Colección Evento

Las ciencias ambientales y su avance sin fronteras

durante la pandemia



Jenny Lucía Huertas Delgado
Luz Nathalia Torres Martínez
Luis Gabriel Lafaurie Ponce
Jaime Efrén Insuasty Enríquez

Compiladores

Universidad Mariana
Res. MEN 1362 del 3 de febrero de 1983

Editorial UNIMAR

Las ciencias ambientales y su avance sin fronteras durante la pandemia

Jenny Lucía Huertas Delgado
Luz Nathalia Torres Martínez
Luis Gabriel Lafaurie Ponce
Jaime Efrén Insuasty Enríquez

Compiladores

Colección Evento

2022

Universidad Mariana
Res. MEN 1362 del 3 de febrero de 1983

Editorial UNIMAR



Catalogación en la publicación – Biblioteca Nacional de Colombia

Las ciencias ambientales y su avance sin fronteras durante la pandemia / compiladores, Jenny Lucía Huertas Delgado [y otros tres] -- San Juan de Pasto: Editorial Unimar: Universidad Mariana, 2022.

1 recurso en línea : archivo de texto: PDF. -- (Colección evento)

Incluye datos curriculares de los autores -- Incluye referencias bibliográficas.

ISBN 978-628-7548-14-5

1. Ciencias del medio ambiente - Investigaciones - Colombia 2. Evaluación del impacto ambiental - Colombia 3. Gestión ambiental - Colombia 4. Ordenamiento territorial - Colombia 5. Salud ambiental - Colombia 6. Energía solar - Colombia I. Huertas Delgado, Jenny Lucía, compilador

CDD: 333.709861 ed. 23 CO-BoBN– a1103778

Universidad Mariana
Res. MEN 1362 del 3 de febrero de 1983

Título del libro: *Las ciencias ambientales y su avance sin fronteras durante la pandemia*
e-ISBN: 978-628-7548-14-5
Formato: cm – Digital
Páginas: 590
Fecha: 2022

© Editorial UNIMAR, Universidad Mariana
© Jenny Lucía Huertas Delgado, Luz Nathalia Torres Martínez, Luis Gabriel Lafaurie Ponce y Jaime Efrén Insuasty Enríquez – Compiladores
© Jenny Lucía Huertas Delgado – Prologuista

Universidad Mariana

Hna. **Aylem del Carmen Yela Romo** f.m.i.
Rectora

Judy Basante Castro
Vicerrectora Académica

Ángela María Cárdenas Ortega
Directora de Investigaciones

Luz Elida Vera Hernández
Directora Editorial UNIMAR

Editorial UNIMAR

Luz Elida Vera Hernández
Directora Editorial UNIMAR

Ana Cristina Chávez López
Corrección de Estilo

Daniela Velásquez Tórres
Diseño y Diagramación

Jorge Cultid Reina
Diseño de banner

Correspondencia:

Editorial UNIMAR, Universidad Mariana
San Juan de Pasto, Nariño, Colombia, Calle 18 No. 34 – 104
Tel: 602 7244460 Ext. 185
E-mail: editorialunimar@umariana.edu.co

Depósito Digital

Biblioteca Nacional de Colombia, Grupo Procesos Técnicos, Calle 24, No. 5-60 Bogotá D.C., Colombia.

Biblioteca Hna. Elisabeth Guerrero N. f.m.i. Calle 18 No. 34-104 Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Colombia.

Disponible en: http://editorial.umariana.edu.co/libros

Cítese como: Huertas-Delgado. J. L., Torres-Martínez, L. N., Lafaurie-Ponce, L. G. e Insuasty-Enríquez, J. E. (Comp.) (2022). *Las ciencias ambientales y su avance sin fronteras durante la pandemia*. Editorial UNIMAR. https://doi.org/10.31948/editorialunimar.171

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, ellos 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.



Este libro está bajo licencia internacional Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0



Contenido

Prólogo 11

Diagnóstico 13

Efecto del cambio climático sobre la cuenca alta del río Pasto, departamento de Nariño, Colombia 14

Juan Pablo Toro Martínez

Cobertura y uso del suelo en el Santuario de Flora y Fauna Galeras y la zona con función amortiguadora 38

Wilmer Andrés Ordoñez Martínez, Germán Edmundo Narváez Bravo

Análisis bibliométrico sobre uso de humedales construidos para tratamiento de efluentes líquidos de industrias lácteas 53

Ana Victoria Chamorro Narváez, Suleidy Arjenis Cuarán Guaranguay, Tatiana Mañunga

Actuales rutas de conexión de los Corredores Biológicos en el municipio de Yacuanquer, Nariño 68

Giovanni Alexander Cuarán Páez, Emerson Danny Córdoba Bravo, Daisy Gabriela Guerrero Obando

Pasivos ambientales en Colombia: implicaciones y necesidades desde la política del país 82

María Alejandra Rodríguez Zapata, Cesar Augusto Ruiz Agudelo

Estimación de caudales medios mensuales mediante la generación estocástica y transformación lluvia-escorrentía 100

Francisco Mafla Chamorro, Facundo Ganancias, Andrés Rosero Legarda

Importancia ecológica de la apicultura en el mantenimiento y conservación de la biodiversidad y los agroecosistemas 118

Natalia Cardona Reyes, Laura Alejandra Cuellar Botello, Luis Alexander Carvajal Pinilla

Diseño de dos humedales artificiales a escala de laboratorio para el tratamiento del lodo proveniente de una planta de tratamiento de agua residual doméstica **132**

Betty Nayely España Bolaños, Tatiana Mañunga, Paola Ortega Guerrero

Remediación de suelos degradados con glifosato a partir de enmiendas orgánicas a escala laboratorio **153**

Dayana Vanesa Abahonza de la Cruz, Oswal Andrés Benavides Mejía, Cristian Polo Fajardo Escobar, Jenny Lucía Huertas Delgado

Efectos de una enmienda orgánica a base de porquinaza sobre las propiedades fisicoquímicas y erosión del suelo **168**

Paula Andrea Araujo Goyes, Karen Eliana Coral Pepinosa, Jenny Lucía Huertas Delgado

Evaluación de indicadores en áreas de restauración ecológica y uso pecuario. Reserva natural Encanto andino **176**

Yuli V. Cárdenas Jojoa, Rubén D. Guerrero Burbano, Sandra M. Madroñero Palacios

Elección del medio de soporte para un reactor anaerobio de crecimiento adherido **196**

Sebastián Camilo Moran Paz, Diana Carolina Romo Benavides, Tatiana Mañunga, Paola Ortega Guerrero

Simulación del desempeño hidrológico de techos verdes mediante el uso del software EPA SWMM **214**

José Duván Ordoñez Satizabal, Gloria Lucía Cárdenas Calvachi

Dinámica de flujos de lodos en la quebrada Mijitayo **222**

Jaime Efrén Insuasty Enríquez, Francisco Mafla Chamorro

Evaluación del comportamiento hidráulico de un filtro aerobio a escala laboratorio en la Sede Alvernia, Campus Universidad Mariana **233**

Viviana Marcela Cuaspud Chamorro, Mayerlin Solanyi Ipiales Melo, Gloria Lucía Cárdenas Calvachi

Ingeniería renovables 242

Dimensionamiento solar fotovoltaico usando System Advisor Model para proyectos rurales agrícolas sin red eléctrica compartida 243

Andrés Giovanny Carrión Granados, Luis Alejandro Arias, Juan Sebastián Solís Chaves

Almacenamiento de energía solar en sumideros térmicos 263

Alejandro Garza Galicia

Gestión ambiental 278

Reutilización de envases PET en fabricación de cubierta tipo domo 279

Ángela Cristina Zúñiga Guali, Jenny Paola Castillo Perdomo

Normas ISO 14001, Versión ISO 14001:1996, ISO 14001:2004, ISO 14001:2015 290

María Margarita Portilla González, Cristian David Muñoz Rosero, Narly Milady Rosero Solarte

Diagnóstico ambiental sobre aspectos e impactos generados durante el beneficio del café especial 300

Luis Alexander Carvajal Pinilla, Paula Julissa Calderón, Yicenia Marcela García

Una revisión sobre investigaciones en basura marina en Colombia: Aportes, desafíos y oportunidades 313

Javier Andrés Esteban-Muñoz, Dora Luz Gómez-Aguilar

Manejo integral de acueducto de la vereda Mejía del municipio de Yacuanquer 329

Yuliana Alejandra Montilla Gualguan, Rosa Hortencia Chamorro García, Johana Alejandra Ortega Salas, María Margarita Portilla Gonzáles

Programa ecoambiental para las empresas promotoras de turismo en Paicol, Huila 335

Janitza Endo Reyes, Luis Alexander Carvajal Pinilla

Alteración del río Suárez en el sector Boca Puente San Luis, por las actividades antrópicas y el vertido de las aguas residuales procedentes del municipio de Puente Nacional Santander **338**

Nelson Andrey Navas Gallo, Ginna Isabel Monsalve Delgado

Gestión Ambiental Pública para el desarrollo de la acuicultura de pequeña y mediana escala en Chile **347**

Christian Díaz Peralta, Catterina Sobenes Vennekool, Francisca Sandoval Martínez, Carolina Moya Pérez

Ordenamiento Territorial 363

Estimación de socavación local en Puentes. Caso de Estudio, Río San Pedro, Valle de Sibundoy **364**

Fredy Alejandro Galindo González, Francisco Ricardo Mafla Chamorro, Dickson Arturo Burgos Bastidas, Daniela Melissa Echeverría Ramírez

Microgeneración de energía renovable en Loja, Ecuador. Aporte a la política pública **386**

Alción de las Pléyades Alonso Frank, Lorena Fernanda Alvarado Rodríguez, Sandra Vanessa Valarezo Jaramillo, José Luis Galarza Viera

Soluciones para la estabilización de taludes mediante tecnologías o procesos basados en la conservación del medio ambiente. Una revisión del estado del arte **406**

Paula Alejandra Revelo Cabrera, Jenny Lucía Huertas Delgado

Avances en la gestión de riesgo en la región de La Mojana, Colombia **429**

Yeferson Andrés Buitrago, Valentina Hernández Castro, Ahsly Daniela Pachón Gómez

Salud y seguridad ambiental 438

Contaminantes atmosféricos y su relación con la salud de la población infantil en Colombia **439**

Daniela Alejandra Castillo Botina, Angie Lorena Urbano Pazos, Juan Carlos Narváez Burgos

Resúmenes 451

Las ciencias ambientales y su avance sin fronteras durante la pandemia

Jenny Lucía Huertas Delgado
Luz Nathalia Torres Martínez
Luis Gabriel Lafaurie Ponce
Jaime Efrén Insuasty Enríquez

Compiladores



Prólogo

El 7 y 8 de octubre de 2021, el programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad Mariana de Pasto, Colombia, llevó a cabo con éxito, el Segundo Congreso Internacional de Ciencias Ambientales, en el cual participaron conferencistas magistrales de Argentina, Chile, Brasil, Perú y Colombia.

