Universitaria Comfacauca – Unicomfacauca, Comunicación Social y Periodimos. Popayán, Colombia. Correo electrónico: decanaturahumanidades@unicomfacauca.edu.co

[156] Corporación Universitaria Comfacauca – Unicomfacauca, Tecnología en Gestión Gastronómica. Popayán, Colombia. Correo electrónico: dirgastronomia@unicomfacauca.edu.co

[157] Corporación Universitaria Comfacauca – Unicomfacauca, Tecnología en Gestión Gastronómica. Popayán, Colombia. Correo electrónico: mcalvache@unicomfacauca.edu.co

Management of the university territory: views and perspectives for environmental education

Abstract

The paper constitutes an interdisciplinary pedagogical approach for addressing the environmental dimension in the university context. Its purpose is focused to generating capacities of appropriation, revitalization and innovation based on a qualitative methodological model and tools of ethnographic

type, in the search to re-signify the environmental dimension. Their results materialize from the appropriation and management of the resources present in the university territory, against the particularities in which young people co-exist in the current context of Popayan (Cauca), through the articulation of learning environmental with the curricular adaptations development in accordance with the academic programs. Finally, the establishment of the guidelines for the implementation of the University Education and Environmental Project (UEEP), in Comfacauca University Corporation as a participatory and inclusive exercise. The research allowed the development of active pedagogies in the search for an innovative environmental culture, consolidating criteria for adaptation to climate change, environmental sustainability for its actions, inside and outside the academic community, and the establishment of social responsibility criteria conducive to the construction of a vision and management tools relevant to the territory.

Key words: curriculum, environmental education, environmental management, land management, university education and environmental project.

Gestão do território universitário: olhar e perspectivas para a educação ambiental

Resumo

O artigo constitui uma abordagem pedagógica interdisciplinar para tratar a dimensão ambiental no contexto universitário. Seu objetivo é gerar capacidades de apropriação, revitalização e inovação baseadas em um modelo metodológico qualitativo e ferramentas do tipo etnográfico, na busca de re-significar a dimensão ambiental. Seus resultados se materializam a partir da apropriação e gestão dos recursos presentes no território universitário, contra as particularidades em que os jovens coexistem no contexto atual de Popayan (Cauca), através da articulação da aprendizagem ambiental com o desenvolvimento de adaptações curriculares de acordo com os programas acadêmicos. Finalmente, o estabelecimento das diretrizes para a implementação do Projeto Universitário de Educação e Meio Ambiente, na Corporação Universitária de Comfacauca, como exercício participativo e inclusivo. A pesquisa permitiu o desenvolvimento de pedagogias ativas na busca por uma cultura ambiental inovadora, consolidando critérios de adaptação às mudanças climáticas, sustentabilidade ambiental de suas ações, dentro e fora da comunidade acadêmica, e o estabelecimento de critérios de responsabilidade social propícios à construção de uma visão e ferramentas de gestão relevantes para o território.

Palavras-chave: currículo, educação ambiental, gestão ambiental, gestão do território, projeto universitário de educação ambiental.

Introducción

El presente documento corresponde a la presentación de resultados de investigación en innovación educativa y responde a los fines de la alianza entre universidad–empresa-Estado, formulado por una Institución de Educación Superior - IES con domicilio principal en la ciudad de Popayán: la Corporación Universitaria Comfacauca (Grupos Investigarte-Comunicación para la Ciudadanía–Calidad y Pertinencia de la Educación Superior), una organización de carácter público con presencia en el territorio caucano: La Corporación Autónoma Regional del Cauca – CRC, y el apoyo técnico de Grupo de Investigación Estudios Urbanos y Regionales GEURB de la Universidad del Tolima, en el marco de la convocatoria de la Red de Formación de Talento Humano para la Innovación Social y Producción del departamento del Cauca–Innovación Cauca.

El principal objetivo de la investigación es generar capacidades en innovación y emprendimiento social, con base en un modelo metodológico cualitativo y herramientas etnográficas, con el fin de desarrollar acciones de intervención en virtud de brindar una resignificación a la dimensión ambiental en el quehacer educativo de la Corporación, al tiempo que, favorecer la apropiación y gestión de los recursos presentes en el territorio, articulando los resultados con propuestas de gestión de la innovación y el conocimiento. El proceso adelantado encontró su mayor relevancia en la consideración que, pese a las acciones y estrategias en materia ambiental adelantadas hasta el momento por la Corporación en la práctica pedagógica, la comunidad académica no ha logrado interiorizar una cultura ambiental de forma duradera y sustentable. En tal sentido, se hace necesario el desarrollo de ejercicios académicos e investigativos, que a partir de la innovación y el emprendimiento social aborden de forma participativa dicha dimensión, incluyendo el autorreconocimiento y la resignificación del espacio universitario como un territorio idóneo para la innovación pedagógica ambiental, procurando definir un marco de acciones susceptibles de influir en el desarrollo del currículo en los programas académicos de la Corporación, junto con los elementos que lo sustentan desde los ámbitos: social, político, económico, ambiental, entre otros. Finalmente, el resultado decanta en el diseño y puesta en marcha del Proyecto Educativo Ambiental Universitario (PRAU) en la Corporación. En este sentido, tomando como referencia dos programas académicos de la Corporación Universitaria Comfacauca (Comunicación Social y Periodismo, y Tecnología en Gestión Gastronómica), se buscó sentar las bases para la formación del talento humano en temas de innovación pedagógica ambiental y gestión del territorio, conducentes a la resignificación de prácticas y saberes.

En cuanto al diseño metodológico, el proyecto se fundamenta en el reconocimiento de la dimensión ambiental y la gestión de territorio como ejes articuladores de constructos sociales, por lo que constituye en sí misma una acción provista de herramientas simbólicas y materiales inmersas en las dinámicas de enculturación temprana, en procura de garantizar la permanencia de valores e identidades, siendo un ejercicio susceptible de proporcionar sostenibilidad del patrimonio biocultural de una región. Igualmente, en la comprensión del ordenamiento, manejo y gestión socio-cultural y educativa confluyen diferentes disciplinas y perspectivas de región, evidenciando la relación entre territorio-cultura-ambiente y los procesos sociales propios, donde las prácticas ambientales son elementos dinamizadores de las interacciones sociales que configuran un determinado territorio. En tal sentido, la investigación, al ser abordada desde una postura multidisciplinaria e intercultural, podrá conducir tanto al desarrollo de iniciativas pedagógicas, adecuaciones curriculares, junto con la creación de estrategias participativas de emprendimiento social, que en su conjunto orientan la construcción de un Proyecto Educativo Ambiental Universitario - PRAU en la Corporación Universitaria Comfacauca.

En este contexto urge a las universidades asumir unas prácticas éticas, no solo entre sociedades humanas sino con toda la naturaleza, algo que Leff (2006) propone como ética ambiental sudamericana y más recientemente como racionalidad ambiental y ética biocultural, que en síntesis apunta a una "propuesta fundada en una ética de la otredad (Levinas) y en una política de la diferencia (Derrida)" (p. 378). Lo anterior con el ánimo de aportar a la consolidación de una ética que considere las diversas formas de existir y su dignidad, así como incorporar esta ética en las políticas y enfoques de desarrollo y en la cultura de la sociedad global, en este caso partiendo de la reflexión desde el territorio universitario y la urgencia de agenciar lugares de sentido, que se conecten con situaciones ambientales locales, regionales y globales (Leff, 2016, p. 379).

Desde esta perspectiva, la articulación de estos componentes en un ambiente universitario contribuye a fomentar una cultura de cambio, al tiempo que convoca a la construcción intercultural del territorio, y por esta vía, a los lineamientos parar la construcción de la propuesta de Proyecto Ambiental Universitario (PRAU). Su proceso no está en la reducción de lo ambiental a los escenarios verdes, a sembrar plantas, o a la separación de residuos sólidos (aunque puede estar dentro de las priorizaciones de problemas, según diagnóstico e interpretación), el énfasis se concentra en la caracterización de las dinámicas socio-ambientales a partir de las vivencias de los diversos actores universitarios y en la posibilidad, desde ellos, de asumir retos respecto a situaciones problema que afectan el entorno.

Como Institución de Educación Superior, la Corporación es un actor del Sistema de Responsabilidad Social, que se favorece de alianzas con instituciones como la CRC, por lo tanto, tiene un mandato misional en ésta materia, cuyas políticas están en construcción, en virtud que los resultados de ésta investigación impacten en la consolidación de criterios de adaptación al cambio climático, la sustentabilidad ambiental para su accionar y el desarrollo de emprendimientos de base social dentro y fuera de la comunidad académica.

Ruta teórica y referente conceptual

Frente a los cuestionamientos de orden regional, nacional e internacional sobre el desarrollo sustentable, que permiten la generación de una propuesta de esta naturaleza, se encuentra el componente ambiental como un eje articulador para la subsistencia de la vida en el planeta. Desde este

contexto, el proyecto encuentra correspondencia con diferentes apuestas y metas trazadas en el orden global-local, teniendo en cuenta la relevancia del mismo para la conservación de los territorios de influencia de la CRC y los programas académicos de Unicomfacauca. Dichos aspectos se resumen en los aspectos que se enuncian a continuación.

En el ámbito global, se encuentra en correspondencia con tres de los 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS), en virtud de sus metas y programas, los cuales, en suma, pretenden generar una cultura ambiental y una responsabilidad social en todos los miembros de la diversidad de comunidades que coexisten en un mismo territorio. Desde este punto de vista, sus acciones se direccionan a favorecer la meta de ciudades y comunidades sostenibles, es decir, que los territorios sean lugares inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles, tomando en cuenta que, como lo expresa la ONU: "más de la mitad de la población mundial vive hoy en zonas urbanas, y, en 2050, esa cifra habrá aumentado a 6.500 millones de personas, dos tercios de la humanidad" (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2015,).

Sobre este escenario, la factibilidad de lograr un desarrollo sustentable estará asociada a la capacidad de transformar radicalmente la forma de construir y administrar los espacios urbanos, donde eludiblemente el académico tiene un papel fundamental; pues es, a partir del ejercicio de sus funciones misionales de docencia, investigación y proyección social que se requieren redoblar esfuerzos para proteger y salvaguardar el patrimonio cultural y natural del mundo; meta que para 2030, se encamina a reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo; para esa misma fecha, se busca proporcionar acceso universal a zonas verdes y espacios públicos seguros, inclusivos y accesibles; como el apoyar los vínculos económicos, sociales y ambientales positivos entre las zonas urbanas, periurbanas y rurales, mediante el fortalecimiento de la planificación del desarrollo nacional y regional (PNUD, 2015), en donde la educación ambiental juega un papel trascendente.

Articulado a lo expuesto, en cuanto a la agenda nacional de desarrollo, el Cauca se prepara para una modificación considerable de su institucionalidad a partir de los acuerdos derivados del proceso de paz aprobados. En ese sentido, el gobierno nacional, a través del Departamento Nacional de Planeación – DNP-, ha manifestado la incorporación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible - OSD, en su agenda posacuerdo de paz, mediante la fijación de una hoja de ruta para todas las entidades del Estado colombiano (DNP, 2016).

A nivel territorial, tanto el Plan Departamental de Desarrollo como el municipal, para la vigencia 2016-2019, establecen capítulos para evidenciar la dimensión ambiental dentro de cada uno de ellos. Así, el plan de desarrollo departamental *Cauca: Territorio de Paz*, incluye dentro de sus desarrollos, apartados como cambio climático, producción agropecuaria y agroindustrial, agua como bien público, los objetivos de desarrollo sostenible - ODS y el Plan Nacional de Desarrollo –PND, cierre de brechas sociales, económicas, territoriales y ambientales. Por su parte, el Plan Municipal de Desarrollo: *Popayán Vive el Cambio* (2016), establece como un objetivo superior "promover un modelo de ciudad sostenible, emprendedora, competitiva y segura, abierta y propositiva a la innovación y a las nuevas tecnologías, en la que sus habitantes se preparan para responder a los retos que implica el liderazgo académico, político, cultural y económico en la región y el país" (Alcaldía de Popayán, s.f.).

En este orden de ideas, la propuesta se articula con las apuestas prioritarias, con la gestión ambiental y el conocimiento de saberes ambientales, sumado al rescate del dialogo de saberes para la integración y recuperación de los conceptos que soportan y permiten la conservación, resignificación y transferencia en relevo generacional de conocimientos técnicos, científicos y empresariales necesarios para la identidad y gestión territorial. Igualmente, se encuentra en consonancia con la estrategia 6 del Plan Conciencia Cauca (2014), denominado: *educación ambiental,* tomando en cuenta que dentro de sus objetivos se pretenden implementar y fortalecer procesos que aborden la dimensión ambiental mediante la elaboración de una estrategia de comunicación para el conocimiento ambiental en el ámbito universitario, como la recuperación de prácticas que contribuyan a la gestión y conservación de los recursos naturales. Lo anterior, a partir de un ejercicio de innovación educativa con enfoque multicultural y participativo.

De acuerdo con Sanz (2003), la responsabilidad social se refiere a la capacidad y obligación de las comunidades de responder por las diversas acciones u omisiones ejercidas durante un determinado periodo de tiempo, tanto a nivel individual como colectivo; de tal manera que su acción esté medida por los recursos económicos, políticos o sociales del grupo humano. Concepto que contrasta con lo expresado por Berman (citado por Rivera y Lissi, 2004), quien considera que la responsabilidad social ciudadana se define como: "la inversión personal en el bienestar de otros y del planeta", manifestándose principalmente en "la forma como vivimos con los otros y tratamos a los otros", adicionando además que: "la responsabilidad social ayuda a los seres humanos a comprender que sus vidas están íntimamente conectadas con el bienestar de otros, con el mundo social y político que está alrededor de ellos".

Desde este punto de vista, Berman (1997), retomado por por Rivera y Lissi (2004), sostiene que esta relación contempla además tres dimensiones básicas, a saber: la comprensión de los seres humanos con su vinculación a partir de una inmensa red de relaciones surgidas al interior de una comunidad local y global; el tipo de relaciones que se conforman con base en consideraciones éticas, morales, de justicia y preocupación por el otro semejante; y finalmente, la que le permite a las personas actuar con integridad, en correspondencia con su formación en valores, la cual viene intrínseca desde la niñez y se va perfeccionando a través de las interacciones con los demás.

Prácticas actuales en la dimensión ambiental y gestión del territorio en el marco de los proyectos educativos de Unicomfacauca

Las Instituciones de Educación Superior, permeadas hasta sus cimientos por el fenómeno globalizador, se enfrentan día a día a retos de gran trascendencia frente a los cuales la educación y, en particular la educación ambiental alcanza su máxima importancia, puesto que la formación de profesionales altamente capacitados, es una misión fundamental para encauzar las transformaciones socioculturales ineludibles que nos depara el futuro inmediato. En tal sentido, una labor en constante renovación que debe asumir la universidad, es enlazar los distintos roles profesionales no solo con el contexto y necesidades actuales sino, en especial, con los que surgirán en el futuro, puesto que su misión más elevada es brindarle a sus estudiantes y egresados la posibilidad de alcanzar un desarrollo personal integral, de modo concordante al de su perfil profesional.

Desde esta perspectiva, el re-conocimiento de la cultura y el ambiente como ejes articuladores de un constructo social, se constituye en sí misma, en una acción provista de herramientas simbólicas y materiales inmersas en las dinámicas sociales, que en la práctica, pretende garantizar la permanencia de valores, identidad y tradición, siendo un ejercicio susceptible de proporcionar sostenibilidad al patrimonio de una determinada región. Para dar cumplimiento a las directrices teóricas, multidisciplinarias y políticas educativas ambientales propuestas, la investigación desarrolló una serie de prácticas, desarrolladas en tres fases en las cuales se generaron grupos focales de profesores, funcionarios de la CRC, administrativos y estudiantes de la Corporación Universitaria Comfacauca, al tiempo que se implementaron otros instrumentos de tipo cuantitativo. A continuación, se presentan los resultados de mayor relevancia.

Fase de diagnóstico. En esta fase de desarrollaron diversos talleres para cada grupo focal, con los siguientes objetivos: identificar dentro de la experiencia de los participantes en cuales actividades que aborden la dimensión ambiental y/o territorial han participado; y, aproximarse a sus percepciones sobre el ambiente universitario, desde el rol que desempeñan en la Corporación Universitaria.

En la primera parte, el ejercicio de memoria fue realmente corto, ya que las personas participantes en el taller no refieren dentro de sus recuerdos actividades que tengan que ver con el ambiente o el territorio universitario. En la segunda parte de las actividades, es muy interesante ver la manera en qué se relacionan: se hace un ejercicio de trabajo cooperativo en donde se manifiesta su interés y agrado por ese tipo de actividades. Además, reconocen la importancia de compartir con sus compañeros de trabajo y de estudio en otros espacios que les permitan conocer otras características de su humanidad. Uno de los principales resultados, tiene que ver con la relación directa entre el campus universitario y la falta

de espacios de esparcimiento. Sumado a esto, la interacción continua con el cemento de las instalaciones, despierta las sensibilidades hacia el aire fresco, hacia el interés por interactuar con plantas, y con otros organismos.

Aunque desde los ejercicios de memoria no se identifican proyectos o actividades que aborden la dimensión ambiental en la Corporación, para los participantes del taller es claro que el ambiente no se reduce a "espacios verdes" o actividades como "reciclar". Contemplan como parte de la dimensión ambiental la formación humana y el relacionamiento con los otros. Ante el cuestionamiento: ¿Cuál es el lugar que más disfruta de la Corporación? En el caso de los estudiantes se encuentra la cafetería y la terraza, por la posibilidad de compartir en el primer caso, y de ver hacía el horizonte en el segundo. En el caso de los profesores, les gusta la sala de profesores y la cafetería. La reflexión que se genera en esta actividad es sobre la importancia de espacios de encuentro y diálogo, como parte de un ambiente universitario esperado.

Fase de intervención y desarrollo. En esta fase, se implementó un proceso de formación a través de talleres relacionados con la dimensión ambiental y territorial, con el propósito de explorar los sentires y proyecciones del grupo focal, y de esta forma, diseñar estrategias pedagógicas que permitan articular dichas dimensiones con las propuestas curriculares de los dos programas. Dicho ejercicio fue realizado haciendo un cruce entre la propuesta metodológica del artista Undertwasser, "las cinco pieles del territorio", que apunta a una exploración desde los espacios íntimos (el ser desde la infancia) hacia los espacios de relacionamiento más amplio (familia, barrio, universidad, mundo) y por esta vía, la de-construcción y construcción crítica de las interacciones en el entorno, apostando a vivencias que inviten a entretejer sentidos territoriales en el espacio universitario y la propuesta de Bozzano (2000), en donde para la construcción de territorio, se permite la exploración de las vivencias y sentires en tres escalas: el territorio real (diagnóstico), el territorio pensado (interpretación) y el territorio posible (recomendación de rutas de acción).

Esta relación entre ambiente y territorio universitario, articuló la comprensión sobre las discusiones contemporáneas alrededor de estos conceptos, los cuales se caracterizan por estar planteados desde una visión sistémica. Para el caso del ambiente, se encuentran dos enfoques principalmente: por un lado, el que se interesa por caracterizar el tipo de relaciones que establecen sus componentes (aquí se presentan dos tendencias) y por el otro, los que parten para su explicación de la proposición de tipologías, creadas a partir de las representaciones sociales que sobre este se tienen.

Los ejercicios efectuados en esta fase, arrojaron lo siguiente:

Ante la pregunta: En su experiencia universitaria, específicamente en el desarrollo de su propuesta curricular han abordado contenidos relacionados con la dimensión ambiental y/o territorial. ¿Cómo ha sido el abordaje metodológico? ¿Qué expectativas a nivel personal, profesional y comunitario, le han generado ese tipo de contenidos? Nuevamente se coincide, totalmente, en que los estudiantes no referencian con claridad algún proyecto o actividad que dentro de sus propuestas curriculares aborden esta área. Sin embargo, los estudiantes que participan de monitorias de investigación tienen como referente de memoria un proyecto de investigación realizado en instituciones educativas de Popayán, en donde han abordado el tema de seguridad alimentaria y huertas escolares. También se recuerda una actividad de primeros semestres, en la cual los estudiantes de la tecnología en gestión gastronómica participaron en la preparación de alimentos para niños(as) de una institución escolar en el barrio Bolívar.

Ese grupo, particularmente, encuentra en el alimento otra ocasión para re-existir, si partimos de que somos lo que comemos, justamente la reflexión frente a la diversidad gastronómica como expresión de la diversidad cultural de nuestro país y específicamente del Cauca, es una vía para reinventarse las realidades de ellos y de las comunidades a las que pertenecen. El semillero de estudiantes investigadores de este programa ha ido fortaleciendo competencias para el trabajo relacional e integrador de debates alrededor de la importancia de la semilla nativa, de la memoria -conocimientos- expresada en las recetas, en las formas de preparación y consumo de los alimentos. Además de la potencia que tienen los proyectos de investigación en los que participan para su formación profesional, el grupo tiene clara la relación con procesos sociales (educativos y con colectivos sociales) y esto les fortalece en el desarrollo de sus competencias ciudadanas y el aporte a la construcción de país. Así mismo, ven la relación con el manejo de los residuos orgánicos generados en los talleres de cocina, proyectan la necesidad de contar con un espacio de producción de compost y de una huerta. Algunos manifiestan también su proyección como profesionales, con restaurantes biosostenibles, tomando como referente la posibilidad de sembrar en las parcelas de sus padres y de allí abastecer el restaurante.

Estas dos actividades son para los estudiantes espacios de proyección social de sus carreras, en donde sienten que están aportando a la construcción de una sociedad más cercana a sus sueños. Ante las preguntas: ¿Considera que la dimensión ambiental tiene relación con el desarrollo de su profesión?, ¿cómo se podría articular con la propuesta curricular? Los estudiantes manifiestan que no son tan claras las relaciones entre la dimensión ambiental y el desarrollo de sus carreras, justamente porque no necesariamente se hace esa reflexión dentro de sus propuestas curriculares.

En los estudiantes de Comunicación Social y Periodismo no son tan claras, por ahora, esas relaciones. Manifiestan que tienen un papel importante por la posibilidad de crear formas y estilos comunicativos que impacten diversos sectores de la población del departamento y del país. En medio de las condiciones coyunturales de Colombia se sienten avocados a relacionar sus procesos formativos con los procesos sociales. Cubrimiento por ejemplo de los conflictos ambientales en el Cauca y cómo desde allí se logran generar reflexiones y acciones que puedan aportar a la transformación de realidades.

No obstante, los dos grupos coinciden en la pertinencia del abordaje de la dimensión ambiental y territorial en sus proyectos curriculares, y sugieren que, sea un proceso transversal durante la duración del programa. Que se logre articular a sus prácticas profesionales y trabajos de grado, para no duplicar esfuerzos y garantizar la participación en los procesos. Igualmente llaman la atención respecto a la importancia de articular los procesos investigativos con sus espacios académicos, pues en ocasiones se abstienen de participar en los proyectos de investigación, por la no disponibilidad de tiempo.

Al conversar sobre la propuesta metodológica y los sentidos de los talleres, resaltan el hecho de que son necesarios procesos que fortalezcan la identidad de los diferentes actores educativos en relación con la Universidad. Para ellos, la Universidad es su oportunidad de construir un proyecto de vida, individual y familiar. Es un espacio lleno de sentidos y emociones para compartir. Y desde ese sentir poder aportar en la transformación de situaciones que no son de su agrado.

Fase de retroalimentación y revitalización de saberes. En el marco del proyecto, con el fin de estructurara los lineamientos del PRAU se estructuró una estrategia pedagógica, denominada: Diplomado en *Educación Ambiental, Gestión del Territorio y Emprendimiento Social*.

Este diplomado permitió articular el abordaje de la dimensión ambiental y territorial en la Corporación Universitaria, teniendo en cuenta que según lo encontrado en la revisión documental realizada tanto a nivel interno como externo se hace necesario unificar esfuerzos para generar estrategias que permitan la adaptación de los estudiantes a los cambios vertiginosos producto del deterioro ambiental. El desarrollo del proceso de formación, permitió explorar los sentires y proyecciones de los participantes y relacionarlos con reflexiones que tienen que ver con la comprensión de lo ambiental, como propiedad emergente de la interacción entre el sistema natural (El cual comprende los factores físicos, químicos y biológicos[i]) y el social, partiendo de la cultura como el elemento mediador de dicha interacción (Bermúdez, 2005). En este entender, se buscó, además, que los sentidos de lo ambiental recreados, permitieran configurar a Unicomfacauca como un territorio dotado de significados y en esa medida, apropiado por parte de los diferentes actores que lo habitan. En tal sentido, se apuesta a miradas sistémicas y complejas, que involucren diversos elementos del sistema natural y social en perspectiva intercultural.

Construcción de las adecuaciones curriculares que reflejen la dimensión ambiental y la gestión del territorio en los programas académicos

A partir de perspectiva educativa ambiental, el ambiente es asumido de forma participativa como una "idea compleja", "sistema o tejido de inte-

rrelaciones", del cual hacen parte diferentes componentes o sub-sistemas que están relacionados entre sí (Berleant, 1992; Pardo, 1995; Talero, 1995; Torres, 2002; Castillo & Otálora, 2004; Molano & Rodríguez, 2005; Bermúdez, 2005) y ninguno es más o menos importante. En este sentido, el desarrollo de las actividades previamente desarrolladas permite generar un tipo de relaciones, que facilitan asumir el ambiente como el depósito donde se encuentra y viabiliza lo vivo, en términos de circunstancias que permitan dicha condición. La segunda tendencia dentro de este enfoque, se encuentra inmersa en planteamientos donde se amplía la gama de interés y relación tomando en cuenta aspectos que atañen a la actividad social propia de lo humano, considerándose de ésta manera como el espacio "en donde la gente se ocupa de todas sus actividades y respuestas que componen la urdimbre de la vida humana, en sus numerosos patrones históricos y sociales" (Berleant, 1992, p. 13).

Precisamente ese devenir histórico, permite construir sus propias realidades y sobre estas se teje un "entramado cultural particular" (Torres, 2002, p. 17; Giordan & Souchon, 1995). Lo que, para Maya (2008, p. 22) correspondería a "una plataforma instrumental compleja y creciente, la cual ha permitido la adaptación humana al sistema natural". Esta perspectiva aporta a la construcción de un referente pedagógico que puede lograr articulaciones con la perspectiva territorial, en tanto que ambiente y territorio, pueden ser asumidos como un sistema complejo en donde interactúa el subsistema natural y social universitario. Más aún, esta correspondencia únicamente es válida, en la medida en que se entienda el ambiente como una compleja red de relaciones producto de la interacción simultánea entre los sistemas naturales y sociales mediados por la cultura y que se caracteriza por la convergencia simultánea de factores ecológicos, biológicos y sociales, entre otros, cuyas interrelaciones y mutua dependencia conforman la estructura de un sistema que funciona como un todo (Bermúdez, 2005).

Otra área importante en la que la presente propuesta llevó a buen término en sus actividades, y en la que aportará su desarrollo en el contexto regional, es la innovación educativa y el emprendimiento social. La innovación en concepto, tiene que ver con el cambio, con la posibilidad del ser humano de generar algún tipo de modificación y de mejorar algún tipo de proceso, de situación o de servicio; para Salinas (2004):

> (…) Podemos considerar la innovación como una forma creativa de selección, organización y utilización de los recursos humanos y materiales; forma ésta, nueva y propia, que dé como resultado el logro de objetivos previamente marcados. Estamos hablando, pues, de cambios que producen mejora, cambios que responden a un proceso planeado, deliberativo, sistematizado e intencional, no de simples novedades, de cambios momentáneos ni de propuestas visionarias (p. 4).

Echeverría (2008), citado por Estrada (2014) sobre el tema particular de innovación social, propone que esta dimensión hace referencia a valores sociales, como el bienestar, la calidad de vida, la inclusión social, la solidaridad, la participación ciudadana, la calidad medioambiental, la atención sanitaria, la eficiencia de los servicios públicos o el nivel educativo de una sociedad. Así mismo, recalca que una innovación social es "relevante en la medida en que se oriente a valores sociales, no solo a la productividad, a la competitividad empresarial, los costes de producción o las tasas de mercado" (Estrada, 2014, p. 16).

El proyecto se sustenta pues desde la innovación social, innovación educativa y el emprendimiento de tipo social, en relación con la continua búsqueda por parte del ser humano en sus diferentes estructuras de adecuaciones y/o modificaciones en los procesos inmersos en dinámicas de tipo social, cultural, político, económico y organizacional para todos los miembros de la sociedad sin distingo alguno. En el mismo escenario, se encuentra la innovación educativa, que en términos de Salinas (2004), se resume en:

> Un proceso con múltiples facetas, en él intervienen factores políticos, económicos, ideológicos, culturales y psicológicos, y afecta a diferentes planos contextuales, desde el nivel del aula hasta el del grupo de universidades. El éxito o fracaso de las innovaciones educativas depende, en gran parte, de la forma en la que los diferentes actores educativos interpretan, redefinen, filtran y dan forma a los cambios propuestos. Las innovaciones en educación tienen ante sí como principal reto los procesos de adopción por parte de las personas, los grupos y las instituciones (las cosas materiales y la información son, desde luego, más fáciles de manejar y de introducir que los cambios en actitudes, prácticas y valores humanos). (p. 6).

Es así, que si partimos de la concepción de dar un nuevo sentido a la dimensión ambiental en la formación educativa se deberá aportar por integrar dentro de los lineamientos curriculares cursos/asignaturas, sumado a dinámicas de enseñanza-aprendizaje, que promuevan en los estudiantes habilidades y competencias para la apropiación de capacidades blandas, entre las que se destacan el emprender, liderar, organizar y establecer ideas que sean pertinentes para el contexto, partiendo de las fortalezas, gustos y aspiraciones propias.

Todo ello, a partir de bases adecuadas en emprendimiento que, desde una dimensión social permitan cocrear valor, es decir, su misión u objetivo debe ser el beneficio colectivo, a partir de soluciones que aporten o resuelvan necesidades que afectan a un grupo de personas, a un colectivo o a una comunidad en específico, convirtiéndose así, en un reto no sólo individual sino también social. Lo anterior, en consonancia con la misión, visión y objetivos de la Corporación y la organización alidada[158].

Con tales propósitos, se partirá de retos sencillos y cotidianos, como la reflexión de las problemáticas ambientales, la contaminación en sus diferentes expresiones, gestión del agua, contaminación del aire, auditiva, entro otros, y del impacto en el ambiente y en la salud, así como la afectación del territorio como espacio vital, construido por cargas simbólicas y culturales, en virtud de analizar cómo preservar los recursos, las identidades y otorgar significancias de orden político.

Lineamientos para el planteamiento del Proyecto Educativo Ambiental Universitario – PRAU en la Corporación

[158] Misión: ser una Corporación de educación superior, co-creadora de valor para el mejoramiento de la productividad y competitividad en los diferentes contextos regionales, nacionales e internacionales, mediante la excelencia académica de sus estudiantes y egresados, quienes se caracterizarán por su alto sentido de adaptabilidad en las organizaciones. (Unicomfacauca, 2014, p. 17).

El documento propuesto: *Lineamientos Generales para la Construcción del Proyecto Ambiental Universitario de La Corporación Universitaria Comfacauca*, se constituye en una ruta pedagógica dirigida a la comunidad educativa de la Corporación Universitaria Comfacauca y comunidad académica, con el propósito de brindar información conceptual y algunos lineamientos metodológicos para la construcción, articulación y desarrollo de la dimensión ambiental y territorial dentro del Proyecto Educativo Institucional. Atendiendo a los requerimientos de la Política en Educación Ambiental del país y a los factores misionales de la Universidad.

La construcción del PRAU es otra de las vías de acción que concretan la misión de la Corporación Universitaria Comfacauca, en tanto la posibilidad de contribuir a la formación de personas íntegras, altamente competitivas, creativas e innovadoras, que impulsan la tecnología y la productividad con identidad institucional y responsabilidad social, toda vez, que permite el trabajo colectivo y reflexivo de la comunidad universitaria en pro del fortalecimiento de relaciones vitales, que aporten a una cultura de paz desde el reconocimiento de la importancia de las relaciones cultura-naturaleza, ambiente-territorio universitario, identidad-cultura, cultura y vida.

La apuesta fundamental de del PRAU es garantizar una ruta pedagógica que permita la construcción de un Proyecto Educativo Ambiental Universitario, que parta de las expectativas y comprensiones de los diversos actores. Que involucre sus intereses y en esa medida sea apropiado, asumido con identidad y desarrollado desde las posibilidades reales y contextuales de la Universidad.

La propuesta comprende 3 aspectos claves: el primero desarrolla el marco legal constitucional que ampara, orienta y reglamenta el abordaje de la dimensión ambiental en las instituciones de educación superior; el segundo, posiciona el referente conceptual que orienta el enfoque del PRAU; y el tercero, desarrolla la propuesta metodológica y los retos que implica la construcción del PRAU.

Referentes legales del PRAU

Desde la constituyente de 1991, en Colombia se declara como derecho gozar de un ambiente sano y la participación en la toma de decisiones que puedan afectarlo. Como desarrollo de este derecho se desarrolla la Ley 99 de 1993, en la cual se establecen los fundamentos de la Política Ambiental Colombiana, dando un marco general de análisis y acción ambiental para el país.

Particularmente, el Proyecto Ambiental Universitario (PRAU) se reglamenta en el Decreto 1743 del 3 de agosto de 1994, en donde se da las directrices generales para el desarrollo de la educación ambiental en escenarios educativos formales e informales y se establecen los mecanismos de coordinación entre el Ministerio de Educación Nacional y el Ministerio del Medio Ambiente, para el acompañamiento y desarrollo de esta dimensión formativa en las Instituciones de Educación Superior.

Siendo uno de los propósitos fundamentales la vinculación de la dimensión ambiental en los procesos de desarrollo territorial (Ley 1549 de 2012). Específicamente, en el ámbito educativo apunta a que se dé la articulación de dicha dimensión con las dinámicas curriculares de los establecimientos educativos de manera transversal, interdisciplinar y en diálogo intercultural, propendiendo entre otras cosas por la difusión de valores de respeto a todas las formas de vida, contribuir a la convivencia y participación ciudadanas para lograr una gestión racional de los recursos con previsión hacia el futuro. Partiendo del desarrollo de competencias básicas y ciudadanas, para la toma de decisiones éticas y responsables, frente al manejo sostenible del ambiente, articulando los procesos locales, con la región y el mundo.

Referentes conceptuales del PRAU

Se plantea el territorio, como 'espacio cultural, soporte material para las actividades productivas'. Parte de la premisa de que todas las culturas mediante sus instituciones, han establecido interacciones con el contexto ecosistémico del que han emergido o el que han ocupado, estableciendo relaciones de orden simbólico y material, que permiten su supervivencia (Cárdenas, 2002, Giménez, 2001). En la misma idea, Amodio (1999), denomina al territorio, como "espacio culturizado", especificando que el tipo de relación presente entre lo simbólico y material, radica en que el territorio surge únicamente cuando a partir de la intervención material, este coincida con las "imágenes creadas sobre él" a partir de la cultura.

De ahí, que dicho posicionamiento frente a lo que es el Territorio Universitario, pueda ser asumido como sinónimo de ambiente, en la medida que es un sistema que abarca aspectos del subsistema natural y social. Más aún, esta correspondencia únicamente es válida, en la medida en que se entienda el ambiente como "la compleja red de relaciones producto de la interacción simultánea entre los sistemas naturales y sociales mediados por la cultura" y que se caracteriza por "la convergencia simultánea de factores ecológicos, biológicos y sociales, entre otros, cuyas interrelaciones y mutua dependencia conforman la estructura de un sistema que funciona como un todo" (Bermúdez, 2005).

En síntesis, nos referimos a Territorio Universitario al espacio apropiado y significado desde las experiencias de vida de los actores que conforman la Universidad, donde confluyen las diversas dimensiones de construcción de los sujetos y sus identidades, involucrando "un conjunto de características psicosociales que están determinados por los elementos estructurales, personales y funcionales de la institución sobre los que la comunidad educativa puede interiorizar haciéndolo parte de su sistema cultural y posibilitando establecer relaciones de poder" (Rodríguez y Ortíz, 2014, p. 22).

Propuesta metodológica y los retos que implica la construcción del PRAU

Para la construcción del PRAU de la Unicomfacauca, se propone el desarrollo del *Diplomado en Educación Ambiental, Gestión del Territorio y Emprendimiento Social.* El cual está dirigido a la comunidad universitaria, con el fin de que la construcción sea participativa y colaborativa. Garantizando recoger los sentires de los actores que conforman la Universidad, en perspectiva de incentivar y fortalecer la construcción de un territorio universitario que apunte al desarrollo de los objetivos de la educación ambiental en Colombia y de los propios que se definan en el proceso.

Lo anterior, desde una mirada interdisciplinaria y relacional, que convoque al diálogo y construcción intercultural del territorio Universitario y, por esta vía, al enriquecimiento de la propuesta de Proyecto Ambiental Universitario (PRAU). El diplomado se desarrollará en cinco módulos (100 horas en total), de las cuales 53 son presenciales, con intervención permanente de los coordinadores del diplomado que incluye acompañamiento y asesoría, y 47 horas de trabajo autónomo, a saber:

- **Trabajo presencial**: Se trabajará con presentaciones, conversatorios, plenarias, desarrollo de talleres y elaboración de una acción de emprendimiento.

- **Trabajo independiente**: Preparación de material de trabajo para las sesiones (lecturas, resúmenes, compromisos y acción de emprendimiento).

Los ejes temáticos propuestos dentro del Diplomado, atienden a cada una de las cinco pieles abordadas desde las tres escalas territoriales propuestas por Bozzano (2000). La comunidad universitaria participante del Diplomado, podrá navegar por la experiencia e identificar sentires y conocimientos relacionados con la vida universitaria y proyectar acciones de transformación del ambiente, vinculadas a los análisis desarrollados en cada sesión. Junto con lo anterior, es importante vincular la reflexión curricular en vía de concretar la articulación de la propuesta que se construya del PRAU, con el desarrollo de los programas académicos ofertados por la Unicomfacauca. Esto implica un ejercicio de transversalización curricular, de identificación de contenidos y rutas pedagógicas y metodológicas que tiendan a la construcción de territorio universitario, a la interacción entre programas, a la exploración y construcción de sentidos en los diversos escenarios que conforman la Universidad desde el desarrollo de los programas ofertados (ver Figura 1).

Momentos de la Ruta

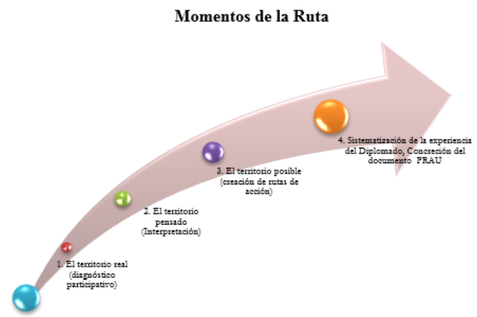


Figura 1. Ruta metodológica para la construcción del PRAU, Unicomfacauca (2018).

Como ruta de trabajo para abordar parte de los retos que se lograron identificar durante el proceso adelantado con la comunidad universitaria de Unicomfacauca, se propone retomar la propuesta "Economía Azul" de Gunter Pauli (2011), en donde abordar, desde el ámbito educativo, la dimensión ambiental, toma sentido en la medida que permita construir de manera colectiva acciones que transformen los contextos locales, es decir, partiendo del reconocimiento de las situaciones particulares, incluyendo los conocimientos situados de las comunidades a las que se pertenece y con las que se interactúa. Asumiendo los procesos formativos, como parte de los proyectos de vida de los estudiantes y en el caso de la Universidad, como parte de un proyecto colectivo de construcción de territorio universitario, que incluye a todos los actores que conforman la Unicomfacauca. (Ver Tabla 1).

Tabla 1. *Retos en la construcción del PRAU, Unicomfacauca (2018)*

FACTOR MISIONAL	RETO
Docencia	Articulación a los contenidos programáticos el desarrollo de la dimensión territorial y ambiental
	Participación de los docentes en la construcción y desarrollo del PRAU
Investigación	Realización de investigaciones interdisciplinares, interfacultades en el campo ambiental y territorial
	Fortalecimiento de semilleros de investigación que articulen los ejes problemáticos del PRAU
	Participación en eventos académicos (Locales, Regionales y Globales) con énfasis en el tema ambiental y territorial
Proyección social	Realización de investigaciones que vinculen instituciones educativas, colectivos sociales, ambientales
	Fomento de acciones de emprendimiento social con énfasis en la gestión territorial y ambiental de la Universidad
Relación con egresados	Vincular dentro de los ejes de trabajo del PRAU, el relacionamiento con egresados
	Investigaciones que vinculen egresados (por ejemplo, jóvenes investigadores)
Bienestar universitario	Identificar líneas de trabajo en común entre Bienestar Universitario y el PRAU, por ejemplo: Reconocimiento del territorio universitario, utilización óptima de espacios y recursos, identificación de problemas socioculturales
	Vinculación de la escuela de padres, con el desarrollo del PRAU
	Impacto del PRAU en las otras sedes de la Universidad

Por lo tanto, es importante empoderar a cada actor, como sujeto social transformador, que puede interactuar desde lo local, hacía lo regional y mundial, enfocando la mirada hacia un ciudadano planetario, que se sitúa desde su rol en la comunidad a la que pertenece y desde allí interactúe con el mundo. Un ciudadano que comprende las complejidades del abordaje ambiental y territorial, que desde su formación profesional dialoga con la diversidad de contextos y proyecta acciones para actuar sobre las realidades que vive, o de las que está llamado a participar.

Lo anterior, desde la apuesta de la economía azul, implica proyectos socialmente sostenibles y sustentables, siguiendo los patrones ecológicos y las interacciones de la naturaleza como modelos para su organización. Retomando las reflexiones planteadas en el apartado que versa sobre la gestión ambiental y territorial, puede iniciar con fortalecer la línea de investigación del Grupo Investigarte, sobre soberanía alimentaria. Incidiendo en la cafetería y en la propuesta de restaurante universitario. Que se logren consolidar como propuestas alimentarias saludables, que manejen una línea de producción limpia (destinando los residuos orgánicos a la producción de compost, por ejemplo, en una de las instituciones educativas aliadas, dietas balanceadas, que recojan la diversidad biocultural del departamento, y que, además, generen ganancias educativas y económicas para la Universidad.

Conclusiones

El proyecto se enfocó en el hacer y en el abordaje de la dimensión ambiental de forma interactiva, pues el componente de comunicación comunitaria y social se apoya en las actuales tendencias en educación ambiental, donde los procesos de comunicación y estructuración de los resultados se derivan de las dinámicas sociales que problematizan una realidad; de esta forma, los participantes pasan a ser actores, intermediadores y agilizadores de procesos de investigación. La relevancia del diseño de investigación está en el nivel de participación y empoderamiento de las estrategias diseñadas con fines a generar emprendimiento social e innovación pedagógica dentro y fuera del aula de clases.

Los resultados de investigación, se sustentan a partir del abordaje de descriptores de orden local, regional y nacional que impactan el ambiente universitario en sus diferentes dimensiones. No obstante, a pesar de los esfuerzos adelantados, actualmente, no se cuenta con suficientes prácticas pedagógicas ambientales articuladas con una cultura de la gestión territorial y el emprendimiento social en el marco de la formación pedagógica universitaria. En este sentido, tomando como referencia dos programas académicos de la Corporación Universitaria Comfacauca (Comunicación Social y Periodismo, y Tecnología en Gestión Gastronómica), se buscó sentar las bases para la formación del talento humano en temas de innovación pedagógica ambiental y gestión del territorio, conducentes a la resignificación de prácticas y saberes.

Para los programas participantes de la Corporación, los componentes teórico-prácticos abordados han permitido acceder a oportunidades académicas que no se habían imaginado. Reencontrarse con las crayolas y el ejercicio de dibujar, es una oportunidad para pensar cómo han ido cambiando sus intereses y cómo en ese trasegar de la vida van recogiendo y dejando formas de relacionamiento con el mundo y con ellos mismos. El pretexto del dibujo y el recuerdo de las épocas de infancia permite hacer manifiestas relaciones fragmentadas con sus padres o familiares cercanos, en algunos casos.

Pareciera que al llegar al contexto universitario es obsoleto el diálogo con su núcleo familiar, y qué, inclusive ya no se tiene relación con su proceso de formación profesional. Estos asuntos empiezan a dar luces del abordaje que se debe trabajar para lograr aportar a desarrollar una territorialidad en la Unicomfacauca. Cabe resaltar que, parte de la apropiación del espacio universitario, pasa por las relaciones que se puedan establecer con el legado personal y familiar de los estudiantes y las posibilidades de interacción con los diferentes actores sociales que hacen parte de la comunidad universitaria. El abordaje de las pieles que tienen que ver con el territorio universitario y sus relaciones con lo local y lo global, permitieron explorar los sentidos profesionales de los estudiantes, cuestionar sus intereses como Gastrónomos y Comunicadores Sociales, su papel político en las dinámicas del país y cómo desde su quehacer puede estar aportando a la construcción de país.

Construir de manera participativa y colaborativa el PRAU, implicó redimensionar el abordaje de lo ambiental en perspectiva territorial. Por ello, se partió de miradas relacionales y complejas, que aportarán al quehacer educativo de Unicomfacauca, permitiendo que desde las propuestas curriculares (específicamente desde los contenidos programáticos/ syllabus) se desarrollen competencias ciudadanas y profesionales, con relación al disfrute de los ambientes y las responsabilidades sociales frente a estos. El esfuerzo está centrado en poner en práctica dichas competencias, en lo que se ha denominado actividades de emprendimiento social, que implican hacer lecturas críticas de los contextos universitarios, fortaleciendo relacionamientos con estos y asumiendo la capacidad transformadora de los actores educativos.

De ahí que interese asumir el territorio universitario como espacio vital en interacción con los otros escenarios: el cuerpo, la familia, la ciudad, el departamento, el país, la región y el mundo. Como territorio idóneo para la acción pedagógica ambiental, articulando las áreas estratégicas en investigación, territorio, innovación, ciencia y tecnología. Es así que, pensar en el PRAU universitario es otra posibilidad de encuentro con nodos de trabajo, que se vienen consolidando desde las funciones misionales de la Universidad y para los cuales existen los planes estratégicos.

Referencias

Alcaldía de Popayán. (s.f.). Plan de Desarrollo 'Vive el Cambio' fue entregado al Concejo Municipal. Recuperado de http://www.popayan.gov.

co/ciudadanos/sala-de-prensa/noticias/Plan-de-Desarrollo-%E2%80%98Vive-El-Cambio%E2%80%99-fue-entregado-al-Concejo-Municipal

Amodio, E. (1999). El Retorno a Babel: Culturas, Identidades y Fronteras en un Mundo Global. En: D. Aguirre. (Comp.). *Culturas, Lenguas y Educación Memorias; Simposio de Etnoeducación. VIII Congreso de Antropología* (pp. 21-30). Bogotá: Fondo de Publicaciones de la Universidad del Atlantico.

Bermúdez, O. (2005). *Representaciones sociales y mapas mentales del campus universitario.* Colombia: Universidad Nacional de Colombia-Instituto de Estudios Ambientales IDEA.

Bozzano, H. (2000). *Territorios reales, territorios pensados, territorios posibles: aportes para una teoría territorial del ambiente.* Buenos Aires: Espacio Editorial.

Cárdenas, F. (2002). *Antropología y Ambiente: Enfoques para una comprensión de la relación ecosistema-cultura.* Bogotá: Fundación Cultural Javeriana de Artes

Congreso de la República. (2012). Ley 1549 de 2012. Por medio de la cual se fortalece la institucionalización de la política nacional de educación ambiental y su incorporación efectiva en el desarrollo territorial. Recuperdo de https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=48262

Corporación Autónoma Regional del Cauca (2012). Plan de Acción 2012-2015. Popayán-Cauca.

Corporación Universitaria Comfacauca Uniconfacauca. (2014). Proyecto Educativo Institucional (documento anexo al Acuerdo 027 de 2014, Consejo Superior). Recuperado de http://www.unicomfacauca.edu.co/phocadownload/Acuerdos/PEI%20Unicomfacauca.pdf

Giménez, G. (2001). Cultura, Territorio y Migraciones. Aproximaciones Teóricas. *Revista Alteridades, 11*(22), 5-14.

Leff, E. (2006). La ecología política en América Latina. Un campo en construcción En H. Alimonda. (Comp.) *Los tormentos de la materia. Aportes para una ecología política latinoamericana* (pp. 21-39). Bueno Aires: CLACSO, Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales.

Ministerio de Educación Nacional. (1994). Decreto Número 1743 de 1994. Por el cual se instituye en Proyecto de Educación Ambiental para todos los niveles de educación formal, se fijan criterios para la promoción de la educación ambiental no formal e informal y se establecen los mecanismos de coordinación entre el Ministerio de Educación Nacional y el Ministerio del Medio Ambiente. Recuperado de https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-104167_archivo_pdf.pdf

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNDU). (2015). Objetivos de desarrollo Sostenible. Recuperado de https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html

Rodríguez, J. y Ortíz, L. (2014). *Lombrices y plantas. Resignificando el territorio* (tesis de pregrado). Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia.

Sanz, O. (mayo de 2003). La responsabilidad social universitaria. En Navarro. *Comportamiento socialmente responsable*. Ponencia presentada en el Seminario “Educación para la Responsabilidad Social: la Universidad en su Función Docente”. Universidad de Concepción.



Modalidad de Póster

574

Área Temática: Gestión Ambiental

Appaga: una propuesta tecnológica para generar conciencia ambiental frente al consumo energético

Álvaro Gelpud[159]
Giovanni Hernández Pantoja[160]
Sandra Vallejo[161]

Resumen

El objetivo principal del trabajo es proponer una alternativa tecnológica para la sensibilización ambiental en relación con el consumo eléctrico en las instituciones de educación superior públicas del suroccidente colombiano. Este trabajo se desarrolló bajo el paradigma cuantitativo, con un enfoque empírico-analítico de tipo descriptivo y propositivo. La población objeto fueron los docentes, administrativos y estudiantes de la Universidad de Nariño en San Juan de Pasto, Colombia. Como resultado, se logró determinar el nivel de sensibilización ecológica que existe en la comunidad universitaria respecto al consumo energético. También se construyó una aplicación para dispositivos móviles, como un elemento que permite propiciar la sensibilización ecológica de los usuarios frente al uso eficiente de energía eléctrica en el ámbito universitario. Finalmente, el estudio permitió concluir que en la Universidad de Nariño, el consumo Stand by y el desconocimiento de las campañas ambientales promovidas en la institución son las principales causas del desperdicio energético. Además, se construyó la aplicación móvil APPAGA, como una propuesta de intervención tecnológica que propicia la sensibilización ambiental frente a la problemática del uso eficiente de energía eléctrica.

Palabras clave: aplicativo móvil, conciencia ambiental, consumo energético.

Appaga: a technological proposal to generate environmental consciousness against energy consumption

Abstract

The main objective of the work is to propose a technological alternative for environmental awareness in relation to electricity consumption in public higher education institutions of southwest of Colombia. This work was developed under the quantitative paradigm, with an empirical-analytical approach of a descriptive and proposal type. The target population was the teachers, administrators and students of the Nariño University in San Juan de Pasto, Colombia. As a result, it was possible to determine the level of ecological awareness that exists in the university community concerning energy consumption. An application for mobile devices is built, as an element that allows promoting the ecological awareness of users against the efficient use of electrical energy in the university environment. Finally, the results at Nariño University, are associated with the Stand-by consumption, and disregard of the environmental campaigns promoted in the institution are the main causes of energy waste. In addition, the APPAGA mobile application is built as a proposal for technological intervention that promotes environmental awareness in the face of the problem of the efficient use of electricity.

Key words: mobile application, environmental awareness, energy consumption.

Appaga: uma proposta tecnológica para gerar a consciência ambiental frente a consumo de energia

Resumo

O objetivo principal do trabalho é propor uma alternativa tecnológica para a conscientização ambiental em relação ao consumo de eletricidade nas instituições públicas de ensino superior do sudoeste da Colômbia. Este trabalho foi desenvolvido sob o paradigma quantitativo, com uma abordagem empírico-analítica de tipo descritivo e proativo. A população alvo eram os professores, administradores e estudantes da Universidade de Nariño em San Juan de Pasto, Colombia. Como resultado, foi possível determinar o nível de consciência ecológica existente na comunidade universitária referente ao consumo de energia. Além disso, é construído um aplicativo para dispositivos móveis, como um elemento que permite promover a consciência ecológica dos usuários frente ao uso eficiente de energia elétrica no ambiente da universidade. Finalmente, o estudo nos permite concluir que na Universidade de Nariño, o consumo Stand by e o desconhecimento das campanhas ambientais promovidas na instituição são as principais causas do desperdício de energia. O aplicativo móvel APPAGA é construído como uma proposta de intervenção tecnológica que promove a conscientização ambiental em face do problema do uso eficiente da eletricidade.

Palavras-chave: aplicação móvel, conscientização ambiental, consumo de energia.

Introducción

La medianas y grandes organizaciones, generalmente, presentan un nivel alto de consumo de energía, lo cual es necesario para proporcionar bienes y servicios a la comunidad. Sin embargo, esto no debe ser excusa para hacer un derroche de ella, dado que se pueden generar opciones factibles para disminuir el consumo energético mediante actuaciones que favorecen el ahorro, además de la reducción de gastos, el aumento de la competitividad y la innovación tecnológica.

En Colombia, según el último boletín trimestral presentado por Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (2016), se reporta que el número absoluto de abonados en servicio de telefonía móvil, en Colombia alcanzó un total de 57’927.412. De acuerdo con “Asomóvil, la empresa que reúne a todas las compañías de celular en el país, reportó que tenía 25.785.262 usuarios de internet móvil, es decir, más de la mitad de los colombianos estarían usando un dispositivo inteligente [o Smartphone]” (Semana, 2015, párr. 2).

El consumo de energía de un smartphone oscila en aproximadamente los 5 W para cargar el dispositivo. Si se tiene aún el cargador enchufado con el móvil ya cargado, se hace un consumo innecesario de 0.5 W y, finalmente, si se tiene el cargador enchufado sin el móvil, se hace un consumo innecesario de 0.2 W (Xataka, 2015), mediciones que tienen ligeras variaciones con otros estudios pero que se encuentran en el promedio de consumo. Un móvil que se encuentra cargado y continúa conectado durante 3 horas al día generaría aproximadamente 0,548 kWh. Para un enchufe conectado sin un móvil, en un periodo de 10 horas genera un consumo de 0,73 kWh. Si estos valores se proyectan anualmente, el consumo innecesario de un colombiano sería de 1,28kWh. En la Tabla 1, se presenta la proyección de consumo en el tiempo.

[159] Programa de Ingeniería de Sistemas, Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electroniuco: alvarogelpud@udenar.edu.co

[160] Programa de Ingeniería de Sistemas, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electroniuco: gihernandez@umariana.edu.co

[161] Programa de Ingeniería de Sistemas, Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electroniuco: sandravallejo@udenar.edu.co

Tabla 1. *Consumo en Watts de un smartphone*

Descripción	Consumo (W)	Consumo diario (kWh)	Consumo semanal	Consumo Mensual	Consumo anual (kWh)	Costo consumo anual ($558.2/kWh)
Cargar móvil (2 horas)	5 W	0,01 kWh	0,07 kWh	0,3 kWh	3,65 kWh	$2037,42
Cargador enchufado con móvil ya cargado (3 horas al día)	0,5 W	0,0015 kWh	0,0105 kWh	0,045 kWh	0,548 kWh	$305,89
Cargador enchufado sin móvil (10 horas al día)	0,2 W	0,002 kWh	0,014 kWh	0,06 kWh	0,73 kWh	$407,49

El costo promedio del hWh en estratificación 3 para San Juan de Pasto es de $558,2; es decir, en un año, se obtiene un costo de $ 713.38 anuales por persona a causa de consumo innecesario. Ahora, si este valor se calcula con el número de Smartphones que hay en Colombia (aproximadamente 25 millones), obtenemos un consumo innecesario de energía de 32 millones de kWh (32 GWh) desperdiciados al año, que no es poco, pues es la energía que pueden consumir 20.000 mil familias al año y que si se traduce en dinero alcanza un costo de $ 17.834.500.000 al año.

Si se transfiere el análisis descrito anteriormente al consumo de otros equipos como computadores, impresoras y televisores, se encuentra también la presencia del llamado "consumo fantasma", es decir, "el gasto que realizan los electrodomésticos, incluso cuando no están en uso, estas mediciones de dispositivos que se mantienen en modo de espera o *Stand-by* muestran consumo de cantidades significativas de energía, entre 1 y 30 vatios por hora" (El Correo del Sol, s.f., párr. 1).

> Cerca del 25 % de la electricidad utilizada para dar energía a equipos electrónicos en el hogar es consumida cuando los equipos están apagados" [y sucede algo similar en las organizaciones]. De acuerdo con el Departamento de Energía de los EUU "el consumo de energía vampiro" representa entre el 5 y 8 % del consumo total de electricidad de una familia al año. En una típica computadora de escritorio, 2/3 partes de la energía usada es desperdiciada. Además, cerca del 90 % de los sistemas tienen la función descanso/hibernación deshabilitada.
>
> Actualmente, el gasto energético mundial es mayor que el de hace algunos años y posiblemente siga aumentando con el tiempo. A escala global, la energía Stand-by representa el 1 % de las emisiones mundiales de carbono, de acuerdo con el Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley en California. (Lubschik, 2010, s.p.).

Si se tiene en cuenta los dispositivos electrónicos presentes en instituciones educativas, como computadores de escritorios, laptops, monitores CRT, monitores LCD e impresoras y se realiza el cálculo de consumo anual en *Stand-by*, tan solo de estos, 5 dispositivos electrónicos generan un consumo innecesario en *Stand by* de 184 kWh anuales, con producción de CO2 de 120 kg (OCU, 2015), valores que se deben tener en cuenta en cualquier organización y sobre todo para la afectación que se da al medio ambiente.

Otro de los mayores consumos que se generan en instituciones y empresas se refiere a la iluminación eléctrica de las instalaciones, que durante los últimos años se ha venido trabajando en el ahorro y de acuerdo con la información del programa "Uso Eficiente de Energía – URE" del Gobierno Nacional, si en todos los hogares del país se realizan prácticas como cambiar la iluminación por bombillos LED o apagar las luces, el país podría ahorrarse el 18 % de la energía eléctrica que se consume al año (Ministerio de Minas y energía, 2010), algo que compete también a las Instituciones de Educación Superior, como es el caso de la Universidad de Nariño.