Este evento académico se realiza cada dos años y tiene como principal objetivo, dar a conocer los avances que se ha gestado en temáticas relacionadas con las ciencias ambientales en diferentes zonas del país y América Latina, como parte fundamental de la divulgación del conocimiento entre docentes, estudiantes y la comunidad en general, interesada en estas temáticas.

Al congreso asistieron aproximadamente 400 personas de diferentes partes del país, así como representantes de universidades de México, Argentina, Chile y otros países latinoamericanos, con la importante participación de las colombianas, tanto del sector público, como del privado.

Las temáticas abordadas estuvieron enmarcadas en los siguientes ejes temáticos: Diagnóstico y remediación ambiental, Gestión ambiental, Salud, seguridad y responsabilidad ambiental, Energías renovables, Ordenamiento territorial y gestión del riesgo.

Se destaca la colaboración de los ponentes magistrales: Dra. Brigitte Baptiste, Rectora de la Universidad Escuela de Administración, EAN; Dr. Marcos Von Sperling, de la Universidad Federal de Minas Gerais, Brasil; Dr. Facundo Ganancias de la Universidad de Córdoba, Argentina; Dra. Martha Calvache, del Servicio Geológico Colombiano; Dra. Francisca Gálvez Hernández, de la Universidad Austral de Chile; Mg. Claudia Lorena Paz de la ONG Internacional Salud sin Daño para América Latina, Argentina; Dra. Tatiana Mañunga de la Universidad Mariana y, del Dr. Jorge Luis López Bulnes de la Universidad César Vallejo, Perú.

Además de las ponencias magistrales mencionadas, hubo 118 conferencias adicionales, distribuidas en ocho salas virtuales de la plataforma Meet, de acuerdo con los ejes temáticos, las cuales estuvieron moderadas por docentes y estudiantes del programa de Ingeniería Ambiental.

Ya que el Programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad Mariana está acreditado en alta calidad, nos compromete a seguir desarrollando este tipo de eventos encaminados a la divulgación y a la apropiación social del conocimiento, en aras de fortalecer el quehacer académico y cultural de nuestra región.

Jenny Lucía Huertas Delgado

Docente Universidad Mariana



Diagnóstico



Efecto del cambio climático sobre la cuenca alta del río Pasto, departamento de Nariño, Colombia

Juan Pablo Toro Martínez[1]

Resumen

Actualmente, la cuenca alta del río Pasto es fuente abastecedora de agua de consumo humano para el municipio de Pasto, capital del departamento de Nariño. Por esta razón, este estudio tuvo como objetivo principal, evaluar el efecto del cambio climático sobre el comportamiento hidrológico de la cuenca alta del río Pasto para el año 2050, haciendo uso del modelo hidrológico Soil Water Assessment Tool y la proyección climática a futuro del Modelo de Circulación General, HadGEM2-ES con la reducción de escala por el método estadístico de MarkSim®. Finalmente, se identificó que, la disponibilidad hídrica superficial tanto para el periodo 1985-2015 y el escenario de Trayectorias de Concentración Representativas 8.5 al año 2050, se encuentran bajo escasez severa. En ese sentido, en el 2050, la disponibilidad de agua dulce renovable per cápita anual se reduciría en un 49,57 %, lo que podría afectar negativamente el suministro y calidad del agua, los alimentos y la capacidad de uso del suelo. Por lo tanto, se debe establecer medidas de conservación y restauración de suelos y de la cobertura vegetal y, tecnificar los sistemas productivos de la zona alta de la cuenca.

Palabras clave: cambio climático; herramienta de evaluación de suelos y aguas (SWAT); modelación hidrológica; proyección climática; recursos hídricos.

Introducción

Los escenarios de cambio climático desarrollados recientemente a través de las Trayectorias de Concentración Representativas (RCP, por sus siglas en inglés) pronostican un aumento de la temperatura del aire de hasta 5 °C y cambios en los patrones de lluvia (incrementos en las regiones de latitudes altas y disminuciones en las regiones de latitudes medias) hasta 2100. El efecto del cambio climático

[1] Universidad de Manizales, Magíster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Correo electrónico: juanpablodx63@yahoo.com.co

será considerable para los países de América Latina, debido a su dependencia económica de la agricultura y, dado que el clima, el agua dulce y los sistemas biofísicos y socioeconómicos están intrincadamente interconectados, un cambio en uno de ellos induce un cambio en otro (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático -IPCC, por sus siglas en inglés, 2014; Erol y Randhir, 2012; Lehmann et al., 2013; Reed et al., 2013; Cai et al., 2016; Magrin et al., 2014; Marin et al., 2020; Bates et al., 2008).

En la actualidad, la relación entre el cambio climático y los recursos de agua dulce suscita una preocupación y un interés de primer orden. La cantidad y la calidad del agua es de plena importancia dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas y CEPAL (2018), mencionados directamente en el ODS 6 y, secundariamente, dentro de los ODS 3, 11, 12 y 15; por ello, para permitir que la gestión del agua haga frente a los desafíos futuros, el efecto del cambio climático debe cuantificarse desde las escalas regionales a las locales (cuencas) (Bates et al., 2008; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD, 2015; Marin et al., 2020; Kumar et al. 2017).

El uso de los modelos permite un enfoque sistemático, con el objetivo de cerrar la brecha existente entre la teoría y las observaciones. Una herramienta importante para asegurar la demanda de agua para los próximos años está representada por la modelización hidrológica. La Herramienta de Evaluación de Suelos y Aguas (SWAT, por sus siglas en inglés: *soil and water assessment tool*) es uno de esos modelos a escala de cuencas hidrográficas, desarrollado para estudiar la hidrología de estas cuencas y, el ciclo de nutrientes, en respuesta a los escenarios de manejo agrícola, cambio de uso de la tierra y clima y, es comúnmente y cada vez más utilizado, para estimar las influencias hidrológicas del cambio climático (Yang et al., 2005; Arnold et al., 2007; Xu et al., 2018).

Así, el modelo SWAT ha demostrado ser una de las herramientas más adecuadas para investigar y simular la respuesta de la corriente de una cuenca al cambio climático. Los componentes principales del modelo pertinente para el análisis hidrológico incluyen: clima, hidrología, crecimiento de plantas, manejo de la tierra, canalización y enrutamiento del reservorio. El modelo permite realizar modificaciones a los datos climáticos de entrada, elevación para tomar en cuenta el efecto orográfico sobre la precipitación (PRECIP) y temperatura, manipular los insumos del clima para simular el cambio climático y, predecir patrones climáticos futuros (Zhang et al., 2016; Pandey et al., 2019; Neitsch et al., 2005; Gassman et al., 2007).

Con relación a lo anterior, en todo el departamento de Nariño se espera a futuro, incrementos en la temperatura promedio para el año 2050, con valores entre 1,9 °C y 2,3 °C, lo que puede generar estrés por aumento de la temperatura en la subregión centro y amazónica. También se prevé una tendencia a la disminución en la PRECIP en los municipios de la región suroccidental, central y amazónica del departamento, por lo cual puede darse un desabastecimiento de agua para consumo humano, uso agrícola y pecuario (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, 2010; 2015).

La alteración del ciclo hidrológico por el cambio climático podría causar impactos sustanciales en la disponibilidad de los recursos hídricos; además, podría haber modificaciones en la escorrentía superficial (SURQ) (IPCC, 2014). Ante esta problemática, la Corporación Autónoma Regional de Nariño (CORPONARIÑO, 2008) afirma que, la cuenca del río Pasto debe ser priorizada puesto que, tiene una muy alta importancia a nivel departamental, por ser el primer soporte de suministro actual del recurso hídrico para el municipio de Pasto, en virtud de lo cual presenta una alta vulnerabilidad climática global; es decir, posee una alta vulnerabilidad socioeconómica y ambiental, indicando principalmente, un alto grado de pérdida o transformación de sus condiciones naturales, por lo que enfrenta mayores presiones y amenazas, dadas las dinámicas y procesos de desarrollo (Guevara et al., 2016).

Tomando en consideración los aspectos expuestos, es de suma importancia la cuantificación temporal y espacial de los componentes del ciclo hidrológico en la cuenca alta del río Pasto y la disponibilidad hídrica en el presente y futuro, ya que, con ello se aporta a la planificación territorial, al ordenamiento de la cuenca como medio natural y satisfactor de necesidades básicas y, al conocimiento de la magnitud de esta problemática en esta cuenca, fuente abastecedora de agua de consumo humano para el municipio de Pasto.