Relacionando el análisis descrito con el contexto de la Universidad de Nariño, para algunos electrodomésticos y equipos presentes (PC de escritorio, laptops, Televisores LCD, Smartphone.), se puede hacer una aproximación del costo que debe asumir la institución. La Universidad de Nariño en la sede Toro Bajo cuenta con cerca de 11 aulas de informática, las cuales tienen un promedio de 25 computadores de mesa cada una, para un total de 275 equipos. Un computador apagado llega a consumir 2,8 W, un computador conectado en estado de suspensión consume 21,1 W y si tiene el monitor apagado ("idle") llega a 73,9 W (De Toma, 2016). Si estos equipos, se encuentran en estado de suspensión por un tiempo de 3 horas diarias, se obtiene un gasto de consumo innecesario por equipo de 0,0633 kWh. Si se aplica a las 11 aulas, se tiene 17,41 kWh por día, y en un año se alcanzaría 6266.7 kWh de consumo innecesario. Este consumo fantasma tiene un costo aproximado de $ 3.498.072, sin contar los equipos presentes en oficinas y demás dependencias de la universidad. Otra causa es mantener las luces encendidas durante el día a pesar de contar con luz natural. En los 8 bloques de la sede Toro Bajo con un consumo promedio de 11 W por lámpara, en un periodo de 3 horas al día, se tiene un consumo de 0.033 kWh por lámpara. Si se toman las 192 lámparas de los 8 bloques se tiene un consumo total de 6,3 kWh innecesario por día. En un año, se tiene un consumo de 2312,6 kWh que alcanzaría un costo de aproximado de $ 1.290.916 por consumo innecesario de energía, tan solo en la sede Toro Bajo, aparte de oficinas y otras dependencias.

Unos de los dispositivos más utilizado en la universidad corresponde a celulares y computadoras portátiles. Los cargadores tiene un consumo *Stand-by,* para celular de 1,5 W y portátil 5 W. Tomando como dato los 2.600 dispositivos registrados, valor que corresponde a tan solo el 20 % del total de la población estudiantil de la sede principal (10.494 estudiantes matriculados para periodo B del 2017 sede Pasto) y proyectado el consumo innecesario a 2 horas al día, se obtiene 2.874 kWh anuales para celulares, y 9.490 kWh anuales para portátiles, que sumados dan un total de 12.364 kWh, generando un costo de $ 6'901.585 para este tipo de dispositivos.

Al totalizar los casos expuestos de consumo innecesario, aproximadamente se tiene un valor de 20943,32 kWh, que le estaría costando a la universidad un total de $ 11'690.561,22, tan solo en una de sus sedes y dejando fuera otro tipo de dispositivos electrónicos.

En consecuencia, nace esta investigación, la cual tuvo como finalidad proponer una alternativa tecnológica para la sensibilización ambiental en relación con el consumo eléctrico en las Instituciones de Educación Superior Públicas del suroccidente colombiano, a través de la identificación del nivel de sensibilización ecológica, en el aprovechamiento racional de la energía eléctrica y en la elaboración de una propuesta tecnológica basada en una aplicación para dispositivos móviles que sensibilice ecológicamente el aprovechamiento racional de la energía eléctrica.

La conciencia ambiental, según Flabes y Alea (Citado por Martínez, 2008) se define como el sistema de ideas y creencias que el individuo utiliza activamente al relacionarse con el medio ambiente. Concretamente, se deben distinguir 4 dimensiones relacionadas con el medio ambiente, compuestas por: conocimiento, percepción y emociones, disposición a adoptar criterios proambientalistas, y realización de acciones ambientalmente responsables. En esta misma línea, se concibe a la conciencia ambiental como "determinados factores psicológicos relacionados con la propensión de las personas a realizar comportamientos proambientales" Zelezny y Schultz (como se citó en Tonello y Valladares, 2015, p. 46), por lo tanto, puede definirse como un concepto multidimensional.

Ritesh, Santoso y Srimannarayana (2016) realizaron una investigación que les permitió determinar el nivel de sensibilización de prácticas ambientales sostenibles para los profesionales de Tecnologías de la Información y Comunicación en la India. Esta investigación hace referencia al creciente interés de la sostenibilidad del medio ambiente dentro de las industrias, abordando un campo relativamente nuevo, enfocado al entendimiento

que tienen los profesionales TIC acerca de la sostenibilidad del medio ambiente y las buenas prácticas en la organización. Este trabajo concluyó que el conocimiento de las prácticas sostenibles en Tecnología de Información puede ayudar a las organizaciones a adoptar diversas estrategias en el desarrollo de las prácticas de trabajo eficaces de sostenibilidad y la educación a sus empleados, de igual forma, permitió definir algunos beneficios que se puede obtener a través de unas prácticas de trabajo sostenibles en la organización. Por otra parte, Gast, Gundolf & Cesinger (2017) basados en el modelo del desarrollo sostenible, es decir, la sostenibilidad ecológica, presentan la primera revisión sistemática de literatura sobre el espíritu empresarial sostenible ecológico.

Así las cosas, despúes de realizar el análisis de 114 artículos científicos, se revela un fuerte enfoque en estrategias de participación con iniciativa empresarial sostenible ecológica y promoción de la realización de negocios de una manera ecológica y sostenible. Este estudio concluye la importancia que posee el llamado de la sociedad a construir negocios de una manera más verde y sostenible, y como la iniciativa empresarial relacionada con la sostenibilidad se ha convertido en un subcampo importante de la investigación empresarial.

En la investigación de Ruchter, Klar & Geiger (2010), se hace un estudio sobre el impacto de un sistema de guía móvil en diferentes parámetros de alfabetización ambiental en comparación con los instrumentos tradicionales de educación ambiental (por ejemplo, folleto, guía humana). Este trabajo se basó en un experimento de campo, en el cual 185 niños en edad escolar y 76 adultos participaron en una visita guiada, usando diferentes medios para la enseñanza ambiental. Esta investigación permitió concluir, teniendo en cuenta la novedad de los dispositivos móviles y los problemas de usabilidad asociados con el prototipo de la guía móvil, como los participantes que utilizan un medio asistido por computador lograron resultados similares en relación con los componentes de alfabetización ambiental. Además, se logró un aumento en el conocimiento ambiental y en el caso de los más jóvenes, se incrementó la motivación para participar en actividades de educación ambiental basadas en tecnología.

En relación con la sensibilización ambiental en las Instituciones de Educación Superior, Lambrechts y Liedekerke (2014) enfocan su investigación en el cálculo de la huella ecológica dentro de las universidades y proponen la posibilidad de utilizar esta herramienta para las operaciones del campus con fines educativos y de desarrollo de políticas, en respuesta a una integración de sostenibilidad en la actividad principal de la organización. Esta investigación concluye que el análisis de la huella ecológica es una manera para que la educación superior ponga en "práctica lo que predican", permitiendo monitorear el desempeño de sostenibilidad y sensibilizar a la comunidad universitaria.

En el trabajo de Pascuas, González y Perdomo (2016, pp. 1-2), se buscó identificar estrategias tecnológicas enfocadas al fomento de la conservación del medio ambiente, haciendo énfasis en la articulación de las TIC al desarrollo sostenible. Dentro del trabajo se presenta algunos componentes y criterios que son relevantes en la articulación de estrategias tecnológicas y el fomento de la conservación ambiental, además de hacer un breve sondeo de los aplicativos para dispositivos móviles presentes en el mercado que procuran promover la protección del ambiente. Este estudio concluye que el papel de las TIC se presenta como un factor positivo para disminuir la degradación y los impactos ambientales.

Finalmente, se tiene el trabajo de Robayo (2014), el cual se enfatiza en presentar una propuesta de estimación de indicadores de eficiencia energética para determinar el grado de uso racional de la energía en los hogares colombianos. Su principal objetivo fue presentar una aplicación móvil que facilite la estimación de dichos parámetros a la mayor población posible. Esta investigación concluyó que el aplicativo logra la sensibilización sobre el uso racional y eficiente de la energía eléctrica disponible a nivel doméstico, aunque no interviene de forma directa, promueve el cambio de comportamientos y cultura energética.

En relación con los antecedentes revisados, la investigación que sustenta este artículo tiene similitudes, entre ellas: determinar el nivel de sensibilización referente a prácticas ambientales en los profesionales e instituciones universitarias, fomentando del desarrollo sostenible dentro de las organizaciones; abordar el papel de las TIC en la concientización ambiental. No obstante, en este trabajo investigativo, se presenta como novedad, determinar el nivel de sensibilización dirigida, no solo a trabajadores sino involucrando a todo un estamento educativo (funcionarios, profesores y estudiantes). Además, se elaboró una planeación que se enfocó en una temática más concreta, como es el uso eficiente de energía, permitiendo una mayor profundización sobre el tema, el cual no es muy recurrente para instituciones universitarias. Así mismo, se organizaron estrategias y formas de uso, que posibiliten un despliegue correcto del aplicativo o herramienta de sensibilización dentro de la comunidad educativa.

A continuación, se muestran los resultados alcanzados, presentando el nivel de sensibilización ecológica en el aprovechamiento racional de la energía eléctrica y la forma cómo se construyó una aplicación para dispositivos móviles con sistema operativo Android, que sensibilice ecológicamente el aprovechamiento racional de la energía eléctrica. Finalmente, se exponen las conclusiones de la investigación.

Sensibilización ecológica en el aprovechamiento de energía eléctrica

Para determinar el nivel de sensibilización ecológica en el aprovechamiento racional de la energía eléctrica, se trabajó con una población de 516 estudiantes, 213 docentes y 228 funcionarios. Como técnica para recopilar los datos, se utilizó la encuesta. Para el análisis de los datos se utilizó la estadística descriptiva haciendo un análisis de frecuencias.

Descripción sociodemográfica de la población

Los estudiantes y docentes tienen un mayor porcentaje de personas pertenecientes al género masculino, con un 62 % y 71,8 % respectivamente dentro de su grupo; caso contrario, es el género femenino el dominante con un 62 % en el grupo de funcionarios. (Ver Figura 1).

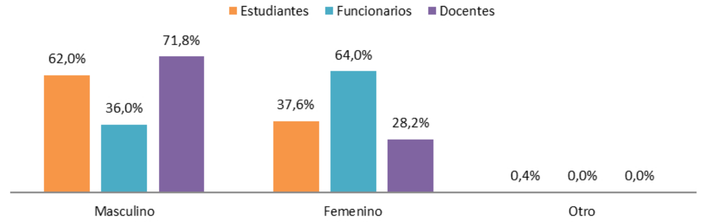


Figura 1. Distribución demográfica por género.

La población de estudiantes en su mayoría se encuentra entre los 18 y 20 años con un 47,3 % (Ver Figura 2). Los docentes en su mayoría se encuentran entre los 36 y 50 años con un 44,1 % (ver Figura 3), y los funcionarios se encuentran entre edades de 20 y 35 años con un 49,1 % (ver Figura 3).

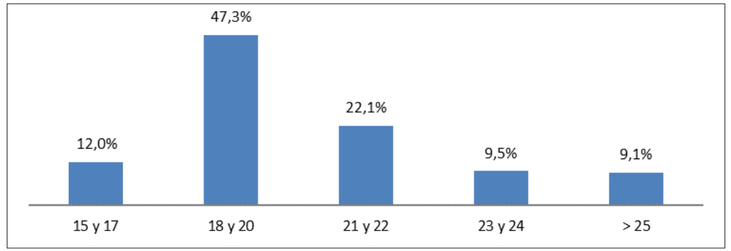


Figura 2. Población de estudiantes por edad.

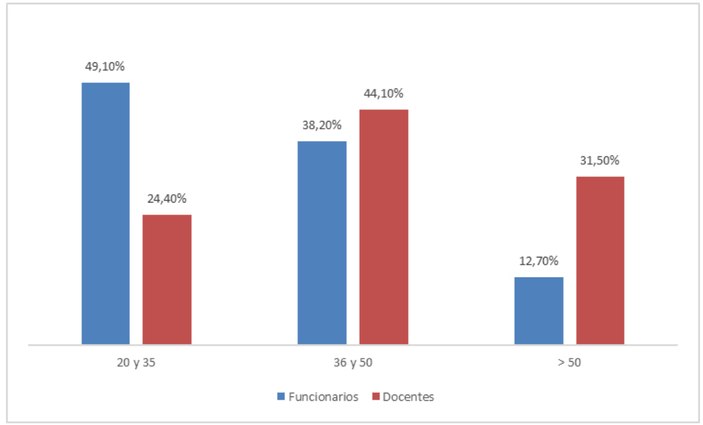


Figura 3. Población de docentes y funcionarios por edad.

En relación con el tiempo que se encuentran vinculados con la universidad, los funcionarios y docentes en su mayoría con un 31,6 % y 30,5 % respectivamente, llevan laborando entre 2 y 6 **años**. Para los estudiantes con un 62,4 % en su mayoría han estado en la universidad entre 1 y 2 años.

Conciencia ambiental

A continuación, se presentan los resultados obtenidos sobre el nivel de conciencia ambiental en relación con las variables: responsabilidad ambiental, cambio climático, costo, buenas prácticas, políticas y estrategias.

Responsabilidad ambiental.

En el análisis de los datos se evidenció que tanto en el grupo de estudiantes, docentes y funcionarios muestran interés y responsabilidad frente al tema ambiental, en donde el mayor porcentaje pertenece al nivel alto en cada uno de los grupos encuestados, como se puede apreciar en las Figuras 4, 5 y 6. Cabe mencionar que, existe una responsabilidad positiva más marcada para el grupo de docentes.

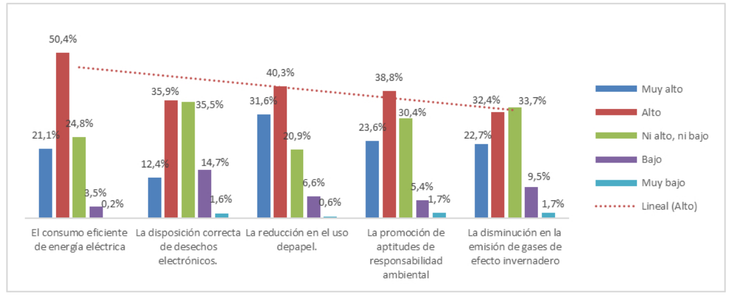


Figura 4. Responsabilidad ambiental de estudiantes.

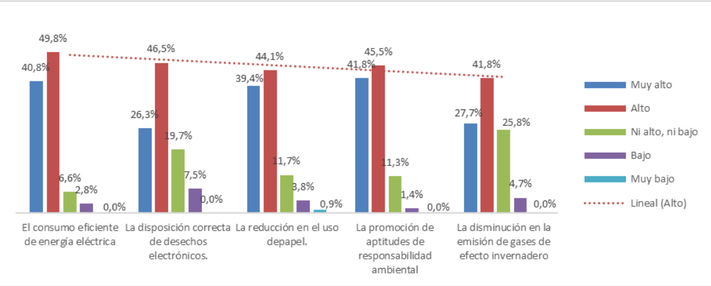


Figura 5. Responsabilidad ambiental de docentes.

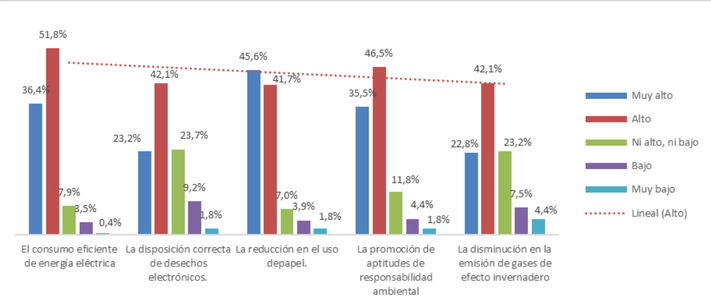


Figura 6. Responsabilidad ambiental de funcionarios.

Consumo energético.

Los estudiantes, docentes y funcionarios muestran una responsabilidad alta frente al consumo eficiente de energía con el 50,4 %, 51,8 % y 49,8 % respectivamente. Demostrándose un alto interés y responsabilidad en el tema de consumo eficiente de energía de la comunidad educativa encuestada. (Ver Figura 7).

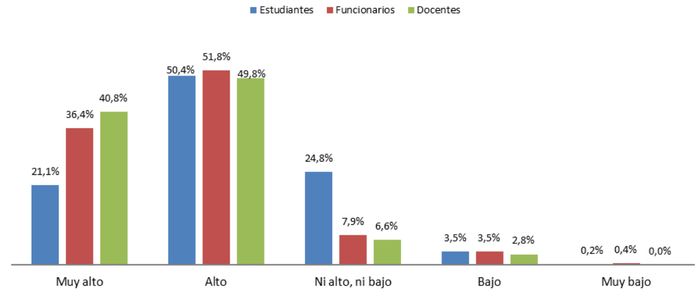


Figura 7. Responsabilidad frente al consumo eficiente de energía.

Dispositivos electrónicos.

El grupo de estudiantes, docentes y funcionarios muestran un hábito muy frecuente en relación con la desconexión de dispositivos electrónicos cuando estos no se están utilizando, con un 36 %, 56,1 % y 58,2 % respectivamente (ver Figura 8), siendo el menos frecuente en el grupo de estudiantes.

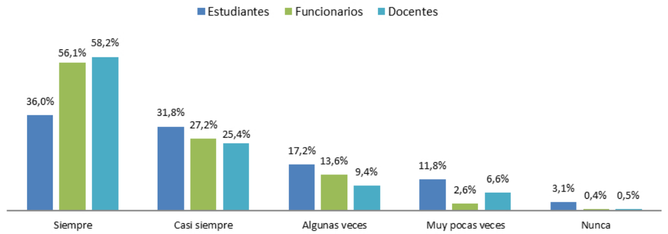


Figura 8. Desconexión de dispositivos electrónicos.

Participación en campañas o eventos ambientales.

En la comunidad educativa se logra evidenciar que estudiantes, docentes y funcionarios tienen un nivel muy alto de no participación en campañas o eventos ambientales, con el 97,9 %, 87,7 % y 90,1 % respectivamente. Adicionalmente, se indagó cuál sería la razón de la no participación a este tipo de eventos y campañas. Los resultados evidencian que la razón que predomina en el grupo de estudiantes, docentes y funcionarios es el no tener conocimiento de campañas o eventos ambientales, como se puede apreciar en la Figura 9.

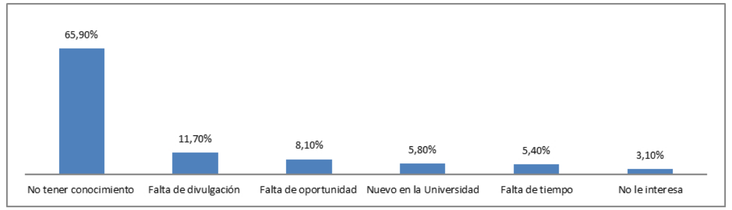


Figura 9. Razones de no participación en campañas y eventos ambientales.

Consumo *Stand by*

El grupo de estudiantes, docentes y funcionarios muestran un muy bajo conocimiento frente al tema de consumo *Stand By* o fantasma, ubicándose los mayores porcentajes en los niveles ni altos, ni bajo; Bajo y Muy bajo, como se observa en la Figura10.

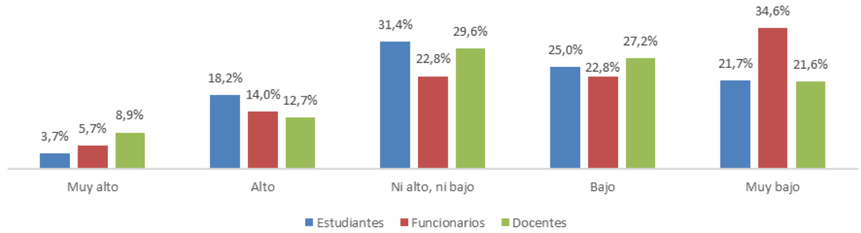


Figura 10. Conocimiento frente al consumo Stand By.

El bajo nivel de conocimiento de la comunidad académica frente a estrategias alternas para el uso eficiente de energía permite plantear alternativas que posibiliten informar sobre acciones simples de ahorro energético, como modo ahorrador en dispositivos electrónicos, disminución del consumo *Stand By* y reciclaje electrónico.

Aplicación móvil *APPAGA*

Esta aplicación diseñada y desarrollada para dispositivos móviles se construye basada en los principales problemas manifestados por la comunidad académica en relación con el consumo energético. Además, se articula el Programa de Educación Ambiental de la Facultad de Educación de la Universidad de Nariño, a través de uno sus semilleros de investigación, dando algunas sugerencias en el contenido y funcionalidades implementadas dentro del aplicativo de manera objetiva, enfatizándose en la pedagogía y lúdica de la herramienta desarrollada.

El resultado final es una aplicación para dispositivos móviles, para lo cual se utilizó la propuesta de trabajo presentada por Hernández, Martínez, Argote, y Coral (2015); que funciona bajo el sistema operativo Android, cuya interfaz se muestra en la Figura 11, y se puede descargar de forma gratuita en *Play Store*. La aplicación cuenta con cinco módulos o funcionalidades principales que el usuario puede encontrar: Eventos y campañas, Consumo *Stand By*, Test ambiental, Tips ambientales y Aprende.

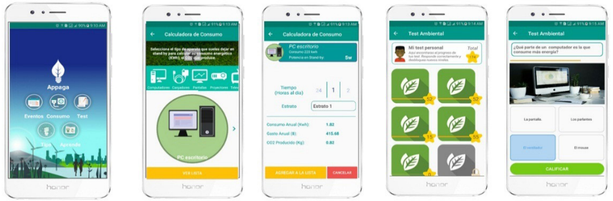


Figura 11. Aplicación para dispositivos móviles APPAGA.

Eventos y campañas.

Esta funcionalidad permite la difusión de acciones ambientales que se realizan dentro de la institución para que la comunidad educativa se mantenga informada, como respuesta a una de las necesidades de la investigación frente a la falta de información a la hora de realizarse este tipo de actividades. Además, esta funcionalidad es importante, ya que permite minimizar de cierto modo la impresión de publicidad física para la divulgación de estos eventos.

Consumo *Stand By.*

Este aplicativo móvil cuenta con una calculadora de consumo *Stand By,* que permite al usuario saber cuánta energía puede llegar a desperdiciar en el uso inadecuado de algunos dispositivos electrónicos, el costo en dinero y la cantidad de CO_2 generado, este último perjudicial para el ambiente y uno de los causantes del cambio climático. Los dispositivos y elementos electrónicos presentes en la calculadora son aquellos que se pueden encontrar frecuentemente en aulas, laboratorios y oficinas, tales como proyectores, impresoras y computadores, entre otros.

Test ambiental.

Otra de las funcionalidades dispuestas dentro del aplicativo son los test que buscan evaluar el nivel de conocimiento frente a alguna temática ambiental de la comunidad educativa. La primera función vincula la parte lúdica llamada Test, que mediante un juego de preguntas se reta al usuario a contestar correctamente y, de esta forma, se busca que el usuario empiece a asimilar y familiarizarse con algunos conceptos y temáticas ambientales, otorgándole puntos cada vez que acierta las preguntas. Otra función dentro del test ambiental es la encuesta. La cual permite realizar preguntas a los usuarios, enfocadas a indagar por el nivel de conciencia ambiental.

Tips ambientales.

Dentro de la generación de conciencia ambiental es muy importante el llamado a la acción, es decir, proponer algunas formas de actuar frente al ambiente y el uso de recursos. En este sentido, el aplicativo móvil cuenta con una colección de *tips* ambientales prácticos, que le permitirán al usuario hacer un ahorro y consumo eficiente de la energía en relación con el uso de energía eléctrica, ahorro de agua, movilidad sostenible, reutilización y posconsumo.

Aprende.

Desde la primera etapa de la investigación, se identificaron algunos problemas de tipo energético y uso adecuado de recursos dentro de la universidad, ya sea por la importancia demostrada por la comunidad o el bajo nivel de conocimiento que se tenía frente a un determinado tema. Con base en esta premisa, en el aplicativo móvil, se definen unas temáticas concretas relacionadas con el uso eficiente de energía, y algunas iniciativas energéticas adelantadas en la Universidad de Nariño. Las temáticas que se abordan en este ítem son: consumo fantasma, reciclaje electrónico, estrategias institucionales, políticas ambientales, cambio climático, energías renovables, RAEE (Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos) y ahorro energético.

Conclusiones

La Universidad de Nariño presenta un nivel considerable de desperdicio de energía eléctrica causada por el consumo *Stand by* y el desconocimiento de las campañas ambientales promovidas en la institución.

La comunidad universitaria que formó parte del estudio presenta un nivel alto de conocimiento en temáticas de ahorro energético y cambio climático, siendo los docentes los de mayor conocimiento y los estudiantes los de menor, destacándose un gran interés de la comunidad en la problemática energética.

Se construyó la aplicación móvil *APPAGA* como una propuesta de intervención tecnológica a la sensibilización ambiental frente a la problemática del uso eficiente de energía eléctrica, logrando un nivel alto de aceptación por la comunidad educativa.

Referencias

Colombia, el país de los 'smartphones'. (27 de junio de 2015). *Semana.* Recuperado de https://www.semana.com/tecnologia/articulo/colombia-el-pais-de-los-smartphones/432806

De Toma, J. (18 de mayo de 2016). 10 dispositivos que gastan solo por estar enchufados. *Infotechnology.* Recuperado de http://www.infotechnology.com/online/10-dispositivos-que-gastan-solo-por-estar-enchufados-20160518-0003.html

El Correo del Sol. (s.f.). Cómo reducir el "consumo fantasma" de electricidad. Recuperado de http://www.elcorreodelsol.com/articulo/como-reducir-el-consumo-fantasma-de-electricidad

Gast, J., Gundolf, K. & Cesinger, B. (2017). Doing business in a green way: A systematic review of the ecological sustainability entrepreneurship literature and future research directions. *Journal of Cleaner Production*, *147*(20), 44-56. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.01.065

Hernández, G., Martínez, Á., Argote, I. y Coral, D. (2015). Metodología adaptativa basada en Scrum: Caso empresas de la Industria de Software en San Juan de Pasto - Colombia. *Revista Tecnológica-ESPOL*, *28*(5), 211-223.

Lambrechts, W. & Liedekerke, L. (2014). Using ecological footprint analysis in higher education: Campusoperations, policy development and educational purposes. *Ecological Indicators*, *45,* 402-406. doi: 10.1016/j.ecolind.2014.04.043

Lubschik, R. (21 de septiembre de 2010). ¿Qué es la "carga fantasma" de las computadoras que aumenta sus gastos de energía eléctrica? *Iprofesional.* Recuperado de http://www.iprofesional.com/notas/104573-Que-es-la-carga-fantasma-de-las-computadoras-que-aumenta-sus-gastos-de-energa-elctrica

Martínez, A. (2008). La conciencia ambiental como herramienta para la educación ambiental: conclusiones y reflexiones de un estudio en el ámbito universitario. Univerdad de Córdoba.

Ministerio de Minas y Energías. (2010). Programa de uso racional y eficiente de energía y fuentes no convencionales-PROURE. Plan de acción indicativo 2010-2015 Resumen Ejecutivo. Recuperado de http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/MarcoNormatividad/plan.pdf

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2016). Boletín de las TIC. Recuperado de https://colombiatic.mintic.gov.co/679/articles-51235_archivo_pdf.pdf

OCU. (2015). Consumo en stand by [página en Internet]. Recuperado de http://www.ocu.org/vivienda-y-energia/nc/calculadora/consumo-en-stand-by

Pascuas, Y., González, M. y Perdomo, K. (2016). Estrategias tecnológicas para el fomento de la conservación ambiental. *Revista Cientifica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas*, *3*(26), 29-34.

Ritesh, C., Santoso, W. y Srimannarayana, G. (2016). Environmentally Sustainable Information and Communication Technology Usage: Awareness and Practices of Indian Information and Communication Technology Professionals. *Journal of Cleaner Production*, *131*(10), 435-446. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.05.004

Robayo, C. (2014). Gestión y Estimación de Indicadores de Eficiciencia Energética en Sistemas Domésticos de Energía Eléctrica Sobre Plataforma Android. *Encuentro Internacional de Educación en Ingenieria.* Recuperado de https://docplayer.es/76473080-Gestion-y-estimacion-de-indicadores-de-eficiencia-energetica-en-sistemas-domesticos-de-energia-electrica-sobre-plataforma-android.html

Ruchter, M., Klar, B. & Geiger, W. (2010). Comparing the effects of mobile computers and traditional approaches in environmental education. *Computers & Education*, *54*(4), 1.054-1.067. doi: 10.1016/j.compedu.2009.10.010

Tonello, G. y Valladares, N. (2015). Conciencia ambiental y conducta sustentable relacionada con el uso de energía para iluminación. *Gestión y ambiente*, *18*(1), 45-59.

Xataka. (18 de febrero de 2015). Cuánto dinero cuesta realmente cargar un smarphone. Recuperado de https://www.xataka.com/moviles/no-imaginas-el-dinero-que-te-cuesta-cargar-el-smartphone

Elaboración de placas planas con agregados de escombros y poliestireno expandido como materias primas

David Ricardo Javier Realpe Cabrera[162]
Gina Lizeth Serna Melo[163]

Resumen

En este proyecto de investigación se pretende aprovechar los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) depositados en escombreras del municipio de Pasto, con la elaboración de placas planas útiles en el campo de la construcción, a fin de disminuir el impacto ambiental que estos materiales producen sobre los componentes agua, suelo y aire. En primera instancia se recolectó, transportó, seleccionó y trituró los materiales, obteniendo una materia prima homogénea y libre de elementos indeseados; posteriormente, se identificó las características de los RCD (ladrillo y concreto) mediante ensayos de laboratorio, con el objetivo de conocer sus propiedades y poder evaluar el nivel de calidad de estos agregados según la normatividad vigente.

La caracterización permitió fabricar diferentes diseños de mezcla, con los cuales se elaboró especímenes que fueron evaluados en cuanto a resistencia por flexión en estado seco y húmedo según la Norma NTC 4373. Además, se incorporó como aditivo poliestireno expandido (EPS), el cual aportó características como ligereza, e impermeabilidad. En la fabricación de las placas planas fabricadas se logró reemplazar en un cien por ciento la utilización de agregados naturales y la disminución de costos de producción, puesto que las cantidades de cemento en la mezcla fueron bajas.

Palabras clave: aprovechamiento, escombrera, materia prima, residuos de construcción y demolición.

Elaboration of plane plates with debris aggregate and expanded polystyrene as raw materials

Abstract

This research project aims to take advantage of the construction and demolition waste deposited in slag heaps of the municipality of Pasto, with the manufacture of useful plane plates in the field of construction, in order to reduce the environmental impact that theses materials generate on the components water, soil and air. In the first instance the materials were collected, transported, selected and crushed, obtaining a homogeneous raw material free of unwanted elements; later the characteristics of the RCD (brick and concrete) were identified by laboratory tests with the objective of knowing their properties and to be able to evaluate the quality level of these aggregates according to current regulations.

The characterization allowed manufacturing different mix designs, specimens that were evaluated for flexural strength in the dry and wet state, according to Standard 4373. In addition, it was incorporated as an additive, expanded polystyrene (EPS), which provided characteristics such as lightness, and impermeability. In the manufacture of the flat plates it was possible to replace the use of natural aggregates and the decrease of pro-

[162] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: davrealpe@umariana.edu.co

[163] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: gserna@umariana.edu.co

duction costs by one hundred percent, since the quantities of cement in the mixture were low.

Key words: utilization, debris, raw material, construction and demolition waste.

Elaboração de placas planas com agregados de entulho e poliestireno expandido como matéria prima

Resumo

Neste projecto de investigação pretende-se aproveitar os resíduos de construção e de demolição (RCD) depositados em aterros sanitários no município de Pasto, com o desenvolvimento de placas planas úteis no domínio da construção, de modo a reduzir o impacto ambiental que os materiais causam nos componentes água, solo e ar. Em um primeiro momento, os materiais foram coletados, transportados, selecionados e triturados, obtendo uma matéria-prima homogênea, livre de elementos indesejados; posteriormente, as características do RCD (tijolo e concreto) foram identificadas por testes laboratoriais com o objetivo de conhecer suas propriedades e avaliar o nível de qualidade desses agregados de acordo com as normas vigentes.

A caracterização permitiu fabricar diferentes designs de mistura, amostras que foram avaliadas quanto à resistência à flexão no estado seco e úmido, de acordo com a Norma 4373. Além disso, foi incorporado como um aditivo, poliestireno expandido (EPS), que fornecia características como leveza, e impermeabilidade. Na fabricação das chapas planas fabricadas, foi possível substituir o uso de agregados naturais e diminuir os custos de produção em cem por cento, uma vez que as quantidades de cimento na mistura eram baixas.

Palavras-chave: aproveitamento, detritos, matérias-primas, resíduos de construção e demolição.

Introducción

El presente documento se enfoca en el desarrollo del primer objetivo específico de esta investigación, el cual es identificar las características de los agregados (concreto y ladrillo) mediante ensayos de laboratorio, para evaluar su utilidad como materia prima en la fabricación de placas planas. Lo anterior, con el fin de implementar una estrategia de aprovechamiento de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) y Poliestireno Expandido (EPS) en el municipio de Pasto, puesto que la generación en la ciudad de este tipo de materiales superó para el año 2013 los 225.000 m3 de escombros, y se incrementó en un 450 %, gracias a la elevada construcción de obras civiles dentro del casco urbano (Actualización PGIRS, 2015).

La contaminación por RCD alcanza grandes magnitudes en los componentes suelo, agua y aire, ya que aproximadamente 3.000 m3 anuales son depositados ilegalmente en cercanías a fuentes hídricas, vías públicas y vertederos incontrolados; además, la explotación de materias primas para la elaboración de nuevas colocaciones hace que el panorama sea cada vez más desalentador en cuanto a degradación ambiental. Por lo anterior, se hace imperativo brindar soluciones que favorezcan la renovación tanto del campo de la construcción como la sostenibilidad ambiental; por ello, se propone la evaluación de nuevas materias primas que cumplan con requisitos normativos vigentes, que su utilización sea económicamente mas viable y que de paso a la continuación de su ciclo de vida.

Este proyecto tiene una etapa de revisión del estado del arte, que permitió el desarrollo del marco de referencias y obtener datos para medir futuros resultados. La otra etapa de investigación fue experimental, con la cual se obtuvo los resultados correspondientes al primer objetivo específico formulado, asimismo, permitió exponer las conclusiones y dar respuesta a la pregunta de investigación, por ende, cumplir en cierta medida con el objetivo general.

Metodología

Recolección, transporte y disposición de muestras

La recolección de la muestra representativa de escombros fue tomada al azar, de la demolición de los antiguos Moteles Las Cabañas, ubicados en el kilómetro 3 vía Genoy. Se trasladaron dichas muestras hasta las instalaciones del Campus Deportivo Alvernia, y se los dispuso en el laboratorio de suelos correspondiente a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Mariana, para realizar los ensayos correspondientes.

Preparación de la muestra representativa

Se efectuó una separación manual de la muestra de escombros, eliminando residuos que no corresponden a agregados de concreto y ladrillo; además, para el EPS se realizó una limpieza superficial, con el fin de eliminar algunos residuos indeseables como polvo y partículas que se encontraran adheridas.



Figura 1. Separación de escombros en concreto y ladrillo.

Trituración de muestras concreto, ladrillo y EPS

Una vez realizada la limpieza pertinente a las muestras, se procede a disminuir el tamaño de los agregados, con el fin de homogeneizar los componentes del concreto y del ladrillo. Para la reducción de las muestras, se hizo necesaria la utilización de la Máquina de Los Ángeles, aplicando la norma INV E-218-07. Tras ejecutar este protocolo, el resultado fue una distribución de tamaños de partículas, obtenida a través de la aplicación de esta metodología.



Figura 2. Ingreso de material para trituración en máquina de los ángeles.

La reducción del EPS se logró mediante la invención de un sistema, que utiliza una malla de alambre, la cual sirve como rallador para este tipo de material. Según la empresa ICOFORMAS (2016), los diámetros de las perlas de EPS tienden a variar dependiendo el uso final que se les otorgue, van desde 0,2 mm hasta los 3 mm. Para este caso se recolecto una muestra de EPS que contiene perlas de aproximadamente 2 mm, por ello, los diámetros resultantes de la ralladura se encuentran en un rango de 2 mm a 0,5 mm.



Figura 3. EPS reducido en rallador artesanal.

Identificación de las características de los agregados (concreto y ladrillo)

La identificación de las características de los agregados se realizó con el fin de conocer sus propiedades y evaluar su nivel de calidad basado en la normatividad que los rige, el concreto y ladrillo fueron sometidos a diferentes ensayos de laboratorio según las normas INVIAS y NTC. Para el caso del EPS no se desarrolló ninguna prueba, puesto que este material no se lo maneja como un agregado en el transcurso de la investigación, solo se evaluará su utilidad, cuando se desarrollen pruebas finales a los diseños de mezcla.

Análisis granulométrico

Se realizó la gradación de los agregados con la utilización de siete tamices recomendados por la NTC 174, donde se obtiene la cantidad en porcentaje de material que pasa por cada tamiz (ver Tablas 1 y 2), para así evaluar su relación con dicha norma. Con los resultados arrojados en este ensayo, se determinaron las distribuciones granulométricas y la posterior realización de las curvas correspondientes a cada material.

Módulo de finura

Es un índice que sirve para clasificar los agregados pétreos en función de su granulometría. Se calculó este módulo de finura para agregados finos, sumando los porcentajes acumulados en peso de los agregados retenidos en una serie especificada de tamices y dividiendo la suma entre 100. Los tamices que se utilizaron para determinar este parámetro son: 3/8´´ (9,5 mm), N° 4 (4,75 mm), N° 8 (2,36 mm), N° 16 (1,18 mm), N° 30 (0,6 mm), N° 50 (0,3 mm), N° 100 (0,15 mm) (INV E-213-07, 2007).

Densidad aparente

Para la calcular la densidad aparente se saturó la muestra de agregados finos durante 24 horas, se retiró la muestra del agua y se secó esparciendo sobre una superficie lisa y no absorbente, posteriormente, se sometió a una corriente de aire caliente. Para agilizar y homogeneizar el secado, se manipuló periódicamente la muestra, se continuó con este procedimiento hasta obtener una condición saturada superficialmente seca, que se puede verificar con la prueba del cono.

Determinación de peso volumétrico seco

La determinación de este parámetro hace referencia al volumen que es ocupado por los agregados y los vacíos entre las partículas de agregado, se tomó un recipiente cilíndrico de capacidad de 5 kg aproximadamente, y se registró su peso inicial, luego, empleando un cucharón se tomó el material y se dejó caer dentro del recipiente desde una altura de 5 cm hasta que se lleno, evitando que el material se reacomode por movimientos indebidos, después se procedió a nivelar, utilizando una regla de 30 cm y se pesa nuevamente el recipiente más la muestra (INV. E-217-07, 2007).

Determinación de porcentaje de absorción

La determinación de este porcentaje se desarrolló en conjunto con el ensayo de densidad aparente, tomando una muestra en estado saturado superficialmente seca, después vertiendo el contenido en un recipiente que se introdujo al horno durante 24 horas a temperatura constante de 105 °C. Por último, se retiró la muestra seca y se pesó (INV E-222-07, 2007).

Determinación de materia orgánica por colorimetría

Con este ensayo se determinó aproximadamente la presencia de materia orgánica en cada uno de los agregados, se tomó la muestra dentro de una botella de vidrio incoloro hasta completar 130 ml, se añadió una solución de hidróxido de sodio hasta que el volumen total de arena y líquido, después de agitado, sea aproximadamente igual a 200 ml. Se cerró el frasco, se agitó vigorosamente y se dejó reposar por 24 horas.

Resultados, Análisis y Discusión

En este espacio se presenta y discute los resultados obtenidos de la identificación de las características que deben tener los agregados (concreto y ladrillo) a utilizar en la fabricación de placas planas.

Granulometría de los agregados: La distribución granulométrica obtenida en el presente ensayo de laboratorio se desarrolló mediante la aplicación de la norma NTC 174 de 2000 (Especificaciones de los agregados para concreto) para agregado fino. Los resultados obtenidos se emplearán para determinar el cumplimiento de las especificaciones que son necesarias para la dosificación de mezclas que contengan agregados, en este caso ladrillo y concreto.

Tabla 1. *Granulometría del ladrillo*

Tamiz N°	Tamiz (mm)	Peso reto. (gr)	Peso reto. Acumuló. (gr).	% Retenido.	% Retenido.Acumul.	% Pasante	NTC 174 Límite inferior.	NTC 174 Límite superior
3/8´´	9,5	0	0	0	0	100	100	100
N° 4	4,75	19	19	3,8	3,8	96,2	95	100
N° 8	2,36	69	88	13,8	17,6	82,4	80	100
N° 16	1,18	89	177	17,8	35,4	64,6	50	85
N° 30	0,6	92	269	18,4	53,8	42,2	25	60
N° 50	0,3	88	357	17,6	71,4	28,6	10	30
N° 100	0,15	90	447	18	89,4	10,6	2	10
Fondo	--	53	500	10,6	100	X	X	X

Tabla 2. *Granulometría concreto*

Tamiz N°	Tamiz (mm)	Peso reto. (gr)	Peso reto. Acumuló. (gr).	% Retenido.	% Retenido. Acumuló.	% Pasante.	NTC 174 Límite inferior.	NTC 174 Límite superior.
3/8´´	9,5	0	0	0	0	100	100	100
N° 4	4,75	16	16	3,2	3,2	96,8	95	100
N° 8	2,36	60	76	12	15,2	84,8	80	100
N° 16	1,18	45	121	9	24,2	75,8	50	85
N° 30	0,6	75	196	15	39,2	60,8	25	60
N° 50	0,3	140	336	28	67,2	32,8	10	30
N° 100	0,15	130	466	26	93,2	6,8	2	10
Fondo	--	34	500	6,8	100	X	X	X

Los porcentajes retenidos de muestra en la granulometría desarrollada para el ladrillo y el concreto se encuentran entre los rangos de 0-18 % y 0 -28 % respectivamente, según la NTC 174 del 2000, se recomienda para que la mezcla sea manejable, cohesiva y presente un buen acabado, que más del 15 % del material debe pasar el tamiz N° 50, y más de 4 % por el tamiz N° 100.

En este caso, para el ladrillo, los tamices N° 50 y N° 100 tienen un valor de 17,6 % y 18 % de material retenido, y para el concreto 28 % y 26% respectivamente. Los materiales reciclados se encuentran ajustados a los requerimientos que exige la norma NTC 174 del 2000, en cuanto a la distribución de las partículas.

En las Figuras 4 y 5, se aprecia las curvas de distribución granulométricas para los agregados finos, ladrillo y concreto respectivamente.

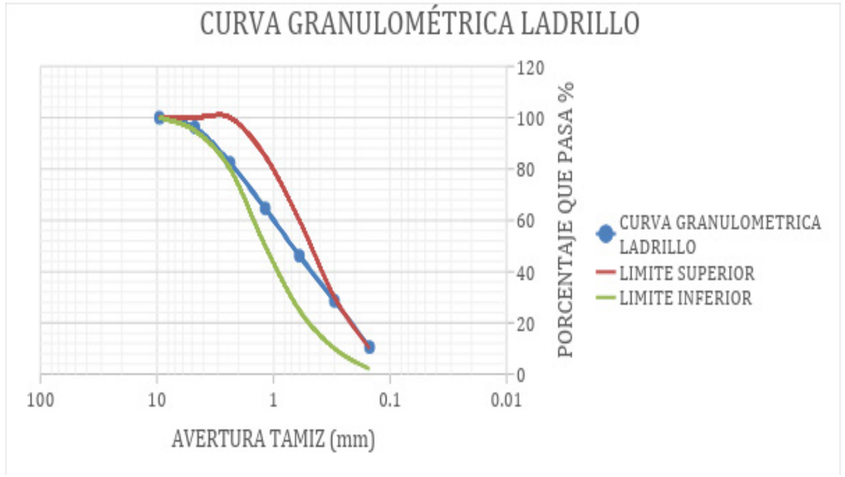


Figura 4. Curva granulométrica para ladrillo comparado con NTC 174 de 2000.

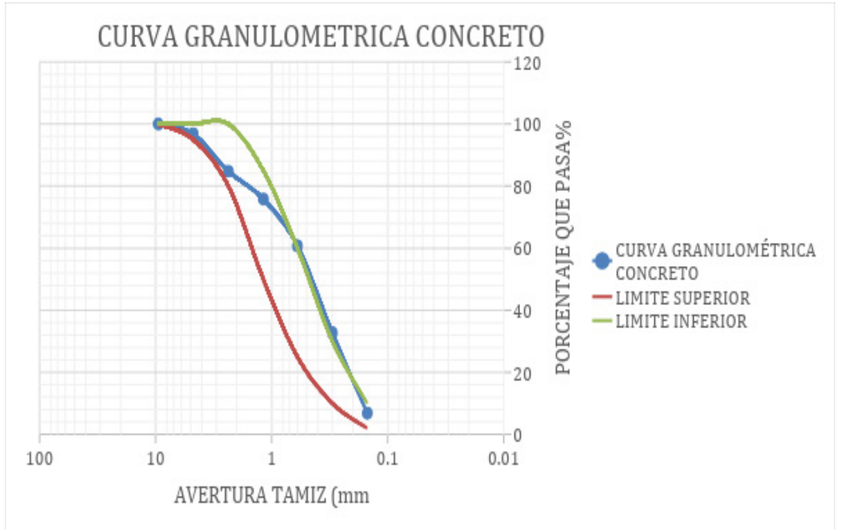


Figura 5. Curva granulométrica para concreto comparado con NTC 174 de 2000.

Los materiales de origen reciclado, necesarios para el desarrollo de la presente investigación, resultaron ser muy heterogéneos entre sí, por consiguiente y para los fines requeridos de homogeneidad de los agregados, se hizo necesario la utilización de un artefacto que cumpliera la función de trituradora, tal como se lo expresó en el diseño metodológico, por ello, se observa que en la granulometría del concreto existe un desfase en el tamiz N° 50, donde la norma NTC 174 de 2000 plantea unos rangos que van de 10 a 30 en el porcentaje de agregados que pasan por dicha malla, no obstante el porcentaje de material que pasa es de 32,8 %.

Sin embargo, según Rivera (2012), al catalogarse a estos materiales en el rango de agregados finos, puesto que pasan cien por ciento por el tamiz 9,5 mm (⅜") y casi totalmente por el de 4.75 mm (N° 4), se clasifican, según el tamaño de su partícula, como materiales aptos para su uso como agregado de mezclas de concreto o mortero, justificando así que el desfase mencionado anteriormente no es un determinante para asumir que los materiales

reciclados no servirán para realizar el diseño de mezcla del objetivo específico numero dos, además, según ASOCEM (Asociación de Productores de Cemento de Lima-Perú), no existe una granulometría óptima en cuanto su comportamiento, es función de su propia forma y textura, del contenido del cemento, del tamaño máximo del agregado grueso y del método de puesta en obra del concreto.

Módulo de finura: Las determinaciones de los módulos de finura arrojaron resultados para el ladrillo y concreto de 2.626 y 2.455 respectivamente; según la NTC 174 de 2000, estos valores, correspondientes a agregado fino, no deben ser menores de 2.3 ni mayores a 3, indicando que estos materiales se encuentran dentro del rango admisible por la norma.

El desarrollo del módulo de finura permitió estimar que, tan fino o grueso, resultó ser el material reciclado y triturado. Rivera (2012), propone una tabla de clasificación de agregado fino, de acuerdo con el valor del módulo de finura, donde se observa que para el ladrillo el rango comprendido es de 2,60-2,90, catalogándolo como un agregado fino mediano, para el concreto el rango se encuentra en 2,30 -2,60, siendo este un agregado fino ligeramente fino.

Según ASOCEM (1995), se estima que las arenas o agregados comprendidos entre los módulos 2.2 a 2.8, producen concretos de buena trabajabilidad y reducida segregación, y que las que se encuentran entre 2.8 y 3.2 son las más favorables para los concretos de alta resistencia. También, para el desarrollo de obras en que se requiere buena textura superficial, como son los revestimientos, se recomienda que el agregado tenga un contenido de finos superior al 15 % que pasa la malla 50.

Densidad aparente: El cálculo de la densidad aparente para los agregados finos arrojó resultados de 2,4 g/cm^3 para el ladrillo y 2,3 g/cm^3 para el concreto.

> Con este parámetro se puede determinar la cantidad en peso de agregado requerida para un volumen unitario de concreto, puesto que los poros interiores de las partículas de agregado van a ocupar un volumen dentro de la masa de concreto y porque el agua que se aloja dentro de los poros saturables no hacen parte del agua de mezclado. (Parra y Sánchez, 2010, p. 70).

La densidad aparente en este caso hace referencia a la muestra de agregado saturada superficialmente seca, por ende, para el diseño de mezcla, las masas que se calculen del agregado serán masas saturadas. Rivera (2012), afirma que la densidad aparente no es una medida de calidad del agregado, sin embargo, las densidades bajas indican estructura porosa, que conlleva a un mayor desgaste y mayor absorción de agua. Por lo general, los agregados de masa normal poseen una densidad que varía entre 2,3 y 2,8 g/cm^3.

Los resultados se deben en su mayoría a la procedencia de los materiales como el concreto, puesto que, al ser un material producto de una demolición, se desconoce los elementos primos con el cual fue construido, sin embargo, el hecho de que las dos densidades de los materiales objeto de estudio sean tan similares, aporta una gran ventaja al momento de realizar el diseño de mezcla, ya que se tendrá una mayor certeza respecto a la cantidad de agua, cemento y aditivos que se incorporan.

Peso volumétrico: El peso volumétrico calculado de los agregados ladrillo y concreto, hace referencia al volumen ocupado por los agregados y por los vacíos entre sus partículas, este peso varía de 1.200 a 1.750 kg/m^3 (Hernández y Potoy, 2016). Los valores obtenidos para los agregados objeto de estudio corresponden a 1012,179 kg/m3 y 1440,171 kg/m3 respectivamente, ajustándose a los requerimientos para la realización de mezclas de concreto.

El peso volumétrico suelto o también llamado masas unitarias sueltas es el que se encuentra en estado suelto, por consiguiente, el volumen de vacío es mayor y su masa unitaria tiende a ser menor. Esta propiedad se usa para obtener proporciones adecuadas de diseño de mezcla y conocer el consumo del agregado por m^3.

Porcentaje de absorción: El porcentaje de absorción es el incremento en la masa del agregado, debido al agua en los poros del material, pero sin incluir la que se encuentra adherida a la superficie exterior de las partículas, se la expresa como porcentaje de la masa seca. Para el presente caso se obtuvieron resultados para el ladrillo de un 2,88 % y para el concreto de 2,70 %.

La condición de humedad en que se desarrolló el ensayo fue saturada superficialmente seca, indicando que todos los poros permeables se encuentran llenos de agua y el material esta seco en la superficie. Rivera (2012) afirma que, dependiendo de las condiciones de humedad que tenga el agregado, puede quitar o aportar agua a la mezcla, si la humedad del agregado es mayor que la absorción, en este caso se adicionaría agua, por el contrario, si la humedad es baja, se quitaría agua a la mezcla. Para dar solución a cualquiera de estos casos, el autor propone hacer las correcciones necesarias para garantizar que el diseño de mezcla no se vea afectado por esta propiedad.

Al obtener estos porcentajes de absorción, Rivera (2012) indica que los agregados finos tienen la peculiaridad de aumentar su volumen en estado húmedo, esta humedad superficial mantiene separadas las partículas produciendo un aumento del volumen total, llamado también “hinchamiento o expansión del agregado fino”, por ende, se puede esperar este comportamiento en el díselo de mezcla.

La expansión según Gutiérrez (2013), no debe exceder el 40 % para agregados finos, siempre y cuando se encuentre entre los rangos de 4-8 %. Para la presente investigación, por la naturaleza de los agregados podría existir una expansión al momento de humedecimiento en la etapa de mezcla, por ende, se infiere que en el momento de realizar las dosificaciones pertinentes se puede incurrir en la disminución del porcentaje de agregado que se haya calculado; sin embargo, esto no es impedimento para la realización de los diseños de mezcla.

Determinación de materia orgánica por colorimetría: El objetivo del desarrollo de este ensayo es determinar si en los agregados recolectados se encontraron impurezas de tipo orgánico, puesto que, al encontrarse mezclados con diferentes materiales, pueden alterar o perjudicar el desarrollo consecuente de la resistencia de la mezcla que se pretende realizar.

Para el ladrillo se observó que, según la escala de color de Gardner, se encuentra en el numeral 1, y el concreto en el numeral 3 o color estándar. Esto indican que no existe contaminación o impurezas en las muestras objeto de estudio, ni variación en el estado de degradación de los materiales. Según los ensayos realizados en este capítulo, se puede observar que los agregados cumplen con los requerimientos estipulados en el diseño de marco metodológico, puesto que los resultados indican que, los materiales utilizados para la fabricación de placas planas son viables técnicamente de acuerdo a su granulometría, densidad, peso volumétrico, módulos de finura, porcentaje de absorción y colorimetría. Con estos datos favorables se espera la realización del diseño de mezcla óptimo, que cumplirá con las resistencias y características establecidas en la norma NTC 4373.

Tabla 3. *Síntesis de resultados objetivo específico No. 1*

Parámetro	Resultado ladrillo	Resultado concreto	Unidades
Módulo de finura	2,626	2,455	X
Densidad aparente	2,338	2,273	g/cm3
Peso volumétrico seco	1012,179	1440,171	Kg/m3
Porcentaje de Absorción	2,88	2,70	%
Determinación de MO por colorimetría	Numeral 1	Numeral 3	Escala de Gardner

Conclusiones

El comportamiento de los materiales ensayados en el laboratorio arrojó resultados favorables en cuanto a las necesidades que exige un diseño de mezcla o mortero, además, se ajustan en su mayoría a los requerimientos de las normas empleadas en esta investigación.

Los materiales reciclados evaluados pueden servir como agregados de una mezcla de concreto para la fabricación de placas planas en cuanto a las especificaciones que deben tener los agregados para la realización de mezclas de concreto, ya que se acercan a los rangos establecidos por la norma NTC 174 del 2000.

La reducción del poliestireno expandido por medio del prototipo artesanal contó con diámetros máximos de 4,75 mm y mínimos de 0.15 mm,

catalogándolo como un material adicional que se puede incluir en la mezcla final, no obstante, gracias a sus propiedades de densidad ligera, puede aportar características propias al diseño de mezcla.

Referencias

Hernández, W. y Potoy, J. (2016). *Análisis de la calidad del banco de agregado fino Sinacapa en el Municipio de Altagracia para la elaboración de concreto* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, Nicaragua. Recuperado de http://repositorio.unan.edu.ni/2338/1/73827.pdf

Instituto Nacional de Vías. (2007). I.N.V. E-218-7. Resistencia al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1½") por medio de la máquina de los ángeles. Recuperado de ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-218-07.pdf

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC. (1997). NTC 4373. Ingeniería civil y arquitectura. Placas planas de fibro-cemento. Recuperado de https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC4373.pdf

-----. (2000). NTC 174 Concretos. Especificaciones de los agregados para concreto. Recuperado de http://zonanet.zonafrancabogota.com/www/resources/norma%20NTC%20174%20de%202000.pdf

Instituto Nacional de Vías. (2007). I.N.V. E-213-07 Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos. Recuperado de ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-213-07.pdf

Instituto Nacional de Vías. (2007). INV. E-217-07. Densidad Bulk (peso unitario) y porcentaje de vacíos de los agregados compactos o sueltos. Recuperado de ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-217-07.pdf

Instituto Nacional de Vías. (2007). I.N.V. E-222-07. Gravedad específica y absorción de agregados finos. Recuperado de ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-222-07.pdf

Parra, L. y Sánchez, D. (2010). *Análisis de la valorización de escorias negras como material agregado para concreto en el marco de la gestión ambiental de la Siderúrgica Diaco. municipio Tuta Boyacá* (tesis de pregrado). Universidad de la Salle, Bogotá, Recuperdo de http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/15030/T41.10%20P247a.pdf?sequence=1

Sistemas de suministro de agua en el sector rural. Una revisión del Estado del arte

Paola Andrea Ortega Guerrero[164]
Sandra Milena Madroñero Palacios[165]

Resumen

Dadas las características propias del territorio rural, los sistemas de suministro de agua en estos sectores presentan notables diferencias con respecto a los sistemas urbanos, no solo desde el punto de vista técnico, sino también desde el enfoque administrativo. En Colombia, el suministro de agua en este sector, se realiza a través de los acueductos comunitarios, los cuales proveen agua a los pobladores del sector rural, mediante las organizaciones comunitarias. De acuerdo con lo anterior, en el presente artículo se realiza una revisión bibliográfica, que tiene como objetivo establecer las principales características de los sistemas de abastecimiento en el sector rural, teniendo en cuenta los factores que afectan la sostenibilidad de los mismos. Para la obtención de la información se aplicó una metodología para la búsqueda, organización y análisis, principalmente de bases de datos como Science Direct, Redalyc y Scielo, entre otras. Los principales hallazgos encontrados en la literatura están referidos a la complejidad de la sostenibilidad de este tipo de sistemas de abastecimiento, debido en gran medida al bajo apoyo institucional y a la debilidad presupuestal para poder suplir los gastos de operación y funcionamiento.

[164] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: portega@umariana.edu.co

[165] Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: smadronero@umariana.edu.co

Palabras clave: acueductos comunitarios, gestión comunitaria del agua, sector rural, suministro de agua.

Water supply systems in the rural sector. A review of the state of the art

Abstract

Given the characteristics of the rural territory, the water supply systems in these sectors, show notable differences with respect to urban systems, not only from the technical point of view, but also from the administrative approach. In Colombia, water supply in this sector is carried out through community aqueducts, which provide water in the rural sector, through community organizations. In accordance with the above, in this article a bibliographic review is done, which aims to establish the main characteristics of the supply systems in the rural sector, taking into account the factors that affect their sustainability. To obtain the information, a methodology for search, organization and analysis was applied, mainly from databases such as Science Direct, Redalyc and Scielo, among others. The main discoveries found in the literature are related to the complexity of the sustainability of this type of supply systems, due to the large extent, low institutional support and budget weakness, for the power of operating and operating expenses and costs.

Key words: community aqueducts, community water management, rural sector, water supply.

Sistemas de abastecimento de água no setor rural. Uma revisão do estado da arte

Dadas as características próprias do território rural, os sistemas de abastecimento de água em estos sectores, presentan differenças marcantes con respecto aos urbanos, no solo desde o ponto de vista técnico, sino também desde o enfoque administrativo. Na Colômbia, o abastecimento de água neste setor é realizado por meio de aquedutos comunitários, que fornecem água no setor rural, por meio de organizações comunitárias. De acordo com o exposto, neste artigo é realizada uma revisão bibliográfica, que visa estabelecer as principais características dos sistemas de abastecimento no setor rural, levando em consideração os fatores que afetam sua sustentabilidade. Para obter as informações, foi aplicada uma metodologia de busca, organização e análise, principalmente de bancos de dados como Science Direct, Redalyc e Scielo, entre outros. As principais descobertas encontradas na literatura estão relacionadas à complexidade da sustentabilidade desse tipo de sistema de suprimentos, devido, em grande parte, ao baixo apoio institucional e à fraqueza orçamentária, para suprir as despesas e custos operacionais e de funcionamento.

Palavras-chave: aquedutos comunitários, gestão comunitária da água, setor rural, abastecimento de água.