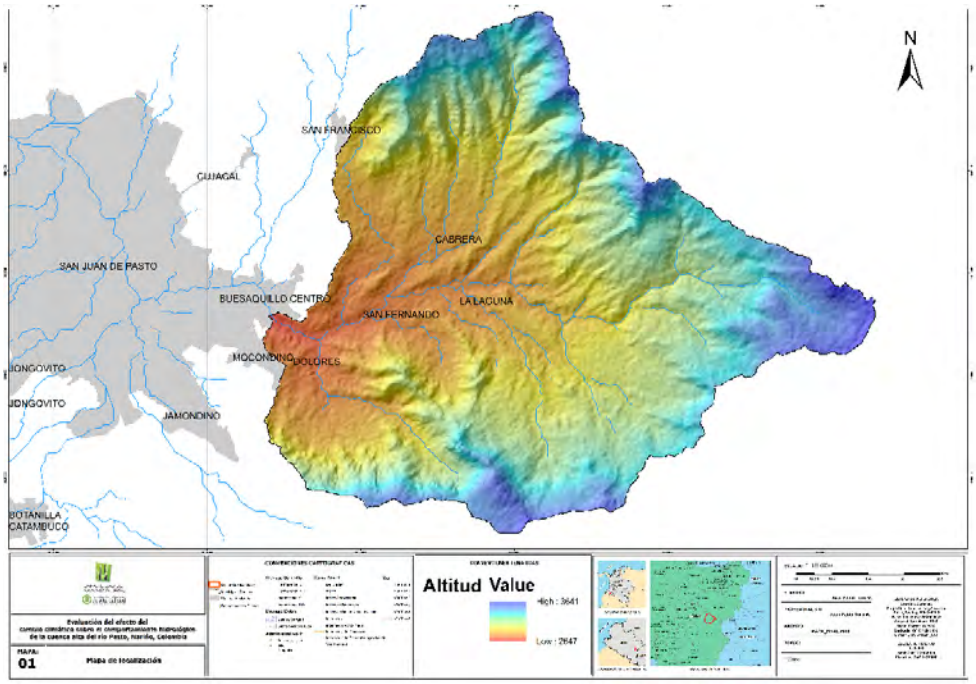
Desarrollo

Área de estudio

La cuenca del río Pasto se localiza al noroccidente del municipio de Pasto, como afluente del río Juanambú, dentro de la gran cuenca del río Patía. La cuenca del río Pasto tiene en total 48.258,6 ha; en esta se ubican 431.114 habitantes, que hacen parte de seis municipios, incluida la capital del departamento de Nariño. Del flujo principal del río Pasto se capta en la bocatoma El Centenario, el agua para abastecer gran parte de la ciudad de San Juan de Pasto (85 %) y cinco corregimientos (Cabrera, La Laguna, San Fernando, Dolores y Mocondino) (CORPONARIÑO, 2011; Moreno, 2013).

Figura 1

Mapa de ubicación de la cuenca alta del río Pasto, departamento de Nariño, Colombia



Metodología

Caracterización climática de la cuenca alta del río Pasto

Los datos de entrada del modelo SWAT son considerados la parte fundamental de esta investigación. Con respecto a la identificación de las variables climatológicas, estas fueron realizadas a partir de los registros de las estaciones meteorológicas ubicadas en la cuenca y sus alrededores, administradas por el IDEAM, con registros del periodo 1985-2015 (30 años), adaptados de Ocampo (2012).

Las variables climáticas requeridas fueron: brillo solar, humedad relativa, PRECIP total, temperatura (máxima, mínima y media) y radiación solar, las cuales fueron sometidas a un análisis exploratorio gráfico (Gráfica de normalidad), un análisis confirmatorio (Prueba de normalidad Shapiro-Wilks) a través del software Infostat y, finalmente, un ajuste por mínimos cuadrados para completar los datos faltantes en los casos en los que fue necesario, que, en su mayoría, no excedieron el 15 % del total. Con estos datos, se procedió a realizar la distribución espacial y el cálculo de las variables climáticas en la cuenca alta, para lo cual se aplicó la técnica de interpolación por método del inverso de la distancia al cuadrado (IDW) (Ocampo, 2012; Tabios y Salas, 1985).

La radiación solar fue calculada a escala diaria para cada una de las estaciones, partiendo de los registros de brillo solar y humedad relativa, empleando el modelo matemático recomendado por Ocampo (2012), elaborado por Swartman y Ogulande (1966), quienes proponen la siguiente ecuación:

$$H = 464 + 265\ D - 248\ R$$

...donde:

H: Radiación solar (langleys/min) (cal/cm^2.min)

D: Número de horas de brillo solar/12

R: Humedad relativa

Se resalta que, para el cálculo de la temperatura en la zona de estudio, fueron elaboradas las isotermas, tomando en consideración el gradiente altitudinal y los datos de las estaciones meteorológicas (Tabla 1), de acuerdo con la metodología propuesta por Fries et al. (2009).

Finalmente, una vez obtenida la distribución espacial y los valores dentro de la cuenca alta, se efectuó el análisis de la estadística descriptiva, considerando el período 1985-2015, a escala mensual y anual, empleando el software InfoStat (versión 2020), adaptado de Ocampo (2012). A continuación, se presenta las estaciones meteorológicas utilizadas en este estudio:

Tabla 1

Estaciones meteorológicas utilizadas, periodo (1985-2015)

Latitud	Longitud	Altitud (m s.n.m.)	Nombre	Código	Parámetros (Escala diaria)
1.39408333	-77.29086111	1796	Aeropuerto Antonio Nariño	52045020	Precipitación Temperatura
1.16	-77.27880556	2820	Botana	52055040	Humedad relativa
1.15994444	-77.16147222	2830	El Encano	47015100	
1.19822222	-77.30308333	2710	Obonuco	52045010	Brillo solar
1.20138889	-77.24777778	2740	Bocatoma Centenario	52047030	Caudal

Fuente: elaboración propia

Aplicación del modelo hidrológico SWAT para la cuenca alta del río Pasto

Las características físicas de la cuenca alta del río Pasto fueron obtenidas, en primera instancia, a partir de la revisión de fuentes primarias y secundarias; en especial, el Plan de ordenamiento del cauce principal del río Pasto (CORPONARIÑO, 2008;

2011) y el Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Juanambú (2017), realizados por CORPONARIÑO. Esta información fue solicitada, contrastada y ajustada siguiendo los requerimientos de este estudio e, información derivada a partir de imágenes satelitales provenientes del sensor Maxar del año 2016 y Sentinel-2 del año 2017 (ID: L1C_T18NTG_A010790_20170716T154039), para la actualización y obtención de mayor detalle de la cobertura vegetal de la cuenca.

Las categorías de uso y cobertura de la tierra fueron reclasificadas de acuerdo con el listado de especies de plantas, disponible en la base de datos de SWAT, los cuales se encuentran en el apéndice A de SWAT (2012), en donde se agrega al modelo, la información fisiológica de las plantas, como el crecimiento vegetal, el agua de la zona de la raíz, la transpiración y producción de biomasa (González, 2016).

En segunda instancia, se obtuvo el Modelo de Elevación Digital (DEM) de alta resolución (12,5m) a partir de la plataforma *Alaska Satellite Facility*, conseguido a través del sensor ALOS PALSAR.

En cuanto a la información edafológica, esta fue obtenida usando las herramientas de procesamiento y, tomando como referente, la información reportada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2017) (escala 1:100.000), CORPONARIÑO (2011) (escala 1:25.000), Moreno (2013) (escala 1:25.000) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (2013) (escala 1:5.000.000). Adicionalmente, se acopló en el modelo, la base de datos meteorológica global *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR), la cual posee datos climáticos diarios desde 1979 a 2014 (Reshmidevi et al., 2018).

Calibración y validación del modelo SWAT para la cuenca alta del río Pasto

Parte fundamental del modelo, es calibrar y validar los valores obtenidos; para ello, fue necesario ajustar el modelo inicial, partiendo de los escenarios observados y simulados. En este caso, la calibración se realizó con el algoritmo SUFI-2 (*Sequential Uncertainty Fitting Version 2*) haciendo uso del software SWAT-CUP 2019, versión 5.2.1 (SWAT *Calibration*, *Uncertainty Procedures*). Este es un procedimiento de modelado inverso semi-automatizado que combina optimización (calibración y análisis de sensibilidad) y análisis de incertidumbre.

La estación empleada para la calibración y validación fue la de la salida de la cuenca alta; en este caso, la estación limnigráfica de la bocatoma Centenario, haciendo uso de los valores del caudal diario para un periodo de calibración de cuatro años y un periodo de validación de los cuatro años siguientes. Para llevar a cabo la verificación del modelo, se utilizó como parámetro de entrada, aquella combinación que arrojó un mejor ajuste en la etapa de calibración, lo cual permitió corroborar el ajuste que presenta el modelo al simular el comportamiento de la cuenca para otros años diferentes a los utilizados para ser calibrado (González, 2016; Moreno, 2013).

En cuanto al análisis estadístico para conocer el ajuste del modelo, se aplicó las pruebas del coeficiente de Nash-Sutcliffe, porcentaje de sesgo (PBIAS) y el coeficiente de determinación (R^2), los cuales fueron obtenidos tanto para los periodos de calibración, como de validación (González, 2016).

Estimación del efecto del cambio climático sobre la respuesta hidrológica de la cuenca alta para el año 2050

Para la obtención de las condiciones esperadas bajo los escenarios de cambio climático futuro en la cuenca alta, se hizo uso del Modelo de Circulación General (GCM) HadGEM2-ES (Hadley Centre Global Environmental Model versión 2, Earth System Model) con la reducción de escala por el método estadístico de la plataforma MarkSim® (González, 2016; Jones y Thornton, 2013). Este modelo posee información de dirección, magnitud e incertidumbre de las anomalías de temperatura de los 17 modelos contenidos en toda la plataforma MarkSim® **(**Stocker et al., 2013).

Para estimar el efecto del cambio climático sobre la respuesta hidrológica, se comparó las salidas del modelo hidrológico SWAT de la línea base (1985-2015) y el escenario futuro RCP 8.5 al año 2050, bajo el modelo con reducción de escala HadGEM2-ES, adaptado de González (2016).

Identificación de la disponibilidad hídrica per cápita para uso humano año 2050

Para este aspecto se usó el indicador de disponibilidad de agua dulce renovable per cápita (AWR), desarrollado por Falkenmark et al. (1989), que establece la relación entre la población y la cantidad de agua disponible en las principales fuentes de agua, medida en términos de SURQ (Tabla 2) (FAO, 2013; UNESCO, 2009; Ocampo, 2012; González, 2016).

Para ello, se utilizó la producción de agua media (WYLD) obtenida por simulación hidrológica, como oferta hídrica superficial (González, 2016). Para conocer la población del escenario futuro se aplicó el método exponencial que se encuentra descrito en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS Título B (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2014), haciendo uso de la proyección poblacional del municipio de Pasto, dispuesta en la base de datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2007), desde el año 2005 hasta el año 2020, con el fin de obtener el valor esperado para el año 2050.