Introducción

"El agua es un elemento estratégico para el desarrollo del ser humano y de los demás seres vivos, para los asentamientos humanos y para las actividades económicas" (Díaz-Pulido et al., 2009, p. 89). En general, el agua es fundamental para el surgimiento y preservación de la vida y, por ende, es un componente esencial en las interacciones que se llevan a cabo en el ambiente. En este sentido, dentro de las múltiples aplicaciones relacionadas con el agua, el uso para consumo humano es uno de más importantes, ya que este influye directamente sobre factores como el desarrollo social de las ciudades (Díaz et al., 2009), la pobreza (Domínguez, 2010) y la salud humana (Tello, 2006). Actualmente, la provisión de agua segura es un componente crucial para erradicar la pobreza del mundo y mejorar la salud pública (Kativhu, Mazvimavi, Tevera & Nhapi, 2017), según uno de los Objetivos de Desarrollo del Milenio, el cual tiene como fin reducir para el año 2015 a la mitad la proporción de personas sin acceso sostenible al agua potable y al saneamiento básico (Marín y Sánchez, 2007), respecto a lo cual Kativhu et al. (2017) mencionan que globalmente esta meta no se ha cumplido y que aún quedan países que se quedan atrás en lo que concierne a esta temática.

Para el caso específico de Colombia, Carrasco (2016) reporta que existe un desequilibrio marcado entre el sector urbano y rural, en cuanto a cobertura y a calidad del agua, teniendo en cuenta que, por ejemplo, para el año 2012, la cobertura en el sector urbano presentó una diferencia de 24 puntos porcentuales por encima de la cobertura en el sector rural y en cuanto a calidad del agua, mientras que en el área urbana el Índice de Riesgo de Calidad del Agua (IRCA) promedio en 2012 fue del 13,2 %, correspondiente a nivel de riesgo bajo, en el área rural este valor alcanzó el 49,8 %, es decir, en nivel de riesgo alto. Algunos autores como Carrasco, (2011), atribuyen esta disparidad en cuanto a cobertura y calidad de agua en el sector rural y urbano a las características propias del sector rural, tales como: dispersión de las viviendas, limitaciones geográficas para el acceso, bajo nivel socioeconómico de los habitantes y dificultades para el ofrecimiento de asistencia técnica.

En este sentido, el suministro de agua potable en condiciones de calidad, continuidad y cobertura en el área rural ha sido deficiente y a pesar de que se han implementado tratamientos para proveer agua segura a la población, estas no han sido sostenibles y/o han sido dejadas de operar, lo cual genera persistencia de necesidades básicas insatisfechas y pérdida de dinero por la inversión de este tipo de proyectos.

Teniendo en cuenta el panorama planteado, este artículo de revisión pretende recoger las características principales de los sistemas de suministro de agua en el sector rural, incorporando aspectos relacionados con su organización, administración, tratamientos empleados y los factores que afectan su sostenibilidad, con el fin de crear un referente sobre los aspectos fundamentales que inciden en la operación eficiente de este tipo de sistemas a lo largo del tiempo.

Metodología

Para la realización de este artículo de revisión, se aplicó una metodología para búsqueda, organización y análisis de la documentación en cualquier campo de investigación, propuesta por Gómez-Luna, Fernando-Navajas, Aponte-Mayor y Betancourt-Buitrago (2014), la cual facilita la adquisición de la información disponible y la identificación de los principales autores, el número de publicaciones por año, las principales áreas de trabajo y las tendencias futuras de un tema propuesto. Esta metodología se encuentra organizada en cuatro fases, a saber: definición del problema, búsqueda de la información, organización de la información y análisis de la información para la obtención de conclusiones. Una vez definido el problema de investigación, se consultaron diferentes fuentes de información, entre ellas: libros, artículos científicos, obtenidos en bases de datos, tales como: *Science Direct (www.sciencedirect.com), Redalyc (www.redalyc.org) y Scielo (www. scielo. conicyt.cl), Ebook Central (https://ebookcentral.proquest.com)*, documentos institucionales, tesis de maestría y/o doctorado. La búsqueda de la información en estas fuentes se llevó a cabo empleando palabras clave relacionadas con el problema de investigación, y la depuración de la información se realizó a través de la lectura de los resúmenes u objetivos de los documentos encontrados. De igual forma, cabe resaltar que se priorizaron las fuentes bibliográficas que no sobrepararan mas de diez años de su publicación.

Principales características de los sistemas de suministro de agua en el sector rural

Antes de establecer las principales características de los sistemas de acueducto del sector rural en Colombia, se presentarán algunas definiciones de lo que se considera sector rural, teniendo en cuenta que existen diferentes visiones desde lo geográfico, demográfico, cultural y político (Rodríguez y Benavides, 2016), asimismo, se presentarán algunos antecedentes sobre las organizaciones comunales prestadoras de los servicios de agua para consumo humano y se describirán las generalidades de los componentes administrativo, técnico y económico de estos sistemas.

Según Dirven et al. (2011), un territorio es rural cuando el proceso histórico de construcción social que lo define se sustenta principalmente por los recursos naturales y mantiene esta dependencia estructural de articulación. Así también, su base económica se estructura alrededor de la oferta ambiental. Por otro lado, Ceña (1993), citado por Farah y Pérez (2004), define el medio rural como una entidad socioeconómica y un espacio geográfico, compuesto por un territorio, una población, un conjunto de asentamientos y un conjunto de instituciones públicas y privadas. Por lo anterior, se puede definir territorio rural como un conjunto de regiones o zonas en las que se asientan pueblos, aldeas, pequeñas ciudades y centros regionales, espacios naturales y cultivados, en donde se desarrolla una gran diversidad de actividades, como la agricultura, la industria pequeña y mediana, el comercio, los servicios, la ganadería, la pesca, la minería, el turismo y la extracción de recursos naturales.

En contraste con lo mencionado, Carrasco (2011) propone una caracterización cualitativa de la zona rural, la cual tiene en cuenta aspectos jurídico-administrativos y las actividades económicas desarrolladas en la zona y una caracterización cuantitativa, la cual analiza variables como la distribución espacial y la densidad poblacional. Según este referente, la forma cuantitativa de caracterización de los territorios rurales busca la homogenización de los conceptos, y los divide en dos grandes grupos, la zona rural dispersa que tiene menor nivel de densidad poblacional y zona rural nucleada que tiene mayor poblamiento.

Esta clasificación es fundamental a la hora de seleccionar la alternativa más adecuada para suministro de agua para el consumo humano a la población, debido a que las poblaciones rurales dispersas tienden a desarrollar soluciones individuales para abastecerse de agua y en poblaciones rurales nucleadas, el acceso al agua potable se realiza a través de soluciones individuales y colectivas. Específicamente, en poblaciones nucleadas con alta densidad poblacional se establecen, en algunos casos, acueductos veredales con distribución domiciliaria.

Una vez descritas algunas de las definiciones importantes para comprender el significado de lo que se considera sector rural, se expone a continuación otros aspectos relacionados con los sistemas de acueducto, teniendo en cuenta los elementos representativos a nivel administrativo y

técnico, estableciendo al final, los factores reportados en la literatura que afectan la sostenibilidad de este tipo de sistemas.

Componente Administrativo

Con respecto al componente administrativo, es de interés mencionar como están organizados los sistemas de acueducto en este sector y establecer, a nivel general, sus lineamientos estratégicos de operación. Según Ballestero (2013), la provisión de los servicios de agua a la población se puede dar a partir de tres modelos: a. Jerárquicamente desde el Estado, ya sea de forma centralizada o desde instancias regionales o locales; b. A partir de concesiones o privatizaciones que utilizan mecanismos de mercado (oferta, demanda, precio); c. Propiciando la participación plena o parcial de la sociedad civil en la construcción y administración de los sistemas.

Consistente con lo anterior, en Colombia, de acuerdo con la Comisión Reguladora de Agua - Departamento Nacional de Planeación y Públicos (1997), "los Servicios públicos podrán ser prestados por el Estado, directa o indirectamente, por comunidades organizadas, o por particulares. En todo caso el Estado mantendrá la regulación, el control y vigilancia de dichos servicios" (Ministerio de Minas y energía, 2019).

De la clasificación presentada, dentro del panorama rural de Colombia, la prestación del servicio de acueducto se realiza a partir de la gestión comunitaria, para lo cual Cadavid (2008), establece que:

> Este tipo de servicio, comunitario, descentralizado, sin ánimo de lucro, que utiliza recursos hídricos locales, es excelente ejemplo ilustrativo para el estudio de alternativas de desarrollo y administración de los recursos naturales y es promovido por numerosas agencias internacionales que lo consideran como una solución en pequeñas poblaciones y zonas suburbanas. (p. 6).

De igual forma, Correa (2006) define los acueductos comunitarios, como:

> Entidades complejas en sentido histórico, social, económico e institucional público, pues ante todo son construcciones populares en torno a la gestión del agua que hacen parte de los territorios sociales en veredas, resguardos indígenas, territorios de comunidades negras y barrios de las diferentes regiones y ciudades del país. (p. 11).

En cuanto a la operatividad, los acueductos comunitarios realizan una gestión comunitaria, que de acuerdo con Bernal, Rivas y Peña, (2014):

> Es una de las formas tradicionales de administración de los recursos naturales en comunidades indígenas y campesinas. (…). Los pequeños abastos comunitarios de agua o "*Small Community Water Supplies* (SCWS)", también llamados "acueductos comunitarios" en Colombia, o "Juntas de Agua" en Perú, u "Organizaciones Comunitarias de Servicios de Agua y Saneamiento (OCSAS)", son sistemas de abasto de agua para consumo humano construidos y operados por las propias comunidades, mediante una organización participativa y con una concepción colectiva de la propiedad. (…). En Colombia, más de 12,000 organizaciones [pequeñas que se encargan de llevar el agua a los hogares en las zonas rurales y periurbanas]. (p. 160).

Al respecto, "la gestión comunitaria es una alternativa de administración desde hace muchas décadas, sin embargo, solo en los años 90 este modelo fue legalmente reconocido y regulado a través del marco normativo del sector" (Smits et al., 2012, p. 17).

En concordancia con lo expuesto, "en Colombia, el municipio tiene la responsabilidad de asegurar la prestación del servicio, pero el prestador comunitario (o municipal, privado o mixto) es el responsable de las actividades de operación, mantenimiento y administración del servicio" (Smits et al., 2012, p. 7).

Estas organizaciones comunitarias para la prestación de los servicios de acueducto conforman los acueductos comunitarios o también denominados acueductos rurales (Moncada, Pérez y Valencia, 2013), que según el estudio realizado por Gallego Pinilla y Ramirez (2016), alcanzan a suplir el recurso hídrico para consumo humano y doméstico, a aproximadamente el 20 % de la población nacional.

Con referencia a lo descrito, Moncada et al. (2013), presentan una clasificación de los tipos de acueductos comunitarios, desde el enfoque administrativo, con la cual se especifica que las organizaciones comunitarias para la prestación del servicio, pueden establecerse bajo la figura de:

> Junta de acción comunal (JAC). Según el literal a) del Artículo 6 de la Ley 743 de 2002: La junta de acción comunal es una organización cívica, social y comunitaria de gestión social, sin ánimo de lucro, de naturaleza solidaria, con personería jurídica y patrimonio propio, integrada voluntariamente por los residentes de un lugar que aúnan esfuerzos y recursos para procurar un desarrollo integral, sostenible y sustentable con fundamento en el ejercicio de la democracia participativa.
>
> Junta administradora. Generalmente se deriva de las juntas de acción comunal, y se conforma de comunales que administran el acueducto sin ánimo de lucro.
>
> Asociación de usuarios. Surge de voluntad propia de personas naturales o jurídicas, con el objetivo de mejorar el bienestar de determinado grupo o comunidad. Se conforma para un periodo de tiempo determinado. Puede terminar por: pasados dos años, a partir de la fecha de reconocimiento de la personería jurídica, sin iniciar actividades; según los estatutos; por imposibilidad de cumplir sus fines, o cuando se cancele la personería jurídica. (p. 136)

Componente Técnico

En cuanto al componente técnico, Domínguez, Torres-López, Restrepo-Tarquino, Oviedo-Ocaña y Smout (2014) mencionan que:

> En países en desarrollo, los sistemas de abastecimiento de agua rurales, generalmente planeados para un propósito, se usan para actividades domésticas y productivas, que evidencian relaciones entre acceso al agua y medios de sustento. Estas relaciones han impulsado sistemas de usos múltiples del agua (MUS). (Resumen).

El recurso hídrico, que es empleado para usos múltiples es obtenido de microcuencas cercanas, a través de redes descentralizadas y normalmente este tipo de sistemas son administrados directamente por las comunidades (Cadavid, 2009), como se describió anteriormente.

En relación a los componentes de distribución del agua, los sistemas de abastecimiento de agua pueden ser por gravedad o por bombeo. Como lo establece Lossio (2012),

> En los sistemas de abastecimiento de agua por gravedad, el agua cae por acción de la fuerza de la gravedad desde una fuente elevada ubicada en cotas superiores a las de la población a beneficiar. (…), y en los sistemas de abastecimiento de agua por bombeo por bombeo "la fuente de agua se encuentra localizada en elevaciones inferiores a las poblaciones de consumo, siendo necesario transportar el agua mediante sistemas de bombeo a reservorios de almacenamiento y regulación ubicados en cotas superiores al centro poblado. (p. 19).

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) (2004), establecen que, para sectores con población rural dispersa, algunas de las soluciones recomendadas para el abastecimiento de agua son: pozo protegido, equipado con una bomba de mano; una estructura de captación de un manantial; o quizás un sistema de captación y almacenamiento de agua pluvial.

Adicional a la anterior clasificación, en el sector rural se emplean diferentes soluciones tecnológicas, dependiendo de que la población se encuentre en forma dispersa o nucleada. Dadas las características del sector rural, definidas anteriormente en este artículo, la distribución de agua por medio de tubería con conexiones domiciliarias, a menudo no es económicamente factible, por lo que es común encontrar soluciones individuales descentralizadas; sin embargo, existen poblaciones rurales con sistemas centralizados, los cuales tienen unidades operacionales de tipo convencional.

Existen varias tecnologías para el tratamiento del agua a nivel domiciliar que han sido usadas principalmente en los países en desarrollo por su facilidad de acceso, la simplicidad de su operación, el grado de aceptación por parte de la comunidad y su eficacia en la reducción del riesgo microbiológico (Mwabi et al., 2011). Entre las tecnologías más empleadas para el mejoramiento de la calidad microbiológica del agua para consumo humano se encuentran: ebullición del agua, desinfección solar, radiación ultravioleta (UV), desinfección solar combinada con ra-

diación UV, cloración y almacenamiento apropiado y sistemas combinados de coagulación-filtración y cloración. (Pérez, Díaz y González, 2014, p. 12).

Otra de las soluciones tecnológicas en el sector rural, principalmente con poblaciones nucleadas, es el tratamiento convencional, el cual consta normalmente de: bocatoma, desarenador, coagulación – floculación, sedimentación, filtración y desinfección (Arboleda, 2000), tal como lo demuestran Díaz, García y Solís (2000), en su estudio, en el cual se concluyó que el sistema de abastecimiento de agua potable conformado por un recolector de agua de lluvia acoplado a una planta potabilizadora convencional parece ser una solución técnica apropiada para dotar del vital líquido a pequeñas comunidades rurales (200 habitantes).

Factores que determinan la sostenibilidad de los sistemas de suministro de agua en el sector rural

Para establecer los factores que inciden en la sostenibilidad de los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano, es relevante revisar el concepto de sostenibilidad, según los referentes teóricos.

García, Gómez y Jiménez (2007) afirman que, el origen del concepto surge como respuesta a las múltiples problemáticas socio-ambientales existentes desde los años 40; sin embargo, es solo hasta el año de 1987 que el Informe Brundltand denominado también "Nuestro Futuro Común" define al desarrollo sostenible como aquel que satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las propias (Vargas-Alzate y Velázquez, 2014; Brundtland, 1987). Al respecto, López, López-Hernández y Ancona (2005), en su estudio analizan los objetivos críticos que deben ser considerados en una política de desarrollo, conforme lo establece el Informe, entre los que se mencionan:

> El revivir el crecimiento económico, cambiar cualitativamente el crecimiento, satisfacer las necesidades elementales de trabajo, alimentación, agua, energía y sanidad, asegurar un nivel sostenible de población, conservar y reforzar la base de recursos naturales y unir los aspectos económicos y ambientales en la toma de decisiones. (Gómez, s.f., p. 99).

Para esto, la sostenibilidad se basa en el mantenimiento de tres componentes fundamentales: el capital natural, el capital social y el capital económico, (Keller, 2012; Vergara y Ortiz, 2016), complementarios entre sí y necesarios en el logro de una verdadera sostenibilidad, no obstante, su conceptualización ha tenido diferentes visiones en virtud de los intereses existentes, de esta manera, cuando la finalidad primordial es potencializar el capital económico, se está hablando de sostenibilidad muy fuerte, según Machado, Suset y Cruz (2003), si el interés es el mantenimiento de los componentes ecosistémicos, sin considerar las necesidades humanas, se establece como sostenibilidad débil. Es por esto, que los dos enfoques se convierten en visiones parcializadas que no responden a las necesidades existentes en la relación sociedad-naturaleza.

Como respuesta a esta disyuntiva, surge un nuevo enfoque que busca dar la integralidad que se requiere en el abordaje de una problemática ambiental que posee causas y consecuencias sociales y económicas, es por esto que, los intereses establecidos por los anteriores enfoques son considerados en la sostenibilidad fuerte o sostenibilidad de los socio-ecosistemas (Gallopín, 2006) o también llamada resiliencia socio-ecológica (Escalera-Reyes y Ruiz-Ballesteros, 2011), la cual considera, según Challenger, Bocco, Equihua, Lazos y Maass (2014), la integración de un sistema social a un sistema ecológico, "formando un conjunto inseparable en el cual las relaciones reciprocas entre los componentes y subsistemas conducen a la evolución de los socio ecosistemas como un todo" (p. 2).

Por otro lado, a estos tipos de sostenibilidad, Vinasco (2006) adiciona la definición de sostenibilidad política, la cual implica la correlación proactiva de las actuaciones públicas de los agentes institucionales estatales, económicos, sociales y de diversos grupos de interés. Así mismo, Castro (citado por Andrade y Bermúdez, 2010), aborda el concepto de sostenibilidad ambiental, el cual tiene como ejes fundamentales la búsqueda de la capacidad de autorregulación y de relaciones de la ciudad con el entorno que garanticen el futuro.

No obstante, se hace importante mencionar que, a pesar que la sostenibilidad es una temática de gran relevancia que en la actualidad se ha convertido en un eje transversal a ser implementado en los diferentes componentes del desarrollo, autores como Montes (2007) analizan la credibilidad que dicho concepto posee, lo cual ha generado críticas que resaltan su ambigüedad, siendo esto discutido en *La Agenda 21*, que establece los vacíos conceptuales que no permiten vislumbrar la claridad teórica y práctica del concepto, como: ¿cuántas generaciones se podrán sostener?, ¿a qué nivel de calidad?, ¿durante cuánto tiempo?, ¿con qué beneficios? (Sandoval y Liévano, 2012). Dichas premisas han generado un desacuerdo profesional, principalmente en el momento de operativizar la idea del desarrollo sostenible, generando el debate sobre el ritmo de crecimiento actual de las naciones más desarrolladas económicamente y el predominio del desarrollo económico que hasta el momento ha tenido prelación (López et al., 2005).

Específicamente, Galvis y Vargas (2014con el consiguiente impacto en la salud y la calidad de vida de la poblaci\u00f3n en esta regi\u00f3n, donde la D\u00e9cada del Agua (1980 \u2013 1990) propone una definición de sostenibilidad aplicada a los sistemas de abastecimiento de agua, en donde menciona que un sistema de agua y saneamiento es sostenible cuando suministra el nivel deseado de servicio, con criterios de calidad y eficiencia económica y ambiental, el cual puede ser financiado o cofinanciado por sus usuarios, con un mínimo razonable de apoyo externo y de asistencia técnica, y que es usado de manera eficiente sin que cause un efecto negativo en el ambiente.

Por otro lado, IRC y WHO (citado por Brikké y Bredero, 2003), establece que un servicio de abastecimiento de agua es sostenible cuando: funciona correctamente y se usa, proporciona los servicios para los cuales fue planificado, incluyendo: entregar el agua en la cantidad y calidad requerida; proporcionando un acceso fácil al servicio; continuidad y confiabilidad; proporcionar beneficios de salud y económicos; en el caso de saneamiento, proporcionar condiciones de saneamiento adecuado.

En el mismo documento, se menciona que un sistema puede ser definido como sostenible, si este funciona durante un período prolongado de tiempo, de acuerdo con el ciclo de vida diseñado, la gestión del servicio involucra a la comunidad (o a la comunidad misma maneja el sistema), se adopta una perspectiva sensible a las cuestiones de género, establece asociaciones con las autoridades locales e involucra al sector privado según sea necesario, también cuando la operación del sistema mantenimiento, rehabilitación, reemplazo y costos administrativos están cubiertos a nivel local a través de tarifas a los usuarios o mediante una alternativa financiera sostenible mecanismos.

Otra definición relevante, parte de que los sistemas de abastecimiento son sostenibles cuando estos pueden ser operados y mantenidos a nivel local con una cantidad limitada, pero factible, soporte externo (por ejemplo, asistencia técnica, capacitación y monitoreo) y finalmente, un sistema sostenible no tiene efectos nocivos en el medio ambiente.

Con respecto a las tecnologías empleadas para la obtención de agua segura para el consumo, Morató, Subirana, Gris, Carneiro y Pastor (2006) definen a una tecnología sostenible cuando esta presenta "buen rendimiento en la degradación contaminantes, buena eliminación de microorganismos patógenos, simplicidad operacional y escaso mantenimiento, bajos costes de construcción y consumo energético, baja producción de residuos e impacto sonoro, y buena integración medioambiental" (p. 24).

Teniendo en cuenta que los sistemas de abastecimiento en el sector rural son operados principalmente por organizaciones comunitarias, es importante definir algunas problemáticas reconocidas en la literatura, debido a que estas hacen parte de los factores que determinan la sostenibilidad de los sistemas. En este orden de ideas, Aguilar (2011) identifica que algunas de las prácticas que limitan la Gestión Comunitaria en los pequeños sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento en Colombia son: la baja representatividad y participación de la comunidad en las fases del ciclo del proyecto, la desarticulación y fragmentación institucional para apoyar la gestión de los diferentes componentes de los servicios (financiero, administrativo, técnico, ambiental), la cual está bajo la responsabilidad de diversas dependencias, inadecuado marco legal y normativo para el pequeño municipio y la zona rural, falta de asistencia técnica y de apoyo continuado en el sector de abastecimiento de agua y saneamiento, ausencia de un ba-

lance equitativo de género, el papel de la mujer continua siendo relegado, especialmente cuando se refiere aspectos de tipo técnico y de toma de decisiones, baja escala de producción, baja disposición a pagar y el débil apoyo en los niveles locales para atender las demandas de la zona rural.

A nivel internacional, Peter y Nkambule (2012)but huge disparities exist. Some regions, particularly Sub-Saharan Africa are lagging behind it is also in this region where up to 30% of the rural schemes are not functional at any given time. There is need for more studies on factors affecting sustainability and necessary measures which when implemented will improve the sustainability of rural water schemes. The main objective of this study was to assess the main factors affecting the sustainability of rural water schemes in Swaziland using a Multi-Criteria Analysis Approach. The main factors considered were: financial, social, technical, environmental and institutional. The study was done in Lubombo region. Fifteen functional water schemes in 11 communities were studied. Data was collected using questionnaires, checklist and focused group discussion guide. A total of 174 heads of households were interviewed. Statistical Package for Social Sciences (SPSS concluyen que la sostenibilidad a largo plazo de los sistemas de abastecimiento de agua en el sector rural en Suazilandia- Sudáfrica, dependen principalmente de factores técnicos y sociales. Los factores financieros e institucionales, aunque sean necesarios fueron de menor importancia. Factores técnicos como mantener el flujo de diseño, tiempo de obtención del agua y funcionamiento del sistema, así como factores sociales y ambientales, que incluyen el estado de uso por la población, la equidad y la toma de decisiones frente a la operación y mantenimiento son cruciales en la sostenibilidad de los esquemas de agua rural.

Otro aspecto importante, consiste en mejorar la coordinación entre los gerentes de proyecto, el liderazgo local y beneficiarios del proyecto dentro de las comunidades y establecer mecanismos para hacer cumplir las reglas y regulaciones y salvaguardar el uso y la protección de los sistemas de agua. En relación a esto, Behnke et al. (2017), después de realizar un estudio en Ghana, Kenia y Zambia – África, fundamenta que la capacidad de un comité de agua para financiar la operación y el mantenimiento, reparar y mejorar los sistemas de agua, son factores fundamentales para la sostenibilidad de los sistemas rurales de suministro de agua y tiene implicaciones para la equidad, confiabilidad y acceso de los sistemas de agua.

Por su parte, Barde (2017) evidencia que, la participación del usuario en los proyectos de abastecimiento de agua es un factor fundamental en la sostenibilidad de los sistemas de abastecimiento de agua. Lo descrito, también es sustentado por Rojas, Zamora, Tamayo y García, 2011), quienes afirman que la participación y compromiso de las comunidades en las soluciones para mejorar sus condiciones de abastecimiento de agua y saneamiento son un factor de sostenibilidad para los proyectos.

En cuanto al componente financiero, la mayoría de los países crean mecanismos de recuperación de costos de operación y mantenimiento, a través de tarifas o aportes que recolectan las mismas comunidades, sin embargo, Ducci y Cotón (2014) establecen que estos recaudos son normalmente insuficientes, sobre todo cuando hay costos asociados a cloración y bombeo y, claramente, no han sido suficientes para constituir un fondo para reparaciones de mayor envergadura. En el mismo documento se menciona que esta es una causal importante del deterioro y abandono de los sistemas construidos.

Conclusiones

La provisión de agua en el sector rural se realiza a través de los acueductos comunitarios, los cuales han tenido esta función desde finales del siglo XIX. Estos sistemas son operados por la comunidad, a través de varias figuras administrativas, tales como: Juntas de Acción Comunal (JAC), Juntas Administradoras y Asociaciones de Usuarios.

Los sistemas de tratamiento para el mejoramiento de la calidad del agua en el sector rural deben contemplar las características del sector y de la población que habita en estos lugares. En general, los sistemas de tratamiento deben ser de baja complejidad de operación, no requerir personal especializado y con recambios de fácil acceso.

Uno de los factores determinantes en la sostenibilidad de los sistemas de acueducto rural, es el financiero, debido a que muchas veces los aportes realizados por la comunidad, por el uso del recurso, es insuficiente para cubrir los gastos de operación y mantenimiento del sistema.

La sostenibilidad de los sistemas de suministro de agua en el sector rural depende de la participación y compromiso de las comunidades en las soluciones para mejorar sus condiciones de abastecimiento de agua y saneamiento.

El modelo de organización comunitaria para la provisión de agua en los sectores rurales a nivel nacional e internacional es sostenible, en la medida que éste pueda financiar la operación y el mantenimiento de los sistemas de tratamiento y distribución del agua.

Un servicio de abastecimiento de agua es sostenible cuando funciona correctamente y se usa, proporciona los servicios para los cuales fue planificado, incluyendo, entregar el agua en la cantidad y calidad requerida. Además de lo anterior, un sistema de acueducto sostenible proporciona un acceso fácil al servicio, continuidad, confiabilidad y propende por beneficios sobre la salud de los usuarios.

Referencias

Aguilar, E. (2011). Gestión Comunitaria de los Servicios de Agua y Saneamiento: Su posible aplicación en México. Recuperado de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/26079/1/S2011150_es.pdf

Andrade, P. y Bermúdez, D. (2010). La sostenibilidad ambiental urbana en Colombia. *Bitacora, 17*(2), 73–93.

Arboleda, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua* (3.ª ed.). Bogotá: McGraw-Hill Interamericana.

Ballestero, M. (2013). Organizaciones comunales prestadoras del servicio de agua universalizan el acceso y disminuyen la pobreza. *Revista de Ciencias Ambientales, 45*(1), 23-40. doi: http://dx.doi.org/10.15359/rca.45-1.3

Barde, J. (2017). What Determines Access to Piped Water in Rural Areas? Evidence from Small-Scale Supply Systems in Rural Brazil. *World Development, 95*, 88–110. doi: 10.1016/j.worlddev.2017.02.012

Behnke, N., Klug, T., Cronk, R., Shields, K., Lee, K., Kelly, E., … Bartram, J. (2017). Resource mobilization for community-managed rural water systems: Evidence from Ghana, Kenya, and Zambia. *Journal of Cleaner Production, 156*(10), 437–444. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.04.016

Bernal, A., Rivas, L. y Peña, P. (2014). Propuesta de un modelo de cogestión para los Pequeños Abastos Comunitarios de Agua en Colombia. *Perfiles Latinoamericanos, 22*(43), 159–184.

Brikké, F. & Bredero, M. (2003). Linking technology choice with operation and maintenance in the context of community water supply and sanitation. Recuperado de http://www.who.int/entity/water_sanitation_health/hygiene/om/wsh9241562153.pdf

Brundtland, G. H. (1987). Informe de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y el Desarrollo: Nuestro futuro común. Recuperado de http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Informe+de+la+comision+mundial+sobre+el+medio+ambiente+y+el+desarrollo.+nuestro+futuro+comun#5

Cadavid, N. (2008). *Criterios de Sostenibilidad para Acueductos Comunitarios. Caso, Perifieria Urbana del municipio de Envigado* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

Cadavid, N. (2009). Acueductos comunitarios: patrimonio social y ambiental del Valle de Aburrá. *Avances en Recursos Hidráulicos, 20*, 57–64.

Carrasco, W. (2016). Estado del arte del agua y saneamiento rural en Colombia. *Revista de Ingeniería, 44*, 46–53.

Carrasco, W. C. (2011). Políticas públicas para la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento en las áreas rurales (documento de proyecto). Santiago de Chile: Naciones Unidas.