Tabla 2

Categorías del índice de disponibilidad per cápita de agua

Índice de disponibilidad per cápita de agua (m^3/hab-año)	Categoría	Observación
1700 - 1001	Estrés Hídrico	Ampliar las medidas de adaptación y adecuar dispositivos para el aprovechamiento de aguas lluvias y subterráneas.
1000 – 501	Escasez de agua	Implementar medidas de ahorro y uso eficiente del agua.
< 500	Escasez severa de agua	Existen problemas imposibles de superar; el desarrollo económico se restringe fuertemente.

Fuente: elaborado a partir de información del IDEAM (2008); Ocampo (2012)

Resultados

Condiciones climáticas de la cuenca alta durante el periodo 1985-2015

A partir de la información de estas estaciones y su procesamiento a través del método IDW (para el caso de PRECIP, humedad relativa y brillo solar), el método de Fries et al. (2009) (para temperatura) y, el método de Swartman y Ogulande (1966) (para radiación solar), se determinó las condiciones climáticas de la cuenca alta en donde, a nivel estadístico, se presenta los siguientes resultados:

Tabla 3

Estadística descriptiva para los parámetros climáticos multianuales de la cuenca alta del río Pasto, periodo 1985-2015

Parámetro	Precipitación total anual (mm/año)	Temperatura media anual (°C)	Humedad relativa media anual (%)	Brillo solar total anual (hora/año)	Radiación solar media diaria (kWh/m^2)
Años evaluados	31	31	31	31	31
Media	1124.6	9.7	82.71	973.32	3.77
Mínimo	780.73	9.13	80.41	652.96	3.63
Máximo	1558.32	10.16	84.69	1163.91	3.88
Mediana	1094.22	9.71	82.88	1007.23	3.77

Desviación estándar	173.01	0.23	1.05	125.82	0.07
Error estándar	31.07	0.04	0.19	22.6	0.01
Coeficiente de variación	15.38	2.36	1.27	12.93	1.75

Fuente: este estudio

La Tabla 3 evidencia que, la media de la PRECIP total anual de la cuenca alta del río Pasto es de 1124.6 mm/año ± 173.01 para el periodo 1985-2015, donde se aprecia una alta variabilidad temporal a nivel anual, representada por el coeficiente de variación, permitiendo inferir que, la PRECIP es la que presenta mayor dispersión en los datos, debido a la presencia de años con eventos marcados de más lluvias y menos lluvias en la zona de estudio, lo cual pudo tener repercusiones en la disponibilidad de agua para consumo humano y los requerimientos del ecosistema y los agroecosistemas. En este sentido, la diferencia entre el año con mayores lluvias y menores es de 777.59 mm, lo que equivale a un rango de variación de hasta el 49,9 %, que corresponde a los años 1999 y 1992, respectivamente.

En cuanto a la temperatura media anual de la cuenca alta del río Pasto desde el año 1985 hasta 2015 es de 9.7 °C ± 0.23. En este aspecto, se resalta el comportamiento creciente durante los años 2014 y 2015, evidenciando diferencias de hasta 1.03 °C entre el año más cálido, es decir, el año 2015 y el año más frío, el cual corresponde a 1985, mostrando un rango de variación de hasta el 10,13 %.

Referente a eventos extremos en la cuenca alta del río Pasto, se puede distinguir que, los años con la reducción más drástica en la PRECIP, son: 1992, 2015 y 1995, con un cambio porcentual del -30,57 %, -20,94 % y -20,76 %, respectivamente (Figura 2); sin embargo, también se observa una disminución de la PRECIP durante el periodo 2001-2004, con valores por debajo de la media multianual de -14,04 %, -17,41 %, -16,06 % y -9,89 %, lo cual concuerda con lo reportado por Duque (2016) y el Plan de manejo ambiental integral, Humedal Ramsar Laguna de La Cocha (Álvarez, 2015), en donde se reporta una disminución en las lluvias en 1991-1993, 2001 y 2004. A su vez, el IDEAM (2018) afirma que, el fenómeno de El Niño a nivel nacional tuvo su más fuerte manifestación en los años 1991-1992, 1997-1998, 2009-2010 y 2015-2016, en donde hubo grandes eventos de sequía.

Por otra parte, los años en los que la zona de estudio evidencia valores por encima de la media están en: 1999, 2011, 1996 y 2008, en donde se observa incrementos en la PRECIP, de 38,56 %, 27,94 %, 19,6 % y 19,17 %, años en los que, según las referencias anteriores, se presentaron los efectos del fenómeno de variabilidad climática de La Niña (Figura 2).

Respecto a lo anterior, la alta variabilidad en la PRECIP implica que, lo más predecible es que en la zona de estudio solo sobrevivan aquellas especies adaptadas al estrés hídrico y a eventos con exceso de lluvias, aspectos que deben

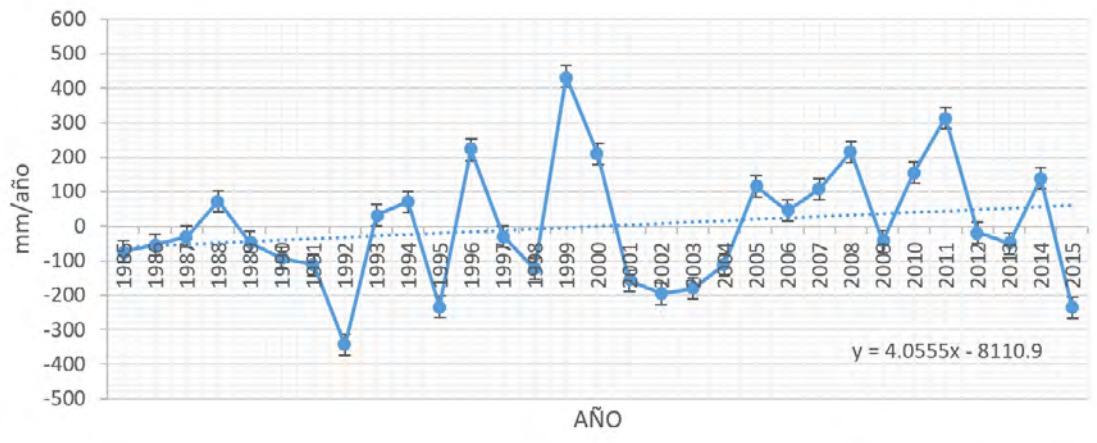
ser tenidos en cuenta al momento del establecimiento de un cultivo o, cuando se trate de la protección y conservación de las coberturas naturales existentes (Ruiz y Molano-González, 2017).

Por su parte, en el comportamiento de la temperatura se puede observar valores por encima de la media anual, especialmente durante los años 2015, 1998, 2014 y 1987, con incrementos porcentuales del 4,76 %, 3,93 %, 3,52 % y 3,52 % respectivamente, fechas en las cuales se presentó el fenómeno de El Niño (Figura 3). En cuanto a los años con temperaturas por debajo de la media multianual, estos se manifestaron durante 1985, 1999, 2000 y 2008, con reducciones de -5,85 %, -3,38 %, -3,17 y, -3,17 %, respectivamente. Al respecto, el IDEAM (2018) sostiene que, los años en donde el fenómeno de La Niña se reveló de manera más fuerte, fue durante 1988-89, 1998-99, 2000-01, 2007-08, 2010-11, 2011-12, coincidiendo en su mayoría, con los resultados de esta investigación.

En este sentido, se debe enfatizar en la necesidad de un análisis de la influencia del cambio de uso y cobertura del suelo, debido a efectos de las características naturales de la superficie. Así, los efectos sobre el comportamiento hidrológico no solo son explicados por los eventos climáticos, sino también por los cambios en la cobertura del suelo en la cuenca, específicamente, los relacionados con la remoción de la cobertura vegetal natural, la expansión de las zonas bajo cultivos, el sobrepastoreo y el aumento del área bajo uso residencial, de lo cual se prevé que puede provocar un aumento de la transpiración y, con ello, la disminución del caudal base. No obstante, se ha observado que los caudales durante las épocas de menos lluvias muestran tendencias decrecientes en el flujo superficial, lo cual incrementa claramente el riesgo por desabastecimiento de agua para consumo humano (Moreno y Lourenço, 2018; Taye et al., 2015).

Figura 2

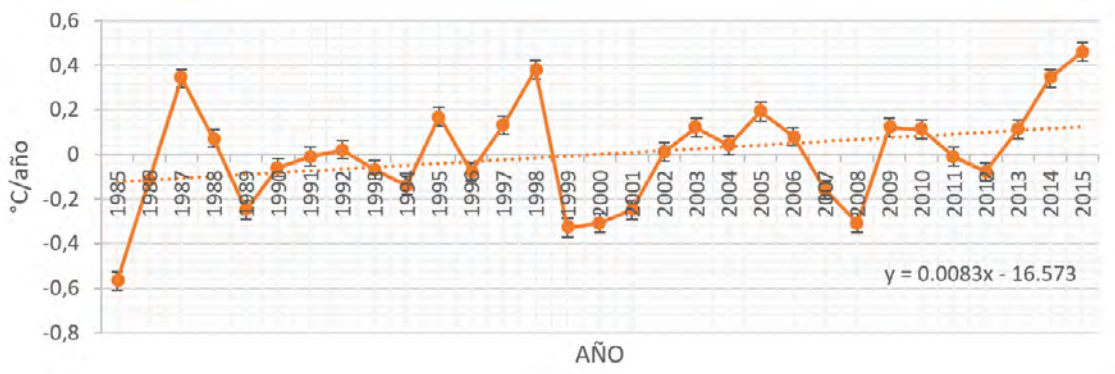
Anomalías en la precipitación total anual de la cuenca alta del río Pasto, periodo 1985-2015



Fuente: este estudio

Figura 3

Anomalías en la temperatura media anual de la cuenca alta del río Pasto, periodo 1985-2015



Fuente: este estudio

Calibración y validación del modelo SWAT para la cuenca alta del río Pasto

La calibración del modelo SWAT se realizó para un punto en la cuenca, con datos disponibles de descarga diaria que corresponde a la bocatoma El Centenario. Los resultados de la calibración y validación (Figura 15 y Figura 16) muestran que, el p-factor para la calibración fue del 81 % al finalizar 500 simulaciones y dos iteraciones, obteniendo así un valor superior al 70 %, que es el recomendado por la literatura, lo que asegura la representación de todas las incertidumbres de los parámetros (Abbaspour et al., 2015; Yang et al., 2008). El rendimiento de la simulación respecto a R^2 y NS fue evaluado según la clasificación establecida por Parajuli et al. (2009) y, para el caso de PBIAS, se utilizó los criterios de Moriasi et al. (2007).