Challenger, A., Bocco, G., Equihua, M., Lazos y Maass, M. (2014). La aplicación del concepto del sistema socio-ecológico: alcances, posibilidades y limitaciones en la gestión ambiental de México. *Investigación Ambiental Ciencia Y Política Pública, 6*(2), 1–21.

Correa, H. (2006). Acueductos comunitarios, patrimonio público y movimientos sociales. Notas y preguntas hacia una caracterización social y política. Bogotá. Recuperado de http://www.corpenca.org/images/stories/documentos/acueductoscomunitariospatrimoniopublicomovimientossociales.pdf

Díaz, C., García, D. y Solís, C. (2000). Abastecimiento de agua potable para pequeñas comunidades rurales por medio de un sistema de colección de lluvia-planta potabilizadora. *Ciencia Ergo Sum, 7*(2), 129–134.

Díaz-Pulido, A., Chingaté-Hernández, N., Muñoz-Moreno, D., Olaya-González, W., Perilla-Castro, C., Sánchez-Ojeda, F. y Sánchez-González, K. (2009). *Desarrollo sostenible y el agua como derecho en Colombia. Estudios Socio-jurídicos, 11*(1), 84–116.

Dirven, M., Echeverri, R., Sabalain, C., Rodríguez, A., Candia, D. y Faiguenbaum, S. (2011). Hacia una nueva definición de "rural" con fines estadísticos en América Latina (documento de proyecto). Santiago de Chile: Naciones Unidas.

Domínguez, I., Torres-López, W., Restrepo-Tarquino, I., Oviedo-Ocaña, R. Smout, I. (2014). Medios de sustento como factor explicativo del consumo de agua en un sistema de abastecimiento rural para uso múltiple (de hecho) en Colombia. *Ingeniería y Universidad, 18*(1), 7–25.

Ducci, J. y Cotón, X. (2014). Marco sectorial para actuación del BID en agua potable y saneamiento rural (Nota Técnica IDB-TN-534. Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado de file:///D:/Marco-sectorial-para-actuaci%C3%B3n-del-BID-en-agua-potable-y-saneamiento-rural.pdf

Escalera-Reyes, J. y Ruiz-Ballesteros, E. (2011). Resiliencia socioecológica: Aportaciones y retos desde la antropología. *Revista de Antropología Social, 20*(1), 109–135. doi: 10.5209/rev_RASO.2011.v20.36264

Farah, M. y Pérez, E. (2004). Mujeres rurales y nueva ruralidad en Colombia. *Cuadernos de Desarrollo Rural, (51),* 137–160. Recuperado de file:///D:/1275-Texto%20del%20art%C3%ADculo-3945-1-10-20110428.pdf

Gallego, L., Pinilla, A. y Ramírez, H. (2016). Percepción del servicio de agua de los acueductos comunitarios de la comuna 13 de Ibagué. *Scientia et technica, 21*(4), 360-364. doi: http://dx.doi.org/10.22517/23447214.12391

Gallopín, G. (2006). Los Indicadores de Desarrollo Sustentable: Aspectos Conceptuales y Metodológicos. Seminario de Expertos Sobre Indicadores de Sostenibilidad en la Formulación y Seguimiento de Políticas. Santiago de Chile: FAO-Fodepal.

Galvis, A. y Vargas, V. (2014). Modelo de selección en el tratamiento de agua para consumo humano, Seltec. Seminario Internacional La Hidroinformación en la gestión integrada de los recursos hídricos, 234-242. Recuperado de http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/agua2003/seltec.pdf

García, M., Gómez, C. y Jiménez, C. (2007). La Gestion Comunitaria como una Alternativa en la Prestación de Servicios de Abastecimiento de Agua y Saneamiento (documento de discusión). Consejo Colaborativo de Agua y Saneamiento. CINARA, Universidad del Valle.

Gómez, C. (s.f.). El desarrollo sostenible: conceptos básicos, alcance y criterios para su evaluación. Recuperado de http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Havana/pdf/Cap3.pdf

Gómez-Luna, E., Fernando-Navajas, D., Aponte-Mayor, G. y Betancourt-Buitrago, L. (2014). Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización. *Dyna, 81*(184), 158–163. doi: 10.15446/dyna.v81n184.37066

Kativhu, T., Mazvimavi, D., Tevera, D. & Nhapi, I. (2017). Factors influencing sustainability of communally-managed water facilities in rural areas of Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 100*, 247-257. doi: 10.1016/j.pce.2017.04.009

Keller, I. (2012). Opciones Estratégicas de Desarrollo Organizacional Hacia la Sostenibilidad. *Visión de Futuro, 16*(1). Recuperado de http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=357935479006_2

López, C., López-Hernández, E. y Ancona, I. (2005). Desarrollo Sustentable o Sostenible: una definición conceptual. *Horizonte Sanitario, 4*(2). doi: 10.19136/hs.v4i2.294

Lossio, M. (2012). *Sistema de Abastecimiento de agua potable para cuatro poblados rurales del distrito de Lancones* (tesis de pregrado). Universidad de Piura, Piura. Recuperado de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2053/ICI_192.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Machado, H., Suset, A. y Cruz, R. (2003). Evaluación de la sostenibilidad socioeconómica y ambiental en un municipio rural a través de indicadores seleccionados. *Pastos y Forrajes, 1*(1), 1-12.

Marín, G. y Sánchez, E. (2007). El acceso al agua y al saneamiento y los Objetivos de Desarrollo del Milenio. *Temas para el debate, (157)*, 57–60. Recuperado de http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2481330&info=resumen

Ministerio de Minas y energías. (2019). Resolución No. 076 de 2019. Por la cual se determinan los servicios a ser prestados por el gestor del mercado de gas natural y su alcance. Recuperado de http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/8d46c04505de56c905258432005a3aee

Moncada, J. Pérez, C. y Valencia, G. (2013). Comunidades organizadas y el servicio público de agua potable en Colombia: una defensa de la tercera opción económica desde la teoría de recursos de uso común. *Ecos de Economía, 17*(37), 125–159.

Montes, C. (2007). Del desarrollo sostenible a los servicios de los ecosistemas. *Revista Ecosistemas, 16*(3), 1–3. doi: 10.7818/RE.2014.16-3.00

Morató, J., Subirana, A., Gris, A., Carneiro, A. y Pastor, R. (2006). Tecnologías sostenibles para la potabilización y el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de Investigación, 3*(1), 19–29.

Pérez, A., Díaz, J. y González, G. (2014). Estudio comparativo de dos sistemas de filtración casera para el tratamiento de agua para consumo humano. *Ingenium, 8*(22), 11-20.

Peter, G. & Nkambule, S. (2012). Factors affecting sustainability of rural water schemes in Swaziland. *Physics and Chemistry of the Earth, 50–52*, 196–204. doi: 10.1016/j.pce.2012.09.011

Rodríguez, D. y Benavides, J. (2016). Salud y ruralidad en Colombia: análisis desde los determinantes sociales de la salud. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública, 34*(3), 359-371. doi: 10.17533/udea.rfnsp.v34n3a10

Rojas, J., Zamora, A., Tamayo, P. y García, M. (2011). Colombia: Abastecimiento de agua en zonas rurales; Experiencias en la prestación de servicios sostenibles. The Hague, the Netherlands: IRC International Water

Sandoval, J. y Liévano, J. (Comp.). (2012). Agenda 21. Colombia, 20 años siguiendo la Agenda 21. Dimensiones sociales y económicas. Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/asuntos-internacionales/pdf/colombia-20-a%C3%B1os-siguiendo-la-agenda-21/040512_balance_agenda_21.pdf

Smits, S., Tamayo, S., Ibarra, V., Rojas, J., Benavides, A. y Bey V. (2012). Gobernanza y sostenibilidad de los sistemas de agua potable y saneamiento rurales en Colombia. Banco Interamericano de Desarrollo.

Tello, L. (2 de noviembre de 2006). El acceso al agua potable: un derecho universal [Blog]. Recuperado de http://www.ecologistasenaccion.org/article6080.html

Vargas-Alzate, L. y Velázquez, J. (2014). El surgimiento de la política global ambiental. *Opera, 15*, 107-125.

Vergara, C. y Ortiz, D. (2016). Desarrollo sostenible: enfoques desde las ciencias económicas. *Apuntes CENES, 35*(62), 15–52. doi: 10.19053/22565779.4240

Vinasco, L. (2006). Sostenibilidad ecológica en interfases urbano rurales: caso interfase Iguaná-Pajarito. *Red Revista de Ingenierías Universidad de Medellín, 8*(5), 71-88.

Turismo para la paz: una alternativa de posdesarrollo para la comunidad rural de Monterrey en el municipio de Guadalajara de Buga

Natali Roldán Ramírez[166]
Juan Guillermo Popayán Hernández[167]

Resumen

La región del Valle del Cauca ha atravesado situaciones adversas generadas por el conflicto armado, que ha traído consecuencias negativas en los ámbitos sociales y económicos de la región. Gracias al cese bilateral de fuego, el gobierno nacional, desde las políticas del Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 'Todos por un nuevo país' el cual propende por la construcción de una sociedad en paz, educada y equitativa, ha ideado una serie de estrategias que involucran propuestas a nivel turístico, pretendiendo que las regiones más afectadas por la violencia aprovechen su potencial para generar actividades turísticas de manera sostenible, que generen empleo y recursos económicos. De esta manera, surge el interrogante: ¿Hasta qué punto, el turismo para la paz puede ser una alternativa al posdesarrollo en la comunidad de Monterrey?

Palabras clave: buen vivir, cosmovisión, desarrollo, economía, naturaleza, paisaje, paz, posdesarrollo, rural, turismo, violencia.

[166] Corporación Universitaria Minuto de Dios. Guadalajara de Buga, Valle del Cauca, Colombia. Correo electrónico: natali.roldan@uniminuto.edu

[167] Corporación Universitaria Minuto de Dios. Guadalajara de Buga, Valle del Cauca, Colombia. Correo electrónico: jpopayanher@uniminuto.edu.co

Tourism for peace: a post-development alternative for the rural community of Monterrey in the municipality of Guadalajara de Buga

Abstract

Valle del Cauca region has gone through adverse situations generated by the armed conflict, which has brought negative consequences in the social and economic spheres of the region. Thanks to the bilateral ceasefire, the national government has devised a series of strategies that involve proposals at the tourist level, claiming that the regions most affected by violence take advantage of their potential to generate tourism activities in a sustainable way, employment and economic resources. For this, it takes into account the policies of the National Development Plan 2014-2018 'All for a new country', which aims to build a society in peace, educated and equitable. In this order of ideas, the question arises: To what extent, tourism for peace can be an alternative to post-development in the community of Monterrey?

Key words: good living, cosmovision, development, economy, nature, landscape, peace, post-development, rural, tourism, violence.

Turismo para a paz: uma alternativa pós-desenvolvimento para a comunidade rural de Monterrey, no município de Guadalajara de Buga

Resumo

Graças ao cessar-fogo bilateral, o governo nacional elaborou uma série de estratégias que envolvem propostas no nível turístico, pretendendo que as regiões mais afetadas pela violência aproveitam seu potencial para gerar atividades turísticas de maneira sustentável, emprego e recursos econômicos. Para isso, leva em consideração as políticas do Plano Nacional de Desenvolvimento 2014-2018 'Todos por um novo país', que visa construir uma sociedade em paz, educada e eqüitativa. Nessa ordem de idéias, surge a pergunta: Até que ponto o turismo pela paz pode ser uma alternativa ao pós-desenvolvimento na comunidade de Monterrey?

Palavras-chave: boa vida, cosmovisão, desenvolvimento, economia, natureza, paisagem, paz, pós-desenvolvimento, rural, turismo, violência.

Introducción

El turismo un eje dinamizador de la economía colombiana

Durante los últimos años, el turismo se ha convertido en un desafío para Colombia, en el que se han planteado metas para lograr el crecimiento de divisas, permitiendo estar al mismo nivel de las exportaciones de los productos que conforman la economía nacional. En este sentido, la paz ha jugado un papel muy importante, debido a que los visitantes nacionales e internacionales sienten tranquilidad al desplazarse al interior del país. Por tal razón, hoy en día se habla del turismo para la paz, en el que se busca que esas regiones azotadas por la violencia formen parte del eslabón de la industria turística, proponiendo estrategias para incrementar el "desarrollo" y la economía local.

Si bien es cierto, a pesar de que el turismo es una industria sin chimenea, sus prácticas pueden traer consecuencias negativas, en este caso para el contexto rural, afectando las actividades primarias campesinas. Es decir, desplazar las propias actividades agrícolas para encaminarse a las turísticas, transformando la esencia de los espacios rurales con el fin de convertirlas en infraestructuras equipadas para ofrecer servicios turísticos, afectando nocivamente el equilibrio ambiental, cultural y social. Estos aspectos han desatado diversas polémicas frente al tema. Uno de ellos es la afirmación que hace la presidenta de ANATO (Asociación Colombiana de Agencias de Viajes y turismo) Paula Cortés que afirma que:

> Nuestros insumos son los recursos naturales, culturales y étnicos con el aliciente del panorama actual. En donde Colombia busca un turismo sostenible, legal y justo en los más altos estándares mundiales trabajando de la mano el Gobierno y el sector privado. (Agencia EFE, 2017).

Por consiguiente, si las actividades turísticas "se realizan de manera responsable y controlada", el turismo puede ser una alternativa para encajar la economía con la naturaleza. Sin embargo, la realidad es otra, debido a que Colombia aún no cuenta con políticas claras para los derechos de la naturaleza y tampoco con beneficios reales para las comunidades afrodescendientes, indígenas y campesinas que han sido víctimas de la violencia, el desplazamiento forzoso, y hoy, puntos claves para dar inicio a esas estrategias planteadas por el gobierno nacional.

La actividad turística en el contexto rural puede erradicar sus formas y relaciones existentes para entrar en otro medio de producción, tejiendo diversos tipos de relaciones que lleven a mercantilizar este panorama para seguir en la misma frecuencia del desarrollo. Es por ello que, el turismo encaminado hacia las buenas prácticas puede generar cambios que realmente beneficien a las comunidades víctimas de la violencia, permitiendo en el posdesarrollo un surgimiento de nuevas dinámicas que realmente beneficien a las comunidades, primando el respeto por la tierra, el ambiente y la cultura.

¿Por qué el buen vivir es una alternativa al posdesarrollo en el contexto turístico?

Frente al buen vivir, Escobar (2015) propone varios elementos que nos llevan a ver esta opción como una alternativa de desarrollo. Entre ellos se destacan el hecho de valorar las comunidades para no caer en el desarrollismo y la corrupción, esto supone que debemos estar en la capacidad para comprender que estamos unidos con la tierra, la naturaleza y el agua. Para ello, se hace necesario que desaprendamos las formas de vivir tradicionalistas, con el objetivo de defender los territorios y la vida desde la tierra; según Escobar (2015), no hay soluciones a los problemas ocasionados por la modernidad resultado del desarrollo; debe predominar el buen vivir sobre la tecnología y la economía.

Esta alternativa del buen vivir se establece como una corriente del pensamiento en el que se recatan los principios y tradiciones ancestrales, cuya finalidad es el manejo adecuado del territorio, la paz y armonía con lo que nos rodea y relacionarnos con otros mundos. Visto de esta manera, el turismo y el buen vivir pueden ir de la mano, siempre y cuando exista el compromiso de manejar los elementos propios de la naturaleza, la cultura y el patrimonio. Lo anterior, está determinado por factores que promuevan y fomenten la equidad social y la satisfacción de necesidades básicas de las comunidades anfitrionas, quienes son los que finalmente se van a ver beneficiados con estas prácticas y en la que ellos van a invertir su capital humano e intelectual, para fomentar unas mejores condiciones de vida y un verdadero reconocimiento como comunidades campesinas, cuyo fin es educar a los visitantes sobre la ruralidad , tradiciones, el respeto por la vida, las cosas sencillas y el medio ambiente.

El buen vivir en el contexto turístico es una alternativa al posdesarrollo, porque puede trascender más allá del mismo fin turístico, que es recrear, debido a que, en este sentido, las comunidades rurales plantean desde sus saberes una forma diferente de hacer turismo, estimulando a la cooperación, visión diferente del mundo y la interacción entre los campesinos y los visitantes.

Por tal razón, se hace necesaria una adecuada planificación, no con una mirada económica generadora de divisas, sino más bien filantrópica, para que de esta manera sea autentica y genere resultados que favorezcan a las comunidades, para así tener valoración y reconocimiento que conlleve a la protección y conservación de la cultura campesina, rompiendo la hegemonía del desarrollo.

El turismo para la paz en la comunidad de Monterrey

Durante muchos años, el corregimiento de Monterrey ha sido escenario de hechos violentos, que vienen desde las diferencias políticas de los partidos liberal y conservador hasta las confrontaciones entre el ejército y las FARC. En esta comunidad se han vulnerado derechos y ha permanecido olvidada por el Estado, siendo vulnerable a las transformaciones sociales, culturales y económicas. En su actividad económica se destacan la producción pecuaria, agrícola, forestal, minera, la transformación artesanal y de plantas medicinales, sin embargo, se ha visto su potencial paisajístico, el cual incide en el turismo.

Con base en lo anterior, se entiende como paisaje "cualquier parte del territorio, tal como es percibida por las poblaciones, cuyo carácter resulta de la acción de factores naturales y/o humanos y de sus interrelaciones" (Santos-Pavón, Fernández-Tabales y Muñoz-Yules, 2016, p. 176). Así pues, es uno de los elementos fundamentales para que los visitantes disfruten y aprecien los contextos rurales del día a día, siendo una motivación importante dentro del viaje turístico.

En consecuencia, para esta población, el turismo es una consideración atractiva para ampliar sus actividades económicas y a la vez dinamizar sus alternativas de subsistencia con un alto contenido cultural y educativo, donde el medio ambiente es un patrimonio intangible que conlleva a que se reconozca su valor

Ahora bien, para generar una evolución social en esta comunidad, es pertinente un abordaje de las temáticas analizadas, desde el enfoque del buen vivir, que expone una nueva forma de pensamiento, donde dejar a un lado la idiosincrasia consumista propuesta por el sistema neoliberal es la alternativa mencionada por Escobar (2015), como "una propuesta teórico-práctica de transformación económica y social" de esta manera, recuperando la cosmovisión de las comunidades que se asientan allí, se podría realizar una relación entre la postura del buen vivir, la concepción de las comunidades de este sector y además la propuesta del turismo como punto focal, en el cual las comunidades pueden dar a conocer sus tradiciones y por medio de ellas generar un atractivo turístico, movilizando así la economía local y a su vez manteniendo viva su cultura.

Por otra parte, la crítica al desarrollo es totalmente innovadora, pues, el sistema propone que el desarrollo se base en el poder adquisitivo y en las necesidades sentidas, siendo estas netamente materiales. Pero al traer

una propuesta que ponga en la mesa el concepto de cosmovisión comunitaria, se podrá recuperar conocimientos ancestrales, como la relación entre el hombre y la naturaleza, como dicha relación puede ser armónica y sustentable, además, por medio del turismo, dejando a un lado el impacto económico, es una manera de educar a las personas que visiten el lugar, dejando en ellas la reflexión sobre ese producto que se llama "desarrollo" y si en verdad es este el que desean continuar con la cadena de producción, y adoptar un pensamiento unificador entre la visión comunitaria y la evolución social, denominada "posdesarrollo" como la manifestación de los elementos que permiten una transición y trascendencia de las vicisitudes colectivas, pero desde el planteamiento del respeto mutuo y con el entorno, anulando la base del consumismo globalizado que es base fundamental del desarrollo; este posdesarrollo, como propuesta de innovación, es una respuesta al sentir social, ya que como todo paradigma existente en la historia del hombre, el del consumismo neoliberal, no es la respuesta para que el hombre consiga su máxima satisfacción, por el contrario, es un mecanismo de autodestrucción que ha tenido víctimas, y el primero de ellos es nuestro medio ambiente.

Conclusión

Las temáticas tratadas en este curso, cambiaron la perspectiva frente al concepto "desarrollo", ya que siempre se lo concibe de manera beneficiosa, y desde el ámbito profesional como una alternativa para convertirlo en un elemento transformador junto con la sostenibilidad. Los autores estudiados llevan a cuestionar, cúal es el verdadero enfoque de este concepto y cómo trasciende en la sociedad, ya que este se lo relaciona con el crecimiento económico. Asimismo, las actividades trabajadas permitieron la hegemonía de los más fuertes y cuál es el significado de cada uno de los modelos planteados de acuerdo a las necesidades del momento en las que prima el impacto económico como un aspecto determinante en la economía y el desarrollo humano. No obstante, no todo está perdido y desde el Sur se puede marcar la diferencia, donde la preservación y recuperación del medio ambiente, la relación con la tierra, el agua, la naturaleza y la vida deben primar, ante todo.

Cabe mencionar que, cada una de las actividades que propiciaron escenarios de discusión permitieron reflexionar significativamente frente a cada una de las propuestas, para replantear el desarrollo, buscando nuevas alternativas que hagan la diferencia y permitan transformar y resolver esa transición, y así poder comprender las contradicciones existentes entre el neodesarrollismo y el posdesarrollo, favoreciendo a este último.

Referencias

Agencia EFE. (1 de marzo de 2017). La paz es la mejor aliada y promotora del turismo: Santos. *El Heraldo*. Recuperado de https://www.elheraldo.co/colombia/la-paz-es-la-mejor-aliada-y-promotora-del-turismo-santos-332978

Escobar, A. [CLACSO TV]. (2015, diciembre 9). Arturo Escobar en la VII Conferencia completa [archivo de video]. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=9wzowZd1fNY

Santos Pavón, E., Fernández-Tabales, A. y Muñoz-Yules, O. (2016). La incorporación del paisaje a la planificación turística. Análisis de la estrategia de turismo sostenible de Andalucía. *Cuadernos de Turismo*, 37, 175-202. DOI: http://dx.doi.org/10.6018/turismo.37.256201

Desarrollo del índice para determinar la autodepuración de calidad de aguas en cuencas hidrográficas

Diego Javier Pérez Ortega[168]
Paula Andrea Montenegro[169]
Carlos Alonso Ramírez[163]
Aura María Rosero[164]

Resumen

Este trabajo tuvo como principal objetivo, proponer un instrumento que determine en alguna forma la sensibilidad, fragilidad, adaptabilidad y el riesgo que representa la contaminación de los recursos hídricos superficiales, mediante la combinación de índices, indicadores, además de las características de una cuenca hidrográfica en específico, buscando siempre entender la dinámica generada por los determinados niveles de degradación ambiental. Además, se reconoce el potencial de recuperación de los recursos hídricos y las consecuencias provocadas por las alteraciones de las actividades antrópicas de la cuenca. El resultado de la aplicación de esta metodología mostró que las cuencas contienen un potencial de autodepuración en sus aguas superficiales, donde en el caso de la Cuenca del río Juqueri, el valor resultante fue 23,261, lo que demostró una existencia de alto riesgo de degradación en sus recursos hídricos. Sin embargo, es importante resaltar que la calidad del agua fue caracterizada como regular, según la clasificación del Índice de Calidad de Agua (ICA). Gran parte de la cuenca se encuentra urbanizada con el valor de 17,51 % del total de su área, esto debido al desarrollo de la región, donde los valores de ICA ya demuestran problemas antrópicos. Se verificó cierta estabilidad en la calidad del agua de la cuenca, indicando que el índice propuesto es capaz de evaluar datos reales de contaminación e identificar características que degradan los recursos hídricos en la cuenca, además de determinar la presión ambiental.

Palabras clave: adaptabilidad, indicador, modelos ambientales, presión ambiental.

[168] Universidad Cooperativa de Colombia. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: diego.perezortega@campusucc.edu.co

[169] Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: pmontenegroc@umariana.edu.co

[170] Universidad Cooperativa de Colombia. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: carlos.ramirez@campusucc.edu.co

[171] Universidad Cooperativa de Colombia. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: aura.rosero@campusucc.edu.co

Development of the index to determine the self-purification of water quality in hydrographic basins

Abstract

The main objective of this work was to propose an instrument that determined in some way the sensitivity, fragility, adaptability and the risk that contamination of surface water resources represents, by combining the indices, indicators and characteristics of a specific river basin, seeking to understand the dynamics generated by certain levels of environmental degradation. The potential for recovery of water resources and the consequences caused by alterations in the anthropic activities of the basin are also recognized. The result of the application of this methodology showed that the basins contain a potential for self-purification in their surface

waters. In the case of the Juqueri river basin, the resulting value was 23,261, which showed a high risk of degradation in its water resources. However, it is important to highlight that water quality was characterized as regular, according to the classification of the Water Quality Index. A large part of the basin is urbanized, with a value of 17.51% of its total area, due to the development of the region, where index values already show anthropic problems. Some stability in the water quality of the basin was verified, indicating that the proposed index is capable of assessing actual pollution data and identifying characteristics that degrade water resources in the basin, in addition to determining the environmental pressure.

Key words: adaptability, indicator, environmental models, environmental pressure.

Desenvolvimento do índice para determinar o autodepuração da qualidade da água em bacias hidrográficas

Resumo

O principal objetivo deste trabalho foi propor um instrumento que determinasse de alguma forma a sensibilidade, a fragilidade, a adaptabilidade e o risco que a contaminação dos recursos hídricos superficiais representa, combinando os índices, indicadores e características de uma bacia hidrográfica específica, buscando entender a dinâmica gerada por certos níveis de degradação ambiental. Também são reconhecidos o potencial de recuperação de recursos hídricos e as consequências causadas por alterações nas atividades antrópicas da bacia. O resultado da aplicação dessa metodologia mostrou que as bacias contêm um potencial de autopurificação em suas águas superficiais. No caso da bacia do rio Juqueri, o valor resultante foi de 23.261, mostrando um alto risco de degradação de seus recursos hídricos. No entanto, é importante destacar que a qualidade da água foi caracterizada como regular, de acordo com a classificação do Índice de Qualidade da Água. Grande parte da bacia é urbanizada, com um valor de 17,51% de sua área total, devido ao desenvolvimento da região, onde os valores do índice já apresentam problemas antrópicos. Alguma estabilidade na qualidade da água da bacia foi verificada, indicando que o índice proposto é capaz de avaliar dados reais de poluição e identificar características que degradam os recursos hídricos da bacia, além de determinar a pressão ambiental.

Palavras-chave: adaptabilidade, indicador, modelos ambientais, pressão ambiental.

Introducción

La aplicación de índices e indicadores que permitan evaluar los estados, tendencias y degradación de los recursos naturales, ya sea agua, suelo y aire se ha constituido en una preocupación recurrente en los últimos años, sobre todo, desde el surgimiento del concepto de sustentabilidad (Carballo & Villasante, 2008). Esta propuesta metodológica sugiere una medición de la sensibilidad de los recursos hídricos superficiales debido a las actividades antrópicas, sabiendo que existen características inherentes de una determinada área de estudio que puede contribuir o potenciar la degradación ambiental. En este sentido, conceptos como la conservación de la biodiversidad no se incluyen en el concepto de "desarrollo territorial", ya que los ecosistemas, tanto terrestres y acuáticos, se resienten debido a los cambios en el uso y la ocupación de los suelos, ya sea en pequeñas o grandes magnitudes, que afectan el desarrollo ecológico normal de las especies (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis [IBAMA], 2011).

En lo que se refiere al aspecto conceptual, las aplicaciones prácticas del conocimiento y la medición de la sostenibilidad, en esta propuesta se pretendió proporcionar con mayor precisión información para probar y evaluar la disgregación ambiental desde el punto de vista espacial y de las cuencas hidrográficas. Ante esta exposición, esta metodología evaluó datos reales de contaminación y se intentó entender la correlación de factores que perjudican o benefician los niveles de contaminación en cada área de estudio, identificando la polución que está siendo causada por actividades antrópicas y el potencial de resiliencia de los recursos hídricos para su autodepuración.

De esta forma, cuando se obtiene datos de un área de estudio, se puede también calificar su riesgo a la contaminación, y así asignar valores a los procesos de susceptibilidad a esa contaminación de los recursos hídricos. Se considera este índice como un diseño de medición directa, para llegar a diagnósticos que puedan en el futuro ser un diferencial en la gestión, visualizando una tendencia de la situación actual con relación a los mínimos criterios de conservación y buscando predecir con anticipación los resultados finales de los impactos ambientales severos en un área determinada.

El objetivo de este estudio fue desarrollar un índice para cuantificar el potencial de autodepuración de aguas superficiales en cuencas hidrográficas, con el propósito de informar a los tomadores de decisiones o usuarios sobre las interrelaciones de los sistemas naturales dinámicos con los elementos físicos, biológicos, sociales y económicos de un área de estudio, en función de las actividades antrópicas. Hecho que hace de éste una herramienta de información científica al público, contribuyendo para el entendimiento de los problemas ambientales producidos actualmente.

Materiales y Métodos

Caracterización del área de estudio: Localización de la Cuenca del Juqueri en el municipio de Mairiporã-SP

La ubicación geográfica de la cuenca del río Juqueri se encuentra en la latitud S 23o 21´25" y longitud W 45o 52´40". Contiene la Mayoría de su área en el municipio de Mairiporã. Además, posee partes de los municipios como: Atibaia, Nazaré Paulista, Guarulhos, Caieiras y Franco da Rocha (Emplasa, 2000). El área de la Cuenca del río Juqueri es de 307,0 km^2, de los cuales 114 km^2 representan el área urbana, siendo que el 80,1 % del total se sitúa dentro del área de la Ley de Protección a los Manantiales (Emplasa, 2000). (Perez, Solarte, Pantoja y Martins, 2018, pp. 17-18). (Ver Figura 1).

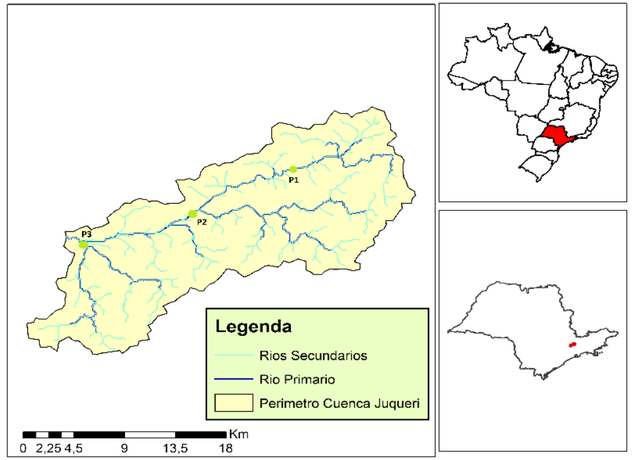


Figura 1. Localización de la cuenca del Rio Juqueri y puntos de muestreo de ICA.
Fuente: Perez et al., 2018.

Las variables que formaron parte de esta metodología fueron elegidas para entender de manera global las interacciones que ocurren entre los recursos hídricos, el uso del suelo y las actividades económicas e influencias antrópicas en las cuencas hidrográficas. Este trabajo reunió estas variables y las conjugó para analizar el desarrollo territorial, además de realizar proyección de impactos en los recursos hídricos.

Descripción de las variables

1.índice de calidad del agua (ICA): La calidad del agua superficial depende tanto de factores naturales como de la acción humana. En general, se determina la calidad del agua comparando las características físicas y químicas de una muestra con las directrices de calidad del agua, el agua es un recurso natural, que sirve para una amplia gama de usos, pero también tiene la calidad de actuar como una sustancia indicativa de los resultados de la manipulación del suelo. La calidad de cada masa de agua está relacionada a la geología, tipo de suelo, clima, tipo y cantidad de cobertura vegetal y al grado y tipo de actividad humana dentro de la cuenca (Sampaio, 2003). Por lo tanto, el uso y la ocupación de las cuencas hidrográficas reflejan, en última instancia, la calidad y la cantidad de las aguas superficiales y subterráneas (Moreira, 2006).

Tabla 1. *Escala de calidad de agua indicada por CETESB*

Calidad	Valor de ICA
Optima	79< IQA ≤ 100
Buena	51< IQA ≤ 79
Regular	36< IQA ≤ 51
Ruin	19< IQA ≤ 39
Pésima	IQA ≤ 19

Fuente: Companha de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo [CETESB], 2004.

2. Área urbana (AU): Según Carrera-Gómez et al. (2006), aunque la urbanización desempeña un papel central en el proceso de desarrollo, el crecimiento urbano lleva a menudo un deterioro de las condiciones ambientales. Esto ocurre debido al crecimiento demográfico, las actividades comerciales, industriales y las que disponen del uso de recursos, generando así un punto de sobrecarga en las capacidades de los sistemas naturales. Conocer el valor real del proceso de urbanización de una determinada área equivale a conocer su potencial amenaza o probabilidad de ocurrencia de un determinado fenómeno natural o inducido, que pone en peligro la integridad de los seres humanos que la ocupan.

Uno de los problemas más comunes es la contaminación de los recursos hídricos por aguas de alcantarillado doméstico, ya que la mayor parte de este proviene de la población que vive en los centros urbanos, los cuales arrojan sus residuos en los cursos de agua superficiales. Para conocer los valores exactos de la cantidad del área urbanizada en una zona de estudio, existen múltiples aplicaciones de imágenes de satélites, que hacen mucho más fácil la recolección de datos necesarios para integrar esta variable al índice propuesto y, así, dar continuidad a la construcción del edificio índice, este es un método rápido y eficaz. Para la aplicabilidad de la metodología propuesta se necesita que el valor del área, que por lo general esta en ha o km², se encuentre en porcentaje.

3. Caudal/habitantes (Q/h): La variable caudal cumple un papel extremadamente importante, porque al conocer el caudal de la cuenca hidrográfica de estudio, se conoce también su potencial de autodepuración (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2006). Si se conoce la cantidad de habitantes en el área de estudio, se podrá determinar su disponibilidad de agua y también la presión ejercida sobre ese recurso, desafortunadamente, la facilidad de autodepuración que el agua posee hace que el vertido de residuos sea habitual.

4. Índice de transformación antrópica (ITA): Richter, Baumgartner, Wigington & Braun (2003) afirman que este índice permite, por un lado, obtener un diagnóstico del grado de transformación del paisaje dentro de una determinada área y, por otro, ayuda en el reconocimiento de las áreas afectadas por procesos degradantes como la deforestación, erosión y cambios en el uso y ocupación de los suelos.

Estos problemas, generalmente, son causados por el manejo inadecuado de cultivos agrícolas, ya que poca superficie es apta y puede ser destinada a este uso, produciendo así alteraciones peligrosas por la deforestación, debido a la instalación de nuevas áreas con cultivos. Para la delimitación del área de estudio, la clasificación de las imágenes y la cuantificación de las clases temáticas son necesarias cuatro fases, a saber: (I) Técnicas de geoprocesamiento y monitoreo ambiental; (II) Identificación de las áreas modificadas por el hombre; (III) Clasificación y elaboración de los mapas temáticos; (IV) Toma de datos reales del área de estudio, buscando un buen detalle.

La determinación de las clases de uso del suelo puede ser realizada sobre ortofotos digitales o imágenes de satélite, a partir de las cuales se realiza la delimitación de las clases de uso del suelo por digitalización manual hecha en el Programa ArcGIS, de forma supervisada y por edición vectorial, por medio de un proceso de interpretación visual. Las clases de uso del suelo son: áreas urbanizadas (AU), cultivos temporales (CT), cultivos permanentes (CP), pastos (P), bosques (F), cuerpos de agua (CA). Los pesos dados se establecen para cada uso del área o cuenca a evaluar. Posteriormente, se obtiene el área de cada uso y ocupación, y su equivalencia en porcentaje.

5. Pendiente (D): García, Rosique y Segado (1994) afirman que la pendiente del terreno es uno de los parámetros que más se utiliza, su correcto conocimiento depende de muchas infraestructuras planificadas por los ingenieros: carreteras, reforestaciones hidrológicas, esto se encuentra en el suelo, y no solo en conocer su concepto, sino también en calcularlo.

El suelo es un valioso recurso natural que contiene agua y elementos nutritivos que los seres vivos utilizan. La erosión es la pérdida del suelo fértil, debido al hecho de que el agua y el viento normalmente arrastran la capa superficial de la tierra hasta los cuerpos hídricos disponibles en el área. A continuación, se indica la fórmula utilizada para determinar el índice de autodepuración de aguas superficiales en cuencas hidrográficas:

$$y_i = w_i x_i$$

Para i = 1, 2, 3, ... n

Ecuación 1

$$IR = \sum_{i=1}^{n} W_i X_i$$

Ecuación 2

Donde:

Wi = Peso correspondiente para cada indicador.

n = Número de indicadores utilizados.

i = Subíndice.

Xi = Indicadores.

Cada clase representa un peso atribuido en función del reconocimiento al índice de autodepuración para aguas superficiales que presenta la cuenca, pudiendo ser modificado a un mayor número de variables a ser evaluadas para la mejora de esta metodología y teniendo en cuenta los valores del índice para su posterior clasificación.

1. IQA: valor de 0,35. Este es el mayor valor dado para esta metodología, ya que evalúa las características químicas, físicas y biológicas del agua, además de proporcionar valores reales de contaminación de los recursos hídricos de los cuerpos de agua en la cuenca de estudio.

2. ITA: valor de 0,3. Este es el valor dado a esta variable, pues permite obtener un diagnóstico del grado de transformación del paisaje natural de la cuenca y reconocer las áreas afectadas por procesos degradantes, como la deforestación, erosión y cambios en el uso y ocupación de los suelos.

3. Área Urbana: valor dado de 0,2. Este valor intenta abarcar los procesos de desarrollo, crecimiento urbano y deterioro de las condiciones ambientales de la cuenca, además del crecimiento demográfico, actividades comerciales e industriales.

4. Caudal / habitantes: valor de 0,1. Este valor dado busca considerar el potencial de autodepuración de los recursos hídricos, además de la disponibilidad de agua para cierto número de habitantes y reconociendo la presión ejercida sobre los recursos hídricos de la cuenca.

5. Declividad: Valor dado de 0,05. Este valor fue dado a variable, ya que es muy importante conocer la declividad de cualquier área de estudio, pues es una característica inherente de cualquier cuenca, la cual contribuye, según los usos de suelo, en los procesos de erosión de suelos y, posteriormente, en la sedimentación y contaminación de los recursos hídricos (ver Tabla 2).

Las variables que forman parte del índice de autodepuración fueron indispensables para poder proponer el indicador que valore y determine la realidad de la situación actual de los recursos hídricos de las cuencas hidrográficas. Siendo así, se produjeron diferentes alternativas, de las cuales se aplicó el índice para diferentes cuencas hidrográficas de diferentes países y en diferentes escalas (macro, medianas y pequeñas). Esto, para verificar la puntuación y los valores, para posteriormente ser clasificadas según el índice propuesto, llegando a la conclusión que todos los posibles valores de las clasificaciones de cuencas hidrográficas están dentro de la clasificación propuesta en esta investigación. Para calcular el índice de resiliencia, se propusieron los valores contenidos en la Tabla 2.

Tabla 2. *Pesos dados a cada variable y su clasificación para la aplicación del índice de autodepuración*

Indicador	Coeficiente de ponderación Wi	Valor	Clasificación
ICA	0.35	≥50	Alta Autodepuración
ITA	0.3	39≤49	Media Autodepuración
AU	0.2	27≤38	Baja Autodepuración
Q/h	0.1	15≤26	Mínina Autodepuración
D	0.05		
Total	1	0≤14	Nula Autodepuración

La metodología propuesta fue aplicada en la Cuenca del río Juqueri para demostrar su utilidad y validez como instrumento para valoración ambiental.

En cuanto al coeficiente de ponderación, éste se dio debido a la importancia de cada variable que la metodología incorporó para el índice, en el que su suma es igual a 1, y el ICA tuvo la mayor ponderación, con un valor de 0,35, seguida del ITA con 0,3. Posteriormente, se dio mayor importancia al área urbana con valor de 0,2, seguida del resultado del caudal dividido por el número de habitantes con valor de 0,1 y, finalmente, la declividad con un valor de 0,05.

Resultados y Discusión

Referente a los análisis del IQA de la Cuenca del río Juqueri, dio como resultado promedio para el mes de sequía (junio) con un valor de 48,7, que clasifica su agua como regular, pues se encontró en el rango 36≤51, y para el mes de diciembre que representa la época lluviosa 51,3 que clasifica su agua como Buena, pues se encuentra en el rango entre (51<79). (Ver Tabla 3).

Tabla 3. *Valores obtenidos del ICA del agua de la cuenca del Rio Juqueri*

Junio	P1	P2	P3	Diciembre	P1	P2	P3
1	52	55	52	2	56	52	50
9	51	45	51	9	55	54	56
16	39	38	54	16	49	47	51
30	*46*	*50*	*51*	*21*	*50*	*46*	49
Promedio	*47*	*47*	*52*	*Promedio*	*52.5*	*49.75*	51.5

P = Puntos de muestreo.

Área urbana (AU): En cuanto a la clasificación de la cuenca estudiada, se utilizó un método supervisado con el método de interpretación en el Programa ArcGIS 10.1, que dio como resultado un área urbana (AU) un total del 17,51 %, del total del área de la cuenca que equivale a 5.903 ha.

Q/habitantes: El caudal encontrado fue de 18,25 m^3/s (Sabesp, 2018) y el número de habitantes que se encuentra en la cuenca del río Juqueri es 71.627 habitantes. El resultado final es 18,25 m3/s/71627 =2,54.

Índice de tránsito antrópico (ITA): A partir de las clases temáticas fue posible realizar un análisis cuantitativo del área estudiada en la dinámica del uso del suelo en la Cuenca del río Juqueri, que según el ITA está clasificado como Regularmente Degradada (ver Tabla 4).

Tabla 4. *Valores del uso del suelo y la aplicación del ITA en la cuenca del Rio Juqueri*

Clase	Área	%	Valores ITA
Cuerpos de Agua	229	0.68	2.04
Bosques	17319	51.37	102.74
Pastos	5131	15.22	106.54
Áreas urbana	5903	17.51	157.59
Suelo expuesto	3796	11.26	90.08
Área Agrícola	1335	3.96	27.72
Total	33714	100	487

Pendiente (D): Resultados del software ArcGis 10.1, donde el mapa producto de esta investigación tuvo 5 clases de declividad.

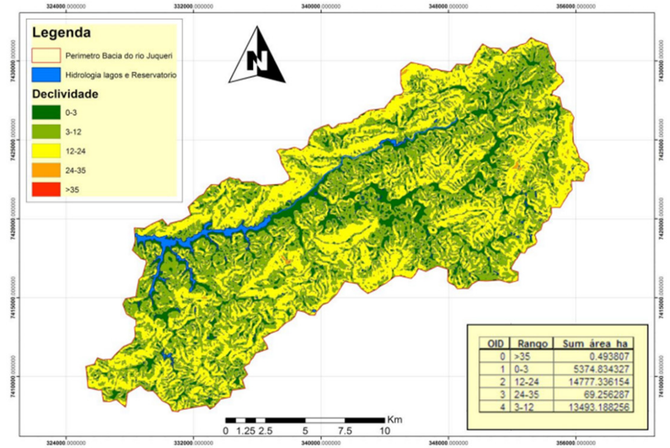


Figura 2. Mapa de pendientes de la cuenca del Rio Juqueri.

Conclusiones

De acuerdo con la clasificación de la metodología propuesta para aplicar el Índice de Autodepuración en la Cuenca del río Juqueri, esta cuenca se clasificó con una mínima resiliencia en sus aguas superficiales, con un valor de 23,261. Esto significa que existe actualmente un alto riesgo por la degradación del recurso hídrico, debido a sus características específicas y condiciones actuales, donde se resalta que la calidad general del agua fue encuadrada como Regular. Según la clasificación del ICA, tiene buena parte de su área urbanizada con 17,51 % del total de la cuenca, debido al desarrollo de la región. El ICA ya demuestra graves problemas antrópicos, aun así, lo que auxilia los recursos hídricos es la rápida autodepuración de éstos antes de ser encaminados a la estación de Guaraú. Sin embargo, la presión debido a la contaminación por desagüe no tratado ejerce un fuerte impacto sobre la calidad del agua.

A través del índice de Autodepuración fue posible determinar problemas urgentes que necesitan de gestión ambiental en la cuenca, de los cuales se resalta la identificación de áreas susceptibles a inundaciones y su planificación para anular sus efectos, el crecimiento de la población y la pérdida continua y constante del potencial de autodepuración de los recursos hídricos de la cuenca y del embalse Paiva Castro.

Referencias

Carballo, A. & Villasante, S. (2008). Applying physical input-output tables of energy to estimate the energy ecological footprint (EEF) of Galicia (NW Spain). *Energy Policy, 36*(3), 1.148-1.163.

Carrera-Gómez, G., Coto, P., Doménech, J., Inglada, V., Pesquera, M. & Castanedo, J. (2006). The Ecological Footprint of Ports. A sustainability Indicator. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, 1963*(1), 71-75. doi: 10.1177/0361198106196300110

Companha de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). (2004). Água subterrânea e poços tubulare (3.ª ed). São Paulo: CETESB, 2004.

Empresa Paulista de Planeamiento Metropolitano S/A – (EMPLASA). (2000).

García, A., Rosique, M. y Segado, F. (1994). *Topografía básica para ingenieros.* Murcia: Universidad de Murcia.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA. (2011). Belo Monte – Estudos de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental – Componente Indígena.

Moreira, W. (2006). Condiciones sanitárias del água em Granjas Lecheras en un município em Brasil. *Boletín Oficina Sanitaria Panamericana, 75*(5), 450.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2006). *Manual de manejo y Conservación de Suelos y Aguas*. San José, Costa Rica: Editorial UNED.

Perez, D., Solarte, J., Pantoja, J. y Martins, M. (2018). Dinámica espcaio-temporal del uso del suelo y su efecto sobre la degradación de los recursos hídricos: caso de la Cuenca del río Juqueri-Brasil. *Revista de investigación agraria y ambiental, 9*(1), 15-28. doi: https://doi.org/10.22490/21456453.2067

Richter, B., Baumgartne, J., Wigington, R. y Braun, D. (2003). How much water does a river need? *Freshwater Biology, 37*(1), 231-249. doi:10.1046/j.1365-2427.1997.00153.x

Sabesp. (2018). Situação dos mananciais. Recuperado de http://mananciais.sabesp.com.br/Home

Sampaio, F. (2013). Responsabilidade Civil e reparação de danos ao meio ambiente Rio de Janeiro. *Renovar.*

Riesgo asociado en la elaboración artesanal de gelatina de pata de res – Andalucía, 2018

Alexandra Martínez Márquez[172]
Daniela Jaramillo Restrepo[173]
Diana Marcela Lozano Mosquera[174]
Juan Guillermo Popayán Hernández[175]

Resumen

El municipio de Andalucía ubicado en el departamento del Valle del Cauca, con una vocación eminentemente agrícola y ganadera, siendo este último sector incipiente, debido a las condiciones y usos del suelo del municipio. Sin embargo, el sacrificio bovino deja como subproducto cientos de extremidades (patas), que desde hace aproximadamente setenta años se ha convertido en la fuente de colágeno necesaria para la elaboración artesanal de la denominada 'gelatina de pata', en sus presentaciones 'blanca' y 'negra', convirtiéndose esta actividad en el principal distintivo patrimonial del municipio y en la fuente de ingreso de las familias andaluzas. Según lo expresado, el propósito de este trabajo de investigación fue analizar el riesgo asociado a la producción artesanal de gelatina de pata en el municipio de Andalucía, con una escala espacial de un año, comprendida entre enero y agosto de 2018. El tipo de estudio fue descriptivo, con un enfoque mixto, abordando la problemática desde el paradigma de la complejidad. En términos metodológicos, se identificó 20 empresas dedicadas a la producción artesanal de gelatina de pata, categorizadas en tres grupos: formales semi-industrializadas, formales artesanales e informales artesanales. El principal hallazgo fue la identificación del factor de riesgo físico y biomecánico, siendo la exposición al calor el más preponderante en la producción de gelatina de pata.

Palabras clave: complejidad, gelatina de pata, proceso artesanal, riesgo físico, riesgo biomecánico.

[172] Corporación Universitaria Minuto de Dios. Guadalajara de Buga, Colombia. Correo electrónico: amartínez11@uniminuto.edu.co

[173] Corporación Universitaria Minuto de Dios. Guadalajara de Buga, Colombia. Correo electrónico: djaramillo5@uniminuto.edu.co

[174] Corporación Universitaria Minuto de Dios. Guadalajara de Buga, Colombia. Correo electrónico: dlozanomosq@uniminuto.edu.co

[175] Corporación Universitaria Minuto de Dios. Guadalajara de Buga, Colombia. Correo electrónico: jpopayanher@uniminuto.edu.co

Associated risk in the artisanal production of cow's leg gelatine - Andalucía 2018

Abstract

The municipality of Andalucía is located in the department of Valle del Cauca; it has an eminently agricultural and livestock vocation, although the latter sector is incipient, due to the conditions and land uses of the municipality. The bovine sacrifice leaves as byproducts, hundreds of limbs (legs), which for approximately seventy years have become the source of collagen

necessary for the handmade production of the so-called “leg jelly”, in its “white” and “black” presentations , becoming the main heritage badge of the municipality and the source of income for many Andalusian families. The purpose of this research work was to analyze the risk associated with artisanal production of leg jelly in this municipality, during a scale between January and August 2018. The type of study was descriptive, with a mixed approach, addressing the problem from the paradigm of complexity. In methodological terms, 20 companies dedicated to the artisanal production of leg jelly were identified, categorized into three groups: semi-industrialized formal, artisanal formal and artisanal informal. The main finding was the identification of the physical and biomechanical risk factor, with exposure to heat, being the most predominant in the production of leg jelly.

Key words: Complexity, leg jelly, artisanal process, physical risk, biomechanical risk.

Risco associado na produção artesanal de gelatina de pata de res – Andalucía, 2018

Resumo

O município de Andalucía, localizado no departamento do Valle del Cauca, possui vocação agrícola e pecuária eminentemente, neste último sector emergente por causa das condições e do uso do solo no município. No entanto, o abate de bovinos deixa como subproduto, centenas de membros (pernas), que a partir de cerca de 70 anos tornou-se a fonte de colágeno necessário para a elaboração artesanal da chamada ‘gelatina de pata’ em suas apresentações ‘branca’ e ‘negra’, tornando esta actividade na principal marca patrimonial do município e na fonte de rendimento das famílias andaluzes. Por isso, o objetivo desta pesquisa foi analisar o risco associado com a produção artesanal de gelatina de pata no município de Andalucía, com uma escala espacial de um ano compreendido entre janeiro e agosto de 2018. O tipo de estudo foi descritivo, com uma abordagem mista, tendo em conta o problema a partir do paradigma da complexidade. Metodologicamente, 20 empresas dedicadas à produção artesanal de gelatina de pata, foram categorizadas em três grupos: ofício artesanal semi-industrializados, formal e informal formal. O principal achado foi a identificação do fator de risco físico e biomecânico, sendo a exposição ao calor a mais importante na produção de gelatina de perna.

Palavras-chave: complexidade, gelatina, processo artesanal, risco físico, risco biomecánico.

Introducción

Como patrimonio cultural del municipio de Andalucía, se encuentra la gelatina de pata de res, la cual a través de los años se ha venido desarrollando como principal actividad económica, aunque la elaboración de la gelatina sigue manteniendo una forma artesanal, se ha buscado que a través de diferentes maquinas se implementaran procesos más industrializados, los cuales ayuden en su elaboración, habiendo mejorado estos procesos, la receta siguió manteniendo la tradición. Actualmente, se han venido mejorando los hábitos para la producción de este producto e identificando los factores de riesgo en el área de salud ocupacional, por ende, con ésta investigación se busca relacionar realmente los factores de riesgos que se presentan en esta actividad y, así, proponer una forma de mitigarlos y controlarlos.

El nombre de gelatina, proveniente del latín “gelatus” que significa tieso y helado, ha sido conocido desde finales del siglo XVII. Debido a que no se encuentra suficiente historia acerca de la creación de la gelatina, fue necesario preguntar en diferentes lugares del municipio, los cuales concuerdan con que, por el municipio pasaron unos antioqueños a quienes les gustó esta tierra, de la cual vivían maravillados por la gran cantidad de ganado que había en la región y que así mismo sacrificaban, éstos veían como las patas de la res se desperdiciaban. Según información obtenida de los habitantes, con el paso de los días aquellos visitantes decidieron destinar esas patas, lavarlas y colocarlas a cocinar y esperar el resultado; al ver que salió algo espeso y pegajoso, decidieron completarlo con panela y de allí obtuvieron el producto. Otra de las historias cuenta que, la tradición de estos postres se inició en la época colonial de las manos de las monjas y novicias, en los antiguos conventos, lo que se usaba de las vacas que donaban para alimentar los niños del orfanato, era solo su carne y dejaban las patas a un lado, de igual manera, al ver que se desperdiciaban, una de las monjas decidió ponerlas a hervir y al observar que soltaba una especie de baba, a la que hoy le llaman colágeno, se le ocurrió endulzarla con otro dulce típico de la gastronomía Colombiana conocido como chancaca, y como resultado obtuvieron la gelatina. La gelatina es una proteína pura extraída de la materia prima colagenosa.

En la actualidad el municipio de Andalucía es uno de los mayores productores y comercializadores de la mejor gelatina del Valle. Por medio de la administración municipal se han venido organizando las diferentes microempresas que se encargan de la venta de la gelatina en sus diferentes presentaciones, buscando extenderse aún más por la distinguida “calle larga” donde se encuentran aproximadamente cien puntos de venta.

El presente proyecto se enfocó en analizar los riesgos laborales latentes que se encuentran en los procesos que realiza la empresa Gelatinas Victoriana, ya que la producción de este producto requiere de actividades que exponen a los trabajadores a riesgos físicos que pueden afectar su salud. Debido a lo anterior, se pretende desarrollar un análisis que evidencie de manera significativa las afecciones halladas, por ejemplo, en áreas como la de cocimiento, que requiere de exposición a temperaturas extremas, dependiendo de lo encontrado se planteará una propuesta que mitigue y controle el riesgo para que la empresa cumpla con el deber de cuidar sus trabajadores tal como lo exige la ley.

Metodología

Área de estudio

El presente estudio se realizó durante el primer semestre de 2018, en el municipio de Andalucía, ubicado en la zona centro-norte del departamento del Valle del Cauca, tiene una población urbana aproximada de 14.658 habitantes, según datos de 2015, con una vocación eminentemente agrícola (principalmente asociado al sector azucarero y en menor medida al cultivo del limón, maíz y plátano) y ganadera, siendo este último sector incipiente, debido a las condiciones y usos del suelo del municipio. Sin embargo, el sacrificio bovino deja como subproducto cientos de extremidades (patas), que desde hace aproximadamente setenta años se han convertido en la fuente de colágeno necesaria para la elaboración artesanal de la denominada “gelatina de pata” en sus presentaciones “blanca” y “negra”, convirtiéndose esta actividad en el principal distintivo patrimonial del municipio y en la fuente de ingreso de las familias andaluces en su casco urbano.



Figura 1. Mapa de Andalucía.
Fuente: Google Maps, 2018

Con una distribución de aproximadamente 20 empresas dedicadas a la producción artesanal de gelatina de pata, categorizadas en tres grupos: 1) formales semi-industrializadas, 2) formales artesanales, y 3) informales artesanales. Para efectos metodológicos de triangulación de la información, se decidió tomar como objeto de estudio a la empresa Gelatinas Victorianas, debido a su amplia trayectoria en el sector y a su nivel organizacional definido, además de ser la principal productora de esta golosina en el contexto del suroccidente colombiano.

Gelatinas Victoriana (ver Figura 2) mantiene una tradición familiar de más de 50 años, dedicada a la elaboración de gelatina, donde la producción y fabricación de la misma ha sido modificada por maquinas, sin embargo, la empresa mantiene la esencia y receta artesanal de la gelatina, ya que para esta empresa su principal recurso es el humano.



Figura 2. Empresa Gelatinas Victoriana.

El estudio se realizó desde el paradigma de la complejidad (Bertalanffy), con un tipo de estudio mixto con un enfoque eminentemente descriptivo; la población objeto de estudio fueron los trabajadores asociados a las operaciones unitarias descritas en la Figura 3.

Se ha determinado el paradigma de complejidad como base teórica para esta investigación, debido a los rasgos característicos de la evolución de la industria de elaboración de gelatina de pata. Los arraigos culturales han generado que, con el pasar de los años se haya transmitido entre generaciones el arte de su fabricación, manteniendo prácticas y procedimientos artesanales de antaño y, paulatinamente, con el crecimiento del mercado cada vez más personas conserven estas prácticas ancestrales.

Lo anterior, ha generado que esta industria se mueva a través de la autogestión y la autorregulación, y esto conlleva a que las personas que elaboran estos productos lo hagan en entornos poco adecuados, poniendo en riesgo su integridad física. Además, las prácticas comerciales, la organización empresarial, que en la mayoría de los casos son empíricas, y la creciente dependencia de esta industria por parte de los habitantes de la zona, hacen que el paradigma de complejidad sea una base para entender la problemática y buscar posibles soluciones que enlacen esta población objetivo a las condiciones

óptimas de desarrollo empresarial, así como a las buenas prácticas de manufactura, condiciones óptimas laborales en donde se preserve la seguridad y así mejorar la calidad de sus productos en un entorno más elaborado y organizado.

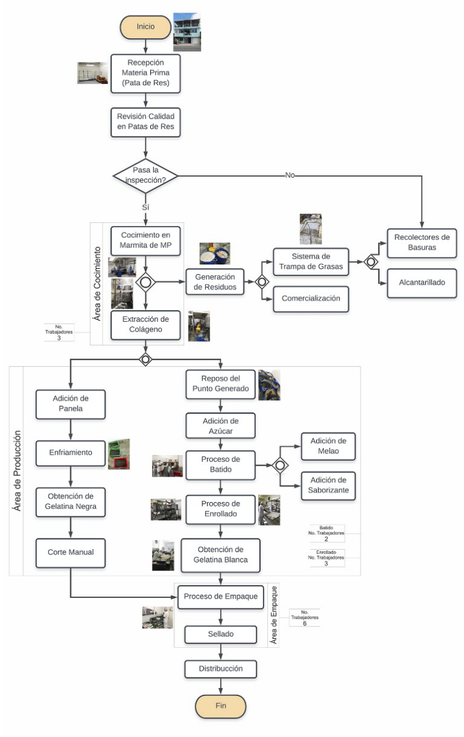


Figura 3. Diagrama de Procesos Gelatinas Victoriana.

La distribución de los trabajadores en función de la actividad desempeñada al interior de la organización se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. *Distribución de los trabajadores*

Área	Cantidad de Trabajadores
Cocimiento	3
Batido	2
Enrollado	3
Empaque	6
Total	**14**

La información se recolectó en tres fases, descritas a continuación:

Fase 1: Precampo u observación participante

En esta primera fase se logró una aproximación preliminar al área y objeto de estudio, para ello se implementó una observación participante, en donde se buscó identificar las principales variables inherentes al objeto de estudio, las cuales se clasificaron en tres grupos: 1) variables sociodemográficas, 2) variables administrativas, y 3) variables asociadas al ejercicio de las labores al interior de la organización. Esta técnica de investigación se implementó debido a la necesidad de resignificar y apreciar la realidad desde el paradigma epistemológico de la complejidad. Paralelamente a la observación participante, se implementó una entrevista semiestructurada, realizada a los propietarios y encargados de la empresa, con el objetivo de considerar los aspectos organizacionales más relevantes, y el compromiso empresarial con la seguridad y salud en el trabajo.