Durante la etapa de calibración (1994-1998), el R^2 presentó un valor bueno; respecto al criterio de NS, este también se considera como bueno y, finalmente, el porcentaje de sesgo PBIAS se clasificó como satisfactorio. Durante la validación (1999-2003) se obtuvo un R^2 bueno con 0,52, un NS aceptable con 0,49 y, un PBIAS que se considera bueno, con 11,34. Bajo este criterio, se considera los estadísticos más importantes dentro del ajuste hidrológico, la eficiencia de Nash-Sutcliffe y el porcentaje de sesgo, debido a que el R^2 no brinda información sobre la dirección de la relación entre las variables (Molnar, 2011; Moriasi et al., 2007; Abbaspour et al., 2004).

En este caso, la diferencia en los ajustes de los caudales puede deberse a la alta actividad antrópica en la zona, que incluye la extracción de agua para consumo doméstico, consumo animal y riego. De la misma manera, se cree que las pequeñas subestimaciones pueden ser consecuencia de la alta porosidad y las altas conductividades hidráulicas presentes en los suelos de la cuenca, lo que provoca que el modelo SWAT interprete la existencia de una mayor infiltración de agua hacia el subsuelo y que esta no sea redirigida a los caudales principales.

Tabla 4

Estadísticos del ajuste hidrológico del modelo SWAT en la cuenca alta del río Pasto

Periodo de análisis	Fase del modelo	R^2	NS	PBIAS
1994-1998	Calibración	0.67	0.52	20.44
1999-2003	Validación	0.52	0.49	11.34

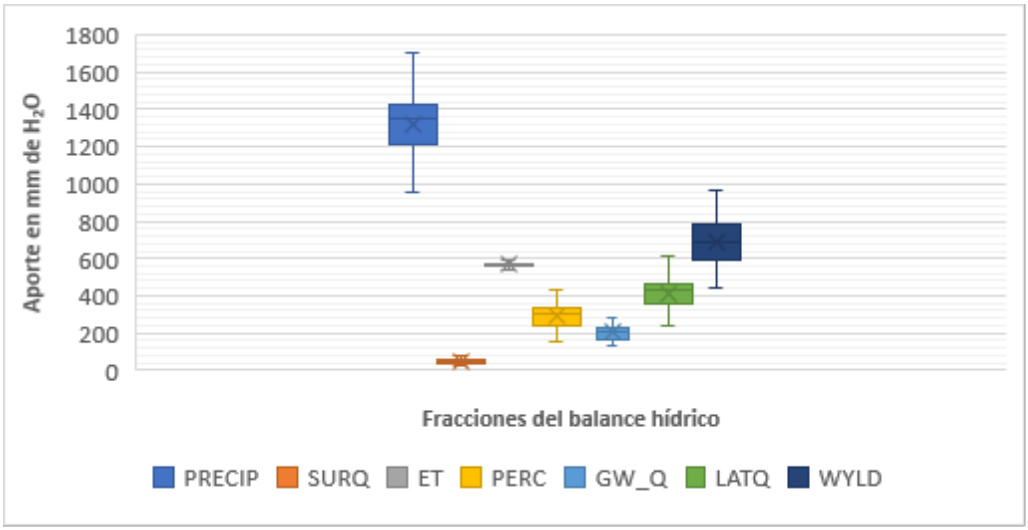
Fuente: este estudio

Estimación del efecto del cambio climático sobre la respuesta hidrológica de la cuenca alta para el año 2050

El aporte medio anual de las fracciones del balance y WYLD en la cuenca alta del río Pasto durante la línea base de simulación (1985-2015) se muestra en la Figura 4, donde el 52 % de la PRECIP se convierte en WYLD. Esta se compone de 7,03 % de SURQ, 29,81 % de flujo base (GW_Q) y, 60,46 % de escorrentía lateral (LATQ). La evapotranspiración actual (ET), percolación (PERC) y recarga de acuíferos representan (GW_RCHG) el 42,96 %, 21,88 % y 20,09 % de la PRECIP pluvial, respectivamente. La recarga hídrica (GW_RCHG) anual en el período base es igual a 264.65 mm.

Figura 4

Aporte medio anual de las fracciones del balance hídrico y producción de agua en la línea base (1985-2015) en la cuenca del río Pasto



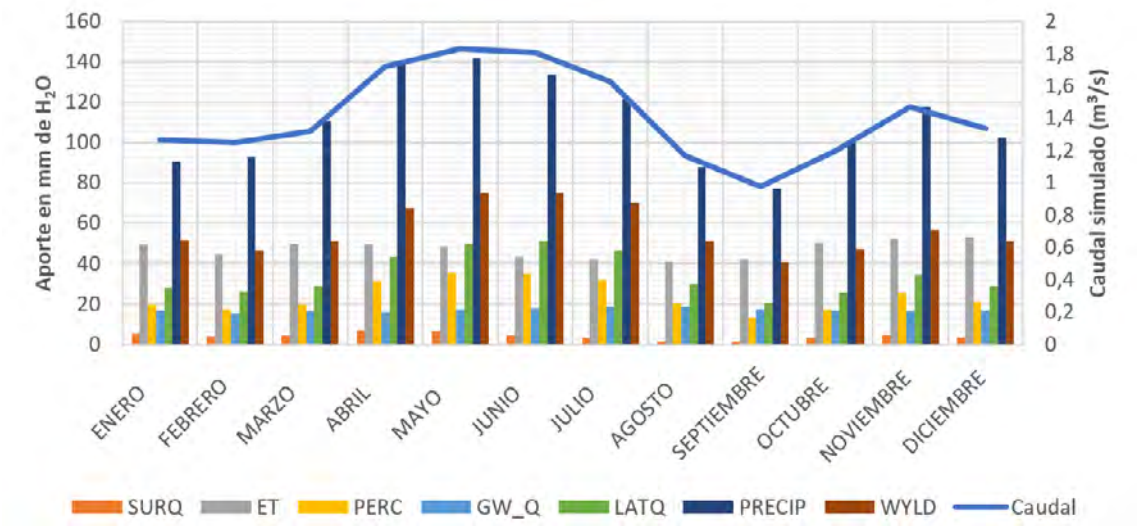
Fuente: este estudio

Por otro lado, se tiene el aporte promedio de la línea base a lo largo del año (Figura 5), donde la PRECIP mínima del periodo base ocurre en septiembre, con 77.47 mm y la máxima en mayo, con 141.87 mm. A su vez, la mínima WYLD fue en septiembre

(40.73 mm) y la máxima en mayo (75.17 mm). En cuanto a la evapotranspiración mínima, esta se observó en agosto con 41.19 mm y la máxima en diciembre con, alrededor de 52.92mm. Finalmente, el caudal simulado medio anual en la salida de cuenca alta del río Pasto fue 1.41 m^3/s, presentándose los valores más altos durante el mes de septiembre con 0.98 m^3/s y máximos en mayo con 1.83 m^3/s.

Figura 5

Aporte mensual medio de las fracciones del balance hídrico, producción de agua e hidrograma anual de la línea base de simulación (1985-2015), en la cuenca alta del río Pasto



Fuente: este estudio

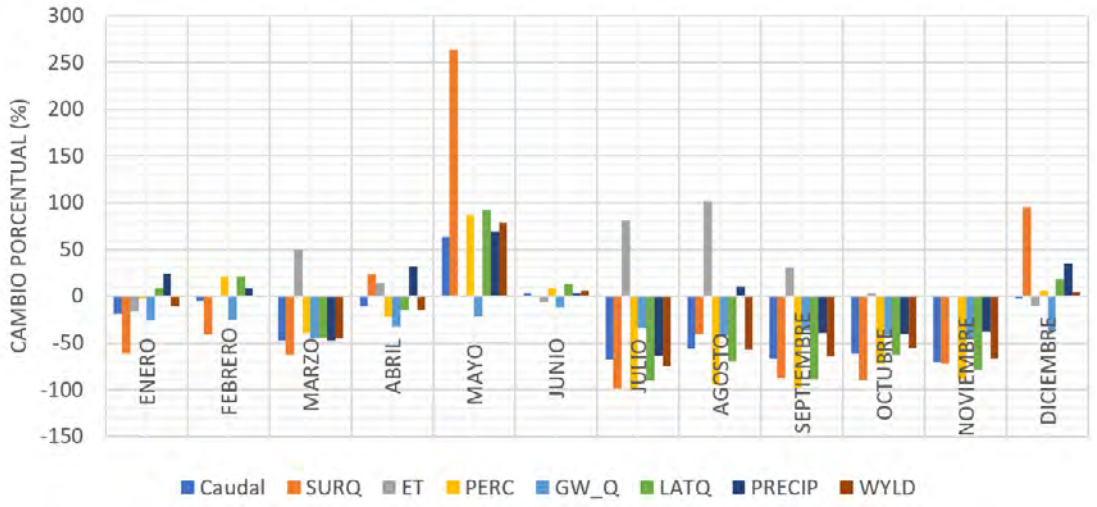
Para evaluar el efecto del cambio climático futuro se comparó las salidas del modelo hidrológico SWAT de la línea base (1985-2015) y, el escenario futuro RCP 8.5 al año 2050, bajo el modelo con reducción de escala, HadGEM2-ES. A través de ello, se obtuvo que, para el año 2050 se tiene cambios anuales de -1,94 %, +19,01 %, -21,23 % y -26,11 % para PRECIP, ET, WYLD y PERC, respectivamente. De esta forma, la Figura 6 muestra el cambio medio durante el año 2050; la PRECIP en junio presentará el menor cambio, +3,19 % (4.26 mm) y el máximo en mayo (+68,65 %) y julio (-63,36 %), 97.4 mm y -76.98 mm, correspondientemente, aunque mayo seguirá siendo el mes más lluvioso con 239.27mm. La evapotranspiración real (ET) tendrá su mayor cambio en agosto, con +102,26 % (42.12 mm); y el mínimo cambio en noviembre, -0,19 % (0.1 mm). La WYLD experimentará su más drástico cambio en julio, -74.53 % (-52.43mm); sin embargo, se observa disminuciones considerables durante todo el periodo de julio a noviembre; caso contrario sucede en febrero, en donde se presenta el cambio más pequeño con un +0,06 % (0.03 mm). A partir de ello, se infiere que, el balance hídrico en esta área de estudio se vio afectado no solo por la PRECIP, sino también, porque fue sensible al cambio de temperatura.

En esta forma, se puede resaltar que las actividades agrícolas intensivas como los monocultivos y el pastoreo presentes en la zona, pueden reducir la rugosidad de la superficie de la tierra y disminuir el almacenamiento de agua del suelo; adicionalmente, la pérdida de cobertura forestal disminuye la capacidad para interceptar la PRECIP, lo que permite que una mayor SURQ ingrese en los arroyos. Por ello, una gestión integral de las cuencas hidrográficas, especialmente bajo protección y conservación, sería la clave para asegurar una fuente confiable de agua en cantidad y calidad (Baker y Miller, 2013; Busman y Sands, 2002; Ghaffari et al., 2010; Ahiablame et al., 2017; Zhou et al., 2011).

Ante estos resultados, es útil comprender los cambios en el balance hídrico, acoplando el cambio climático con las dinámicas de uso y cobertura de la tierra para así, planificar bajo una gestión integral del agua combinada, con la gestión del riesgo climático. Se recomienda, en el menor tiempo posible, establecer medidas de conservación de suelos y de la cobertura vegetal de la zona alta, con el fin de anticiparse a los probables impactos negativos.

Figura 6

Cambio porcentual medio mensual de las fracciones del balance hídrico para el escenario RCP 8.5 al año 2050, con respecto a la línea base (1988-2015), en la cuenca alta del río Pasto



Fuente: este estudio

Por otra parte, la Tabla 5 permite inferir que, a lo largo del año, bajo el escenario RCP 8.5 a 2050, en la cuenca alta del río Pasto se espera que la variabilidad incremente levemente para GW_Q (6-15 %), moderadamente para ET (entre 15 % y 35 %) y, severamente para SURQ, PERC, Flujo lateral (LATQ), WYLD, Caudal (Q) y PRECIP (> 35 %). A partir de ello, se debe resaltar que, los resultados de la simulación conducen a una alta variabilidad entre los valores de escorrentía superficial y caudal, por lo cual se puede esperar un aumento bastante alto de la descarga,

que incrementará el riesgo de inundaciones en áreas bajas y también de sequías fuertes; de la misma forma, las altas incertidumbres de los cambios esperados en la lluvia se traducen en altas incertidumbres en los cambios simulados de la descarga y otros componentes del balance hídrico.

Aun así, se debe enfatizar que, los efectos esperados por el cambio climático, combinados con el uso y cobertura de la tierra, pueden intensificar las respuestas futuras de los caudales; a manera de ejemplo, en la cuenca del río James en Estados Unidos, el cambio de uso del suelo conduciría a un aumento del 6 % al 8 % en el caudal anual en 2055 y, del 12 % al 18 % en 2090. Adicionalmente, es probable que el cambio climático provoque un aumento del 8 % al 48 % para mediados de siglo y, un aumento del 17 % al 41 % en el caudal anual para fines del siglo. En este caso, se infiere que, el impacto del uso futuro del suelo y el cambio climático sugieren notables alteraciones hidrológicas durante el siglo XXI, donde el cambio climático representaría un papel principal en la alteración del caudal (Ahiablame et al., 2017).

Tabla 5

Coeficiente de variación (CV) durante para la línea base y escenario futuro RCP 8.5 a 2050, modelo HadGEM2-ES para la cuenca alta del río Pasto

Variable		Línea base		RCP 8.5 al 2050	
Media mensual		(1988-2015)			
		CV (%)	Media mensual	CV (%)	
Q	Caudal m^3/s	1.42	19.39	1.07	72.68
SURQ	Escorrentía superficial (mm)	4.01	45.91	4.37	154.36
ET	Evapotranspiración real (mm)	47.16	8.88	56.13	25.23
PERC	Percolación (mm)	24.02	31.58	17.75	109.49
GW_Q	Flujo base (mm)	17.02	6.55	11.33	16.92
LATQ	Flujo lateral (mm)	34.52	30.29	27.98	96.94
PRECIP	Precipitación(mm)	109.78	19.29	107.64	55.08
WYLD	Producción de agua (mm)	57.09	20.8	44.97	76.72

Fuente: este estudio

En la línea base se observa que la época de más lluvias se concentra durante aproximadamente cuatro meses, que van desde abril hasta julio; no obstante, en el escenario futuro (Figura 7) se visualiza que, este periodo se ubica únicamente entre los meses de abril a junio, resaltando que, en el año 2050, las precipitaciones medias mensuales durante esa temporada serán mucho más altas que las

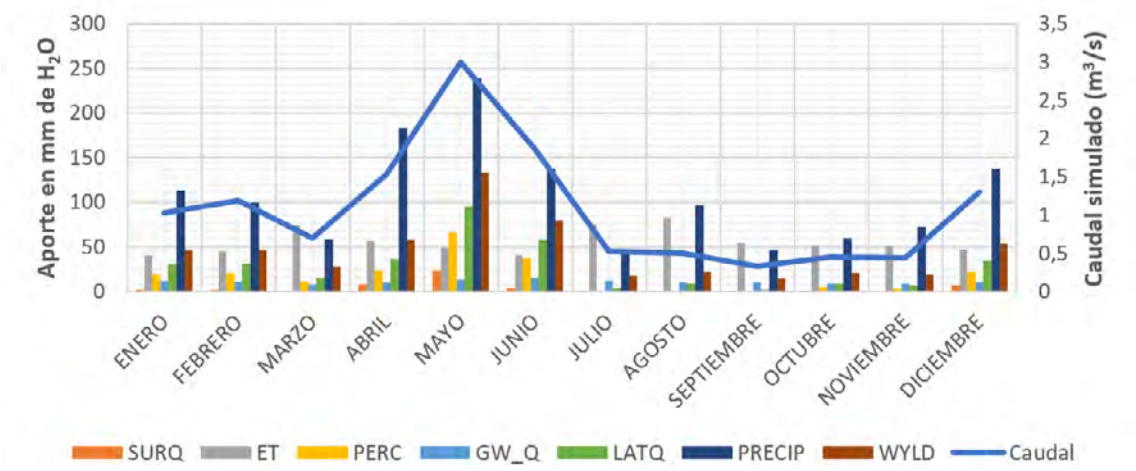
registradas durante la línea base, con un incremento cercano al 4,5 % en esos meses. Se resalta que, la diferencia entre el mes más lluvioso de la línea base y el del año 2050 es de 97.4 mm (mayo); esto puede atribuirse a la naturaleza compleja de los procesos de PRECIP y su distribución en el espacio y el tiempo (Chaemiso et al., 2016).

En cuanto a las épocas de menos lluvias, se observa un fenómeno opuesto, en donde en el año 2050 se esperaría meses mucho más secos que los registrados durante la línea base, con disminuciones de aproximadamente el -23,42 % durante agosto a octubre. Cabe enfatizar que, la diferencia entre el mes más seco de la línea base y el escenario futuro (septiembre), es de -30.71 mm (-39,64 %).

En ese orden de ideas, durante la época de más lluvias, la ET presenta un incremento de 21,17 % (38.84 mm); en cuanto a la época de menos lluvias, se espera un incremento del 42,55 % (56.84 mm). Por su parte, la WYLD disminuirá -17.17 mm (-5,95 %) en la época de más lluvias y, -81.6 mm (-58,56 %) en la temporada de menos lluvias. Se pretende que estos hallazgos contribuyan al desarrollo y aplicación de políticas efectivas de gestión del riesgo del cambio climático por parte del gobierno local, de acuerdo con el potencial de inundaciones y sequías en la cuenca.

Figura 7

Aporte mensual medio de las fracciones del balance hídrico, producción de agua e hidrograma anual del escenario futuro RCP 8.5 a 2050, modelo HadGEM2-ES en la cuenca alta del río Pasto



Fuente: este estudio

Identificación de la disponibilidad hídrica per cápita para uso humano, año 2050

La disponibilidad hídrica superficial para la cuenca del río Pasto se puede apreciar en la Tabla 6; actualmente, se tiene un promedio de 685,1 m^3/año. Por el contrario, bajo el escenario de cambio climático RCP 8.5 del modelo HadGEM2-ES, al año

2050 se sugiere que la disponibilidad hídrica superficial de la cuenca sería de 539.61 m^3/año, representando un cambio de -21,23 %, equivalente a una reducción de 145.49 m^3.

Al presente, la disponibilidad de agua superficial per cápita anual en la cuenca alta del río Pasto es de 213.26 m^3, encontrándose bajo escasez severa (IDEAM, 2008). Bajo este entendimiento, se prevé que se está realizando una sobreexplotación del agua de la cuenca, la cual para el año 2015 proveía de este bien a 277.357 personas.

En los años de incidencia de los eventos extremos, la cuenca alta presentó, entre el periodo 2008-2015, valores per cápita entre 180.92 m^3 y 318.01 m^3 (263.168 usuarios), evidenciando la problemática de escasez severa del agua debido a la alta demanda por parte del municipio de Pasto y sus corregimientos. Así, los valores presentados, corresponden a los años 2015 y 2011, años que sugieren efectos del fenómeno de El Niño y La Niña (IDEAM, 2018).