A partir de esta observación, se procedió a levantar los insumos necesarios para diseñar los instrumentos de recolección de la información asociada a las variables mencionadas anteriormente. Así las cosas, se propuso diseñar una encuesta estratificada en función de la caracterización preliminar de las operaciones unitarias que se muestran en la Figura 3.

Fase 2. Identificación de operaciones unitarias

En esta fase, se realizó a través de un recorrido una visita en la empresa, donde los encargados de cada área brindaron información puntual sobre la elaboración de la gelatina blanca y negra, enfocada principalmente en el proceso de cocimiento, buscando identificar los riesgos a los cuales están expuestos los trabajadores. De acuerdo a la información recolectada en la primera fase se puede prever que en el área de cocimiento se encuentra la mayor probabilidad de accidentes laborales asociados a riesgos fundamentalmente de tipo físico y ergonómico.

Fase 3. Recolección de información primaria

En esta tercera fase, se realizó una encuesta con la participación de 14 trabajadores, divididos en cinco procesos, los cuales fueron: área de empaque, área de batido, área de enrollado y finalmente área de cocimiento, es decir, la encuesta fue diferencial en función de los estratos mencionados anteriormente. La encuesta fue aplicada simultáneamente con una lista de chequeo en las diferentes locaciones donde se lleva a cabo el proceso productivo; este instrumento se implementó con el propósito de comprender la relación locación-sujeto, valorando las distintas condiciones ambientales en que se desarrollan los procesos productivos descritos con anterioridad en la Figura 3. Esta lista de chequeo se diseñó en función de los aspectos cualitativos, evidenciados en la fase 1, corroborando la información levantada con una entrevista semiestructurada realizada a la propietaria de la empresa.

Procesos

A continuación, se describe los diferentes procesos que se identificó en el recorrido realizado en la empresa Gelatinas Victoriana:

La recepción de la materia prima (patas): llega a través de transporte en horario matutino, para que sea descargada y luego llevada al área de caldera, el cual realiza una primera cocción a estas patas a través de vapor.

El área de cocimiento: Se agregan un promedio de 350 a 400 patas por lote, cada lote se cocina durante 8 horas aproximadamente, de esta cocción se obtiene un "caldo" llamado colágeno, el colágeno adquirido de este proceso se adiciona a una marmita, donde se le agrega azúcar para la producción de la gelatina blanca con una duración aproximada de 7 horas, a diferencia de la obtención de la gelatina negra a la cual se le agrega panela para su producción. La obtención de la gelatina pasa a un estado sólido durante el reposo, luego sigue un proceso de calentamiento en estufas y pailas para que sea derretido, donde el aspecto a la hora de ser elaborada la gelatina negra no cambia.

El área de producción: Pasa la elaboración de la gelatina blanca a un proceso de batido, donde se mezcla con melado y dura aproximadamente 12 minutos, además se le adiciona esencias de sabor, por medio del batido el producto cambia su aspecto y color a blanco. Dentro de esta área también se encuentra la máquina de enrollado, encargada de enrollar la masa y extraerla del tamaño requerido.

El área de producción: La gelatina negra pasa a un proceso de corte manual, se distingue porque esta contiene más colágeno, puesto que lleva menos proceso, lo cual la lleva a ser un poco más costosa.

El área de empaque: Donde se manejan dos tipos de sellado, ya sea de papel o plástico, el empaque es realizado manualmente y se determina de acuerdo al proceso.

Realizado el recorrido y siendo conocido el proceso se determinó que, dentro de la clasificación de riesgos laborales, se encuentra el riesgo físico, al que pertenece la exposición a temperaturas extremas, siendo este el riesgo potencial asociado al proceso de elaboración de la gelatina de pata en la empresa Gelatinas Victoriana. A menor escala también se identifica un posible riesgo ergonómico y biológico, respectivamente el primero causado por movimientos repetitivos, evidenciado en los diferentes procesos (empaque, corte, batido, enrollado, etc.), y el segundo debido a los desagües y alcantarillas que maneja la empresa, generando una incidencia negativa tanto en los procesos como en la salud física y emocional de los trabajadores.

Resultados

La sistematización de los instrumentos de medición se presenta en la siguiente sección: asignación porcentual de la condición de la labor que desarrollaron los trabajadores de las áreas de cocimiento, empaque, batido y enrollado de la empresa Gelatinas Victoriana.

Tabulación de encuestas y análisis

Gráficos datos personales

La encuesta se ejecutó a catorce (14) de los trabajadores de la empresa, que se tomaron como muestra en el análisis probabilístico, de las áreas con nivel más alto de exposición al riesgo en el procedimiento de la gelatina (ver Figura 4).

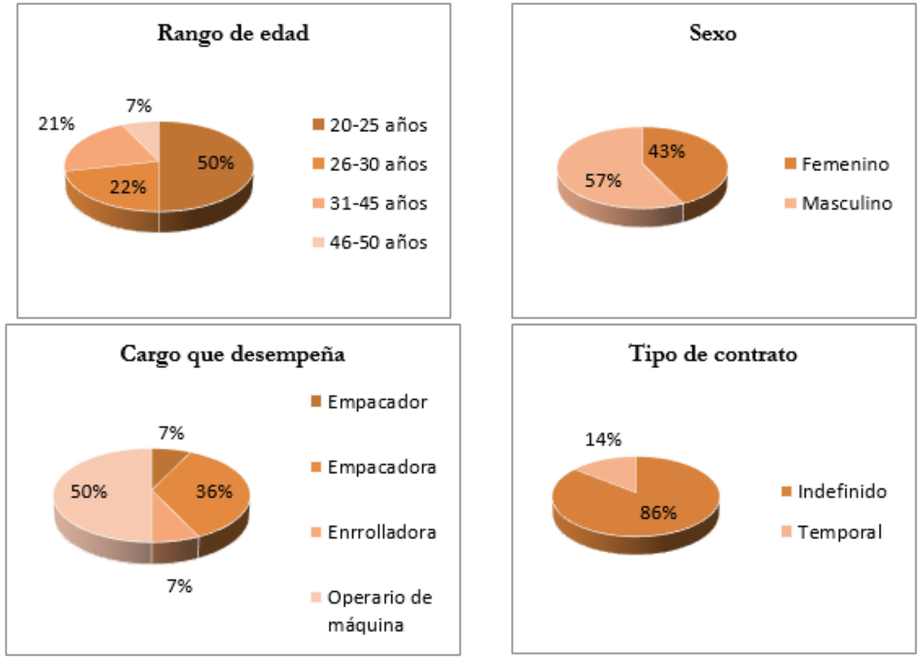


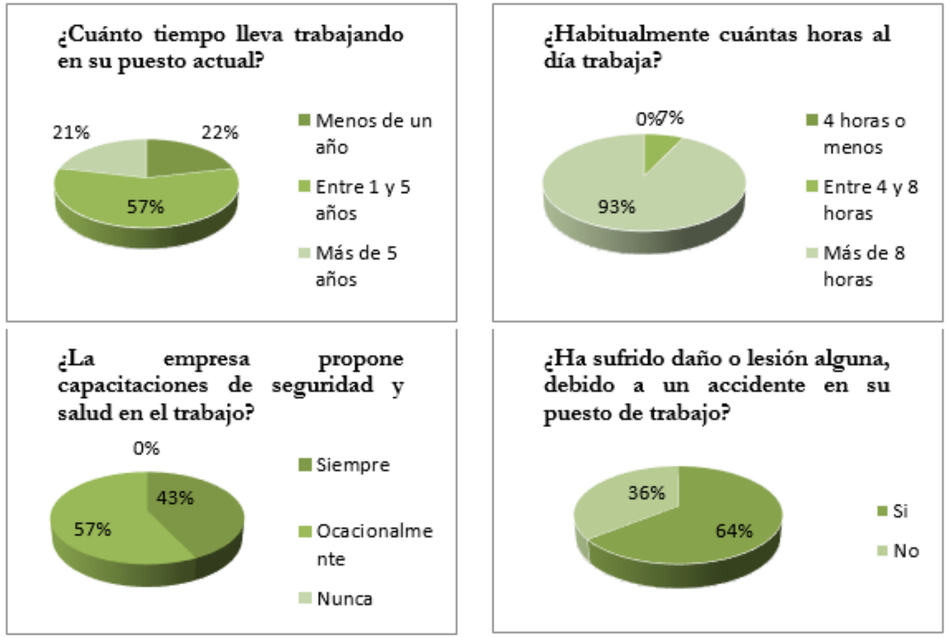
Figura 4. Áreas con nivel más alto de exposición al riesgo en el procedimiento de la gelatina.

Las características cualitativas de la población escogida tienen relevancia en aspectos sociodemográficos, que distinguen la juventud en la mayor parte de las personas, ya que se encuentran en un rango de edad entre los veinte y veinticinco años, asimismo, las mujeres representan la minoría en esta empresa.

En el aspecto laboral los operarios de maquinaria conforman la mayor parte de las funciones que realizan las personas encuestadas, seguidos de las empacadoras que finalizan el proceso de la gelatina dentro de la empresa. El otro aspecto trata el estado laboral de los trabajadores que está ligado a un contrato por tiempo indefinido.

Gráficos y análisis "Preguntas generales"

Las siguientes preguntas representadas en la Figura 5, se plasman con el objetivo de informar las generalidades en la empresa a cerca de seguridad y salud en el trabajo.



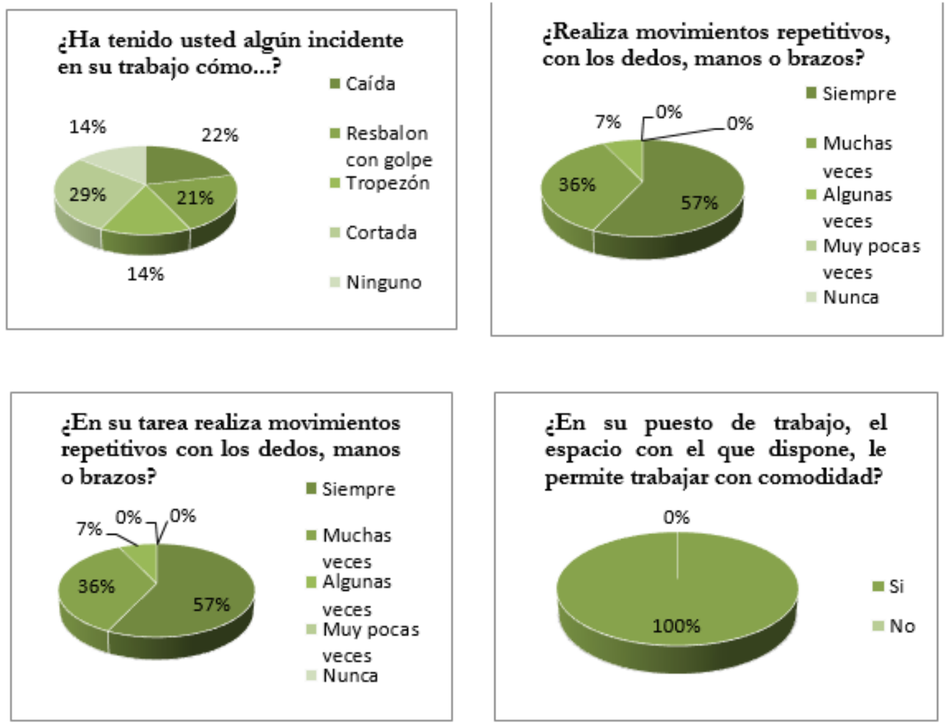
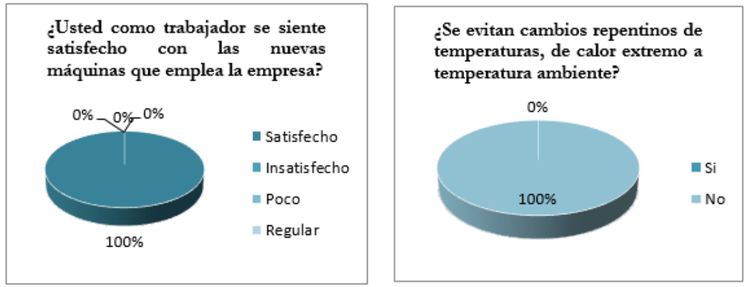


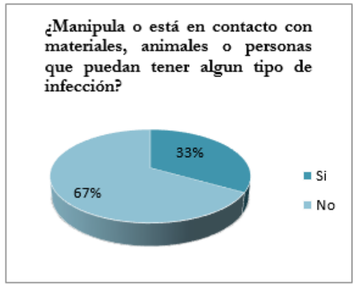
Figura 5. Preguntas generales.

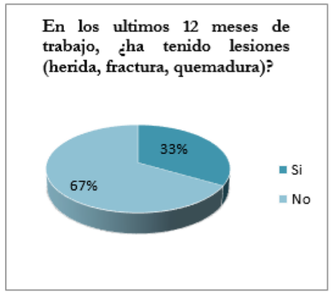
De los trabajadores escogidos para la aplicación de la muestra del análisis probabilístico frente eventos o síntomas derivados de la ejecución de las actividades laborales, se demuestra que la mayoría de población trabajadora es antigua en la empresa, desempeñando los diferentes oficios que este proceso requiere, trabajan en una jornada de más de 8 horas diarias, dejando como resultado una serie de incidentes y molestias provocadas por dicha labor, a su vez, se porponen capacitaciones frente a la seguridad y salud en el trabajo para mejorar y salvaguardar al empleado.

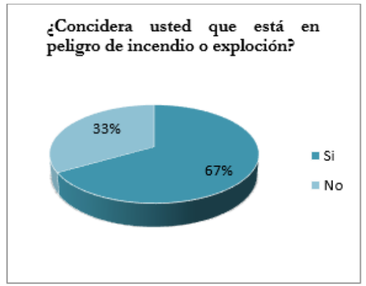
Gráficos y análisis "Área de cocimiento"

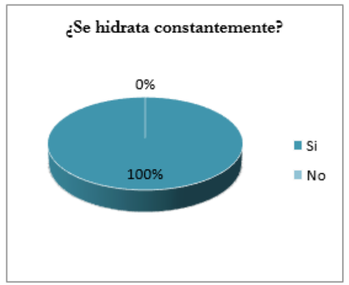
Con respecto al área de cocimiento, únicamente se encuentran tres personas que no realizan constante rotación. El siguiente análisis manifiesta lo encontrado en la encuesta desarrollada a los tres (3) trabajadores encargados de las calderas (ver Figura 6).

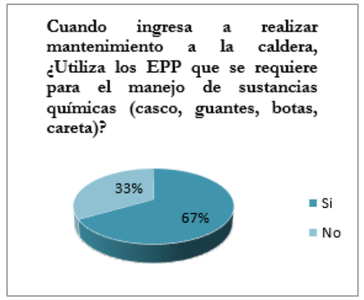












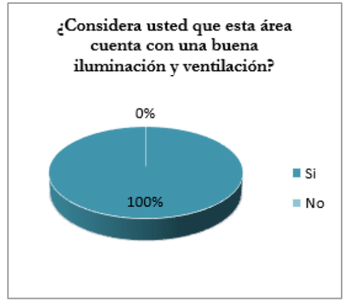


Figura 6. Área de conocimiento.

El área principal de este estudio es el proceso de cocimiento, puesto que su riesgo se encuentra clasificado en Riesgo III, según los encargados de direccionar este proceso, los participantes de la encuesta dieron como resultado positivo la inclusión de nuevas máquinas para el proceso de elaboración de gelatina de pata de res, lo cual les permite reducir esfuerzos físicos y también obtener una mayor producción, a pesar de ser un área con un riesgo más latente, la empresa Gelatinas Victoriana está cumpliendo con los requisitos necesarios para velar por el bienestar de sus empleados, ofreciendo a estos un lugar cómodo y con buena iluminación para realizar sus actividades, a pesar de que esta sea el área de más riesgos, por el hecho de estar en contacto directo con la materia prima y también por el peligro de una posible explosión.

Gráficos y análisis "Área de empaque"

El área de empaque está conformada por el mayor número de colaboradores, de los cuales se escogieron seis para que contestaran las siguientes preguntas (ver Figura 7).

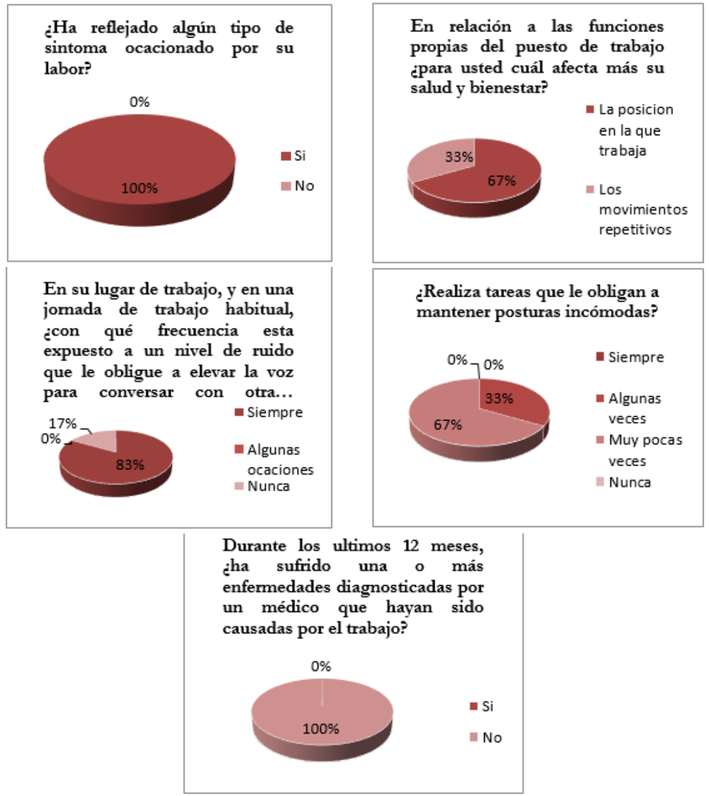


Figura 7. Área de empaque.

Los seis trabajadores participantes de la encuesta dirigida al área de empaque, refieren que han tenido molestias o síntomas derivados de su labor por permanecer en una posición incómoda y realizar movimientos repetitivos, también se obtuvo como resultado la exposición permanente al ruido, puesto que este sector de la empresa está junto a las áreas de maquinaria de enrollado y batido.

Gráficos y análisis "Área de batido"

Esta área solo requiere de la acción de dos personas, las que objetaron las siguientes preguntas (ver Figura 8).

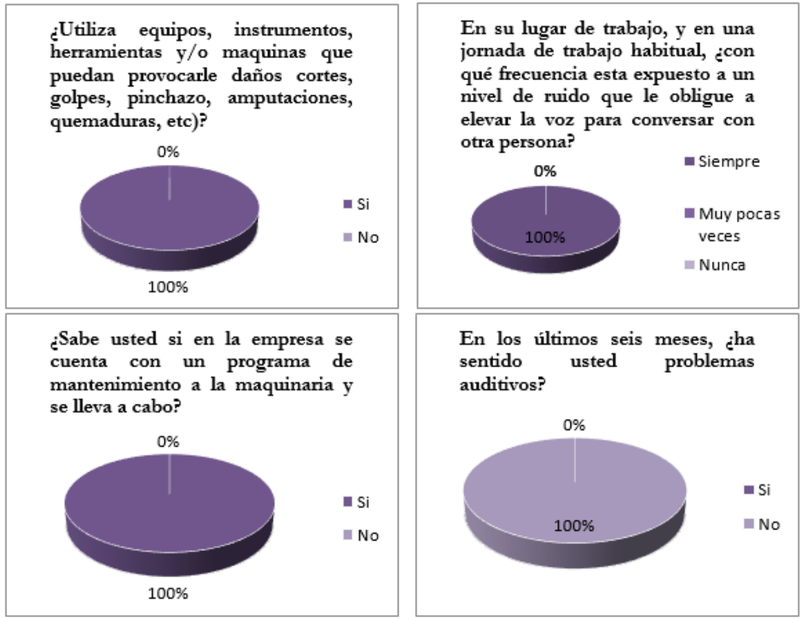


Figura 8. Área de barrido.

Los trabajadores a los cuales se le aplico la encuesta dejaron como evidencia un resultado del 100 % frente a la exposición frecuente al ruido y la necesidad de tener que elevar la voz para comunicarse con otra persona, sin causar un daño significativo, pero que a largo plazo puede traer consecuencias negativas a la salud del empleado, también el daño que le pueden ocasionar la manipulación de dicha máquina, causándoles posibles cortes o golpes durante su uso y molestias a la hora de conservar la misma posición y por las acciones repetitivas.

Gráficos y análisis "Área de enrollado"

La encuesta del área de enrollado se diseñó para los dos trabajadores, que entre sus actividades se encargan del manejo y el cuidado de ésta máquina, la siguiente exposición establece el debido análisis (ver Figura 9).

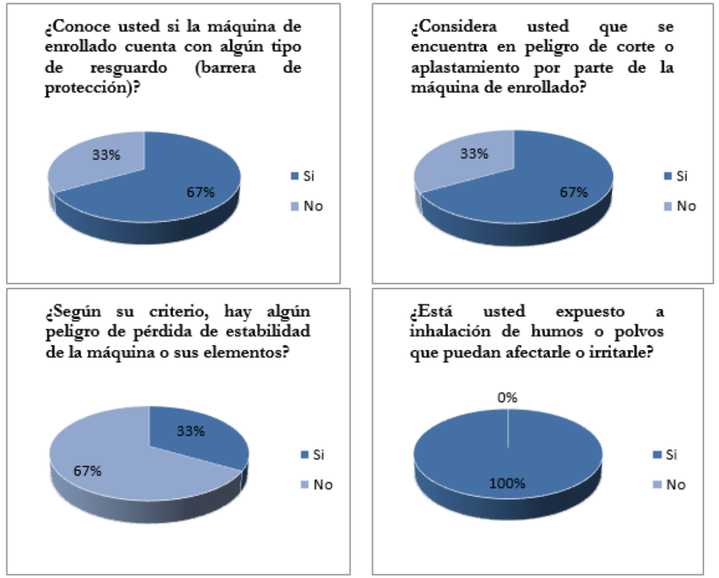


Figura 9. Área de enrollado

La encuesta aplicada a dos trabajadores que se desempeñan en esta área y están a cargo de esta máquina dio como resultado el peligro de sufrir un aplastamiento o corte, a pesar de contar con una barrera de protección, seguido de la explosión, de este riesgo los empleados también están en exposición a inhalar humos o polvos que afecten su bienestar.

Discusión

Con referencia a los riesgos laborales que se distinguen en la GTC45 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec], 2010) y a los que están expuestos los trabajadores en la elaboración de la gelatina de pata de res, es importante mencionar que esta actividad no es reconocida como una actividad comercial, por este motivo la empresa Gelatinas Victoriana no tiene establecido específicamente los riesgos implícitos de dicha labor, sin embargo, esta organización está actualizada con los requerimientos legales, lo cual le permite su funcionamiento y mejoramiento de procesos para mitigar eventos negativos dentro del desarrollo de sus actividades, además, es importante señalar que por no ser un riesgo reconocido a nivel social, no se encuentran investigaciones frente este acontecimiento, por tanto, el objetivo de esta investigación pretende tener la información suficiente para identificar y priorizar la evaluación de los riesgos, grado de exposición de estos mismos, las condiciones y el medio ambiente del trabajo, de esta forma constituir un programa de intervención y controles necesarios para preservar la salud de los trabajadores.

Recomendaciones

Con la ejecución de la lista de chequeo y las encuestas a la empresa Gelatinas Victoriana, se verificó el debido cumplimiento de los requisitos para mantener y salvaguardar el bienestar físico y psicológico de los trabajadores, dando como resultado el buen desarrollo de prácticas y procedimientos a la hora de realizar sus actividades, y también la implementación de su sistema de gestión en seguridad y salud en el trabajo, de esta forma, seguir mejorando las prácticas empleadas para el avance hacia la mejora continua de la organización.

Depués de observar y analizar los resultados de la aplicación de los instrumentos de recolección de datos según los riesgos más latentes, para establecer un diagnóstico de las condiciones laborales a las cuales se encuentran expuestos los trabajadores del área de cocimiento, enrollado, batido y empaque de la empresa Gelatinas Victoriana, se evidenció que la población objeto de estudio está expuesta a riesgos ergonómico, biomecánicos y físicos a causa de los movimientos repetitivos, posturas incómodas, contacto directo con las máquinas y altas temperaturas (calor). De igual manera, se encuentran susceptibles a adquirir enfermedades como síndrome de túnel carpiano, síndrome de estrés en la tibia medial, fracturas o algún tipo de afección musculoesquelética.

Asimismo, se identificó la carencia de un manual de funciones dentro de la empresa, lo cual incrementa el nivel de riesgo laboral (probabilidad de ocurrencia de accidentes, gravedad de la ocurrencia, inseguridad del medio), puesto que no se identifican los riesgos en su totalidad por proceso o tarea ejecutada en la elaboración de la gelatina.

Es recomendable para la empresa ejecutar capacitaciones semanalmente para que los empleados estén más involucrados en este aspecto, seguridad y salud en el trabajo, de esta manera, reducir posibles incidentes y que el trabajador se sienta cómodo en su sector de trabajo; además, se recomienda implementar la realización de pausas activas, lo cual permitirá un mejor desempeño de los trabajadores, disminuyendo su cansancio a la hora de cumplir con sus actividades rutinarias.

Conclusiones

Después de haber aplicado la metodología, se puede decir en términos generales que, las condiciones de seguridad y salud de los trabajadores de la empresa Gelatinas Victoriana al realizar sus actividades se están llevando de acuerdo a la normatividad, permitiendo un buen desarrollo en la ejecución de sus procesos; sin embargo, se exceptúan los siguientes factores, después de identificar que la población objeto de estudio se encuentra expuesta a niveles de alto potencial de riesgo físico y ergonómico, a causa de largas jornadas de trabajo, exposición a factores de diversa índole, por ejemplo, movimientos dobles o repetitivos, postura bípeda permanente y altas temperaturas.

Se aplicaron los instrumentos de levantamiento de información en una lista de chequeo y encuestas a la población trabajadora objeto del estudio y se pudo obtener un diagnóstico real de las condiciones de salud de los trabajadores, evidenciando así que la empresa propone capacitaciones mensualmente, encaminadas al cuidado de la salud física de sus colaboradores, los espacios con los que cuenta la empresa son considerados cómodos para la ejecución de las respectivas tareas; trabajadores de los cuales catorce, que equivale al 52 % de la población aproximadamente, fueron partícipes en la respectiva encuesta dirigida por áreas, las cuales fueron: cocimiento, batido, enrollado y empaque de la empresa Gelatina Victoriana, el 43 %, que equivale a seis trabajadores, refiere presentar patologías a causa de su labor en los brazos, manos y pies; el 86 %, que equivale a doce trabajadores, manifiesta haber sufrido en algún momento un incidente de trabajo; el 22 %, que equivale a tres trabajadores, manifiesta estar en peligro de explosión e incendio en su puesto de trabajo, pero el 100 %, que equivale a la totalidad de trabajadores encuestados, asegura la dotación y uso constante de los elementos de protección personal respectivos a su labor.

Conforme a la consolidación de la información recolectada, se define un plan de intervención con medidas de control planteadas, contemplando acciones, tanto en la fuente de generación como en el medio y la persona. Se logró compilar, estudiar y analizar la información necesaria para poder demostrar la necesidad mecanismos ideales para la conservación y monitoreo constante de las condiciones de salud de la población trabajadora.

Referencias

Álvarez, R. (2012). *Salud Pública y Medicina Preventiva* (4.ª ed.). México: Manual Moderno.

Romero, C. (2003). Paradigma de la complejidad, modelos científicos y conocimiento educativo. *Agora Digital*, *6* 1–10. Recuperado de http://rabida.uhu.es/dspace/bitstream/handle/10272/3518/b15761745.pdf?sequence=1

Congreso de Colombia. (2012). Ley 1562 de 2012. Por la cual se modifica el sistema de riesgos laborales y se dictan otras disposiciones en materia de salud ocupacional. Recuperado de https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Ley-1562-de-2012.pdf

Dessler, G. & Varela, R. (2011). *Administración de Recursos Humanos Enfoque Latinoamericano* (Trad. L. Pineda y V. Campos) (5.ª ed.). México: Pearson.

Domínguez, V., González, D. y Ramírez-Navas, J. (2013). Gelatina de pata de res. *La Alimentación Latinoamericana*, *307*, 58–63.

Gutiérrez, J. y Rico, J. (2011). *Diagnostico Y Plan De Acción De Buenas Prácticas De Manufactura En La Fábrica De Gelatinas Andaluza* (tesis de pregrado). Universidad de San Buenaventura, Cali, Colombia. Recuperado de http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/677/1/Diagnostico_Buenas_Andaluza_Guti%C3%A9rrez_2011.pdf

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec). (2010). Guía para la identificación de los peligros y la valoración de los riegos en seguridad y salud ocupacional. GTC45. Recuperado de https://idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/gtc450.pdf

Ministerio de Trabajo. (2014). Decreto 1477 de 2014. Por el cual se expide la Tabla de enfermedades laborales. Recuperado de http://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/36482/decreto_1477_del_5_de_agosto_de_2014.pdf/b526be63-28ee-8a0d-9014-8b5d7b299500



Editorial
UNIMAR
Universidad Mariana
Calle 18 No. 34-104 San Juan de Pasto
http://www.umariana.edu.co/EditorialUnimar/
http://ojseditorialumariana.com/