Ante el cambio climático al año 2050 (HadGEM2-ES, RCP 8.5) en la cuenca alta del río Pasto, se supone que se agravará aún más la escasez severa del agua, disminuyendo el índice de disponibilidad per cápita en un -49,57 %, equivalente a una reducción de -105.92 m^3/hab-año. Cabe resaltar que, este fenómeno no solo se debe a los efectos del cambio climático como tal, sino también, al crecimiento poblacional que se espera en la zona, en donde, a nivel municipal se prevé un crecimiento total en 222.387 habitantes entre 2020 y 2050, cuyo número de usuarios de la cuenca se incrementaría en, aproximadamente, 155.928, acrecentando seriamente la presión demográfica sobre la cuenca; sin embargo, resultaría interesante abordar en próximas investigaciones, un análisis más amplio, como el nexo entre alimentos, agua y energía.

En este sentido, la mitigación y la adaptación al cambio climático requieren tanto de las variables climáticas como de las variables sociales, en donde las bases de las actividades sociales se encuentran estrechamente acopladas con los sistemas naturales. De hecho, el gran desafío de abordar la sostenibilidad ambiental y global es, poder medir y modelar el sistema terrestre y sus subsistemas, e identificar los procesos y sus trayectorias de desarrollo y el impacto del cambio climático en las sociedades (Ehrlich et al., 2018).

Así, los cambios esperados podrían afectar la salud de la población directamente a través del incremento del calor, intensificación de las sequías o tormentas o, indirectamente, por cambios en la disponibilidad de agua, el suministro y la calidad de los alimentos. Los principales efectos en la salud podrían están relacionados con los fenómenos meteorológicos extremos (incluidas las temperaturas altas y las posibles inundaciones), los cambios en la distribución de enfermedades sensibles al clima y los cambios en las condiciones ambientales y sociales (Linares et al., 2020).

Tabla 6

Disponibilidad hídrica superficial en la cuenca alta del río Pasto para el periodo 1988-

2015 y bajo un escenario de cambio climático a 2050 (RCP 8.5) del Modelo de Circulación General HadGEM2-ES

Disponibilidad hídrica	Periodo 1988-2015	Escenario 2050	Cambio (%)
Media anual WYLD (m^3/s)	685.1	539.61	- 21.23
Usuarios de la cuenca alta	277357*	433285	56.22
Índice disponibilidad per cápita m^3/hab-año	213.26	107.34	- 49.67

Fuente: este estudio

Nota: *Año 2015

Conclusiones

Durante el periodo 1988-2015, los parámetros climáticos multianuales con mayor variabilidad dentro de la zona de estudio fueron, en orden descendente: PRECIP, brillo solar, temperatura, radiación solar y humedad relativa.

En los años de incidencia de los eventos extremos, la cuenca alta presentó, entre el periodo 2008-2015, valores per cápita entre 180.92 m^3 (2015) y 318.01 m^3 (2011), evidenciando la problemática de escasez severa, años que sugieren efectos del fenómeno de El Niño y La Niña, respectivamente.

Bajo el escenario RCP 8.5 a 2050, se espera que la variabilidad incremente levemente para GW_Q (6-15 %), moderadamente para ET (entre 15 % y 35 %) y, severamente para SURQ, Percolación (PERC), LATQ, WYLD, Caudal (Q) y PRECIP (> 35 %).

La disponibilidad hídrica superficial para la línea base tiene un promedio de 685,1 m^3/año; a su vez, bajo el escenario de cambio climático RCP 8.5 del modelo HadGEM2-ES, al año 2050 se presume que la disponibilidad hídrica superficial de la cuenca sería de 539.61 m^3/año, representando un cambio de -21,23 %, equivalente a una reducción de 145.49 m^3.

El índice de disponibilidad per cápita para el año 2050 (HadGEM2-ES, RCP 8.5) en la cuenca alta del río Pasto sugiere que se presentará una reducción de -105.92 m^3/hab-año; es decir, una disminución del -49,57 %.

Se avizora que, los eventos de inundaciones repentinas pueden aumentar, según el escenario de cambio climático; de la misma manera, existe una alta posibilidad de que se produzcan intervalos de tiempo con déficit de agua.

En el menor tiempo posible, se debe establecer medidas de conservación de suelos y de la cobertura vegetal de la zona alta, con el fin de anticiparse a los probables efectos del cambio climático.

Los cambios esperados podrían afectar directamente la salud de la población, a través del incremento del calor, intensificación de las sequías o tormentas o, indirectamente, por cambios en la disponibilidad de agua, el suministro y la calidad de los alimentos y otros factores de estrés.

Se prevé que el cambio climático afecte a los sectores más vulnerables, incluida la población de la tercera edad y, las personas de escasos recursos, poblaciones para las cuales se necesita con urgencia, políticas de protección y prevención.

Referencias

Abbaspour, K., Rouholahnejad, E., Vaghefi, S., Srinivasan, R., Yang, H., & Kløve, B. (2015). A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. *Journal of Hydrology*, *524*, 733-752. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.027

Ahiablame, L., Sinha, T., Paul, M., Ji, J., & Rajib, A. (2017). Streamflow response to potential land use and climate changes in the James River watershed, Upper Midwest United States. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, *14*, 150-166. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.11.004

Álvarez, L. F. (2015). Plan de manejo ambiental integral, Humedal Ramsar Laguna de La Cocha. https://es.scribd.com/document/299903264/PLAN-DE-MANEJO-INTEGRAL-HUMEDAL-RAMSAR-LAGUNA-DE-LA-COCHA

Arnold, J. G., Srinivasan., P., Muttiah, R. S., & Williams, J. R. (2007). Large area hydrologic modeling and assessment. Part I. Model development. *Journal of the American Water Resources Association*, *34*, 73-89. https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x

Baker, T., & Miller, S. (2013). Using the soil and water assessment tool (SWAT) to assess land use impact on water resources in an East African watershed. *Journal of Hydrology*, *486*, 100-111. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.01.041

Bates, B., Kundzewicz, Z., Wu, S. y Palutikof, J. (2008). *El cambio climático y el agua*. https://archive.ipcc.ch/pdf/technical-papers/ccw/climate-change-water-sp.pdf

Busman, L., & Sands, G. (2002). Issues and answers. Agricultural Drainage Publication Series. https://wrl.mnpals.net/islandora/object/WRLrepository%3A95/datastream/PDF/view

Cai, Y., Bandara, J., & Newth, D. (2016). A framework for integrated assessment of food production economics in South Asia under climate change. *Environmental Modelling & Software*, *75*, 459-497. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.10.024

Chaemiso, S., Abebe, A., & Pingale, S. (2016). Assessment of the impact of climate change on surface hydrological processes using SWAT: a case study of Omo-Gibe river basin, Ethiopia. *Modeling Earth Systems and Environment*, *2*(4), 1-15.

https://doi.org/10.1007/s40808-016-0257-9

Corporación Autónoma Regional de Nariño (CORPONARIÑO). (2008). Clasificación y priorización de cuencas hidrográficas en el departamento de Nariño. https://corponarino.gov.co/expedientes/intervencion/DOCUMENTO%20PRIORIZACION%20DE%20CUENCAS.pdf

Corporación Autónoma Regional de Nariño (CORPONARIÑO). (2011). Plan de Ordenación del Río Pasto. https://corponarino.gov.co/expedientes/descontaminacion/porhriopasto.pdf

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2007). Estimaciones de población 2006-2007. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06_20/Estima_municipales_06_07.pdf

Duque, C. L. (2016). *Balance hídrico del Lago Guamués y relación de su variabilidad con precursores climáticos ENSO y PDO* [Tesis de Maestría, Universidad Mariana]. https://studylib.es/doc/7668453/tesis-balance-h-lago-guamues-enso-pdo

Ehrlich, D., Kemper, T., Pesaresi, M., & Corbane, C. (2018). Built-up area and population density: Two essential societal variables to address climate hazard impact. *Environmental Science & Policy*, *90*, 73-82. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.10.001

Erol, A., & Randhir, T. O. (2012). Climatic change impacts on the ecohydrology of Mediterranean watersheds. *Climatic Change*, *114*(2), 319-341. https://doi.org/10.1007/s10584-012-0406-8

Falkenmark, M., Lundqvist, J., & Widstrand, C. (1989). Macro-scale water scarcity requires micro-scale approaches. *Natural Resources Forum*, *13*(4), 258-267. https://doi.org/10.1111/j.1477-8947.1989.tb00348.x

Fries, A., Rollenbeck, R., Göttlicher, D., Nauss, T., Homeier, J., Peters, T., & Bendix, J. (2009). Thermal structure of a megadiverse Andean mountain ecosystem in southern Ecuador and its regionalization. *Erdkunde. 63*(4), 321-335. https://doi.org/10.3112/erdkunde.2009.04.03

Gassman, P. W., Reyes, M. R., Green, C. H. & Arnold, J. G. (2007). The soil and water assessment tool: Historical development, applications, and future research directions. *Transactions of the ASABE*, *50*(4), 1211-1250. https://doi.org/10.13031/2013.23637

Ghaffari, G., Keesstra, S., Ghodousi, J., & Ahmadi, H. (2010). SWAT-simulated hydrological impact of land-use change in the Zanjanrood basin, Northwest Iran. *Hydrological Processes*, *24*(7), 892-903. https://doi.org/10.1002/hyp.7530

González, E. G. (2016). *Impacto del cambio climático y uso/cobertura en el comportamiento hidrológico, erosión hídrica y disponibilidad de agua para uso agrícola y humano en la subcuenca del río Quiscab, cuenca del lago Atitlán, Guatemala* [Tesis

de Maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE] https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8568

Guevara, O., Abud, M., Trujillo, A., Suárez, C., Cuadros, L., López, C. y Flórez, C. (2016). *Plan Territorial de Adaptación Climática del departamento de Nariño*. CORPONARIÑO y WWF-Colombia.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2008). Informe anual sobre el estado del medio ambiente y los recursos naturales. http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/020962/Estudio%20Nacional%20del%20agua.pdf.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2010). *Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático*. Editorial Scripto, Ltda.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2015). Nuevos escenarios de cambio climático para Colombia 2011-2100. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022964/documento_nacional_departamental.pdf

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2018). *Reporte de avance del Estudio Nacional del Agua ENA 2018*. http://www.andi.com.co/Uploads/Cartilla_ENA_%202018.pdf

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2017). Análisis Geográficos. https://ciaf.igac.gov.co/sites/ciaf.igac.gov.co/files/analisis_geograficos_53_2017.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Part A: Global and Sectoral Aspects. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-FrontMatterA_FINAL.pdf

Jones, P., & Thornton, P. (2013). Generating downscaled weather data from a suite of climate models for agricultural modeling applications. *Agricultural Systems*, *114*, 1-5. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.08.002

Kumar, N., Tischbein, B., Kusche, J., Laux, P., Beg, M., & Bogardi, J. (2017). Impact of climate change on water resources of upper Kharun catchment in Chhattisgarh, India. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, *13*, 189-207. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.07.008

Lehmann, N., Finger, R., Klein, T., Calanca, P., & Walter, A. (2013). Adapting crop management practices to climate change: Modeling optimal solutions at the field scale. *Agricultural Systems*, *117*, 55-65. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.12.011

Linares, C., Díaz, J., Negev, M., Sánchez, G., Debono, R., & Paz, S. (2020). Impacts of climate change on the public health of the Mediterranean Basin population - Current situation, projections, preparedness, and adaptation. *Environmental*

Research, *182*. https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.109107

Magrin, G. O., Marengo, J. A., Boulanger, J-P., Buckeridge, M. S., Castellanos, E. J., Poveda, G., Rubio, F., Vicuña, S., & Bertrand, A. (2014). Central and South America. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability* (pp. 1499-1566). Cambridge University Press.

Marin, M., Clinciu, I., Tudose, N. C., Ungurean, C., Adorjani, A., Mihalache, A. L., Davidescu, A. A., Davidescu, S. O., Dinca, L. Cacovean, H. (2020). Assessing the vulnerability of water resources in the context of climate changes in a small forested watershed using SWAT: A review. *Environmental Research*, *184*. https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109330

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2014). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico -RAS- Título B. http://www.minvivienda.gov.co/documents/viceministerioagua/titulob%20030714.pdf

Molnar, P. (2011). *Calibration. Watershed Modelling, SS 2011*. Institute of Environmental Engineering.

Moreno, A. y Lourenço, R. (2018). Emisividad de radiación y efecto invernadero por la ocupación urbana del suelo en la cuenca del río Una, São Paulo. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, *27*(2). https://doi.org/10.15446/rcdg.v27n2.67060

Moreno, L. (2013). *Gestión integral del agua en la cuenca alta del río Pasto, mediante un esquema de pago por servicios ambientales* [Tesis de Maestría, Universidad de Nariño]. https://sired.udenar.edu.co/2840/

Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of The ASABE*, *50*(3), 885-900. https://doi.org/10.13031/2013.23153

Naciones Unidas y CEPAL. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y El Caribe*. Naciones Unidas.

Neitsch, S., Arnold, J., Kiniry, J., Williams, J., & King, K. (2005). Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation. https://swat.tamu.edu/media/1292/SWAT2005theory.pdf

Ocampo, O. L. (2012). *Análisis de Vulnerabilidad de la cuenca del río Chinchiná para condiciones estacionarias y de cambio climático* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9268

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2013). *Afrontar la escasez de agua. Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria*. FAO 2013.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2009). Water in a changing world. www.unesco.org/water/

Pandey, V., Dhaubanjar, S., Bharati, L., & Thapa, B. (2019). Hydrological response of Chamelia watershed in Mahakali Basin to climate change. *Science of The Total Environment*, *650*, 365-383. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.053

Parajuli, P., Nelson, N., Frees, L., & Mankin, K. (2009). Comparison of AnnAGNPS and SWAT model simulation results in USD-CEAP agricultural watersheds in south•central Kansas. *Hydrol. Process. 23*, 748-763. https://doi.org/10.1002/hyp.7174

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible. https://www.undp.org/publications/sustainable-development-goals-booklet

Reed, M. S., Podesta, G., Fazey, I., Geeson, N., Hessel, R., Hubacek, K., Letson, D., Nainggolan, D., Prell, M. G., Rickenbach, C., Ritsema, G., Schwilch, L. C., Stringer, A. D., & Thomas, A. D. (2013). Combining analytical frameworks to assess livelihood vulnerability to climate change and analyse adaptation options. *Ecological Economics*, *94*, 66-77. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.07.007

Reshmidevi, T., Nagesh, D., Mehrotra, R., & Sharma, A. (2018). Estimation of the climate change impact on a catchment water balance using an ensemble of GCMs. *Journal of Hydrology*, *556*, 1192-1204. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.02.016

Ruiz, J. y Molano-González, N. (2017). Dinámica de la precipitación, la temperatura y la razón de aridez (1973-2011) en un escenario de cambio global en la isla de la vieja Providencia, Colombia: ¿qué está cambiando? *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, *26*(1), 25-35. https://doi.org/10.15446/rcdg.v26n1.56019

Stocker, T., Qin, D., Plattner, G., Alexander, L., Allen, S., Bindoff, N., Bréon, F., Church, J., Cubasch, U., Emori, S., Forster, P., Friedlingstein, P., Gillett, N., Gregory, J., Hartmann, DL; Jansen, E; Kirtman, B; Knutti, R; Krishna Kumar, K., …, & Xie, S. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of working group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

Swartman, R. & Ogulande, O. (1966). An investigation on packed bed collectors. *Solar energy, 10*(3), 106-110. https://doi.org/10.1016/0038-092X(66)90024-7

Tabios, G., & Salas, J. (1985). A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation. *Journal of The American Water Resources Association*, *21*(3), 365-380. https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1985.tb00147.x

Taye, M., Willems, P., & Block, P. (2015). Implications of climate change on hydrological extremes in the Blue Nile basin: A review. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, *4*, 280-293. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.07.001

Xu, X., Wang, Y., Kalcic, M., Muenich, R., Yang, Y., & Scavia, D. (2019). Evaluating the impact of climate change on fluvial flood risk in a mixed-use watershed. *Environmental Modelling & Software*, *122*. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.07.013

Yang, J., Reichert, P., Abbaspour, K., Xia, J., & Yang, H. (2008). Comparing uncertainty analysis techniques for a SWAT application to the Chaohe Basin in China. *Journal of Hydrology*, *358*(1-2), 1-23. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.05.012

Yang, T., Yu, P., & Chen, C. (2005). Long-term runoff forecasting by combining hydrological models and meteorological records. *Hydrological Processes*, *19*(10), 1967-1981. https://doi.org/10.1002/hyp.5658

Zhang, Y., You, Q., Chen, C., & Ge, J. (2016). Impacts of climate change on streamflows under RCP scenarios: A case study in Xin River Basin, China. *Atmospheric Research*, *178-179*, 521-534. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.04.018

Zhou, G., Wei, X., Wu, Y., Liu, S., Huang, Y., & Yan, J., Zhang, D., Zhang, Q., Liu, J., Meng, Z., Wang, C., Chu, G., Liu, S, Tang, X., & Liu, X. (2011). Quantifying the hydrological responses to climate change in an intact forested small watershed in Southern China. *Global Change Biology*, *17*(12), 3736-3746. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02499.x

Cobertura y uso del suelo en el Santuario de Flora y Fauna Galeras y la zona con función amortiguadora

Wilmer Andrés Ordoñez Martínez[1]

Germán Edmundo Narváez Bravo[2]

Resumen

El presente trabajo se ha derivado del estudio de los conflictos de uso de la tierra en el Santuario de Flora y Fauna Galeras, en el cual el componente de cobertura y uso del suelo es fundamental para conocer las dinámicas que se presentan actualmente en esta área. En este sentido, partiendo de la estrecha relación entre estos conceptos, se busca caracterizar la cobertura y el uso para el año 2020. Para ello se ha procesado imágenes satelitales y otras derivadas de sensores remotos, se ha hecho una exhaustiva revisión de información secundaria y, se ha realizado un trabajo de campo, con el fin de levantar y verificar la información. Así entonces, se observó que, en la parte norte del área de estudio se ubican unas áreas significativas correspondientes a coberturas de pastos limpios, las cuales generan altas presiones sobre el área natural protegida, mientras en la parte sur y occidental, las coberturas predominantes corresponden, en la parte alta, a bosques densos y, en la parte media y baja, a mosaicos de cultivos y pastos, observándose que los usos de conservación sobresalen por su extensión e importancia en estos sectores.

Palabras clave: cobertura de la tierra; uso del suelo; Galeras; zona con función amortiguadora.

Introducción

La cobertura de la tierra son todos los rasgos que la cubren; las rocas y los suelos desnudos también hacen parte de la cubierta, al igual que el agua, los bosques, los diferentes tipos de vegetación, las estructuras hechas por el hombre, entre otros, de acuerdo con el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2017). Di Gregorio

[1] wilmer94ordonez@gmail.com - Grupo de investigación en Geografía física y problemáticas ambientales TERRA - Universidad de Nariño

[2] gnarvaez@udenar.edu.co - Grupo de investigación en Geografía física y problemáticas ambientales TERRA - Universidad de Nariño

y Jansen (1998) consideran que, el ser humano, en su afán por satisfacer sus necesidades, establece una serie de actividades a fin de modificarlas, aprovecharlas y/o mantenerlas, lo cual determina el uso que le da la población.

En este sentido, el presente trabajo se ha planteado la pregunta: ¿Cuál es la cobertura y uso del suelo actualmente en el Santuario de Flora y Fauna Galeras (SFFG) y la zona con función amortiguadora?, dado que, en el área de estudio se ha podido evidenciar la presencia de cultivos y pastos en zonas de alta pendiente, ocupación y tenencia de la tierra y, pérdida de hábitat de las especies de fauna, como consecuencia de las transformaciones de las áreas naturales tanto en el área del Santuario como en la zona con función amortiguadora (Parques Nacionales Naturales, 2015). Esta situación justifica el interés por mantener el monitoreo de la cobertura natural y el uso de la tierra, especialmente en zonas que deberían estar dedicadas a la conservación y protección, debido a las restricciones que presentan para su uso o, por su valor ambiental.

A nivel local se ha adelantado varios trabajos que han permitido conocer y comprender lo que sucede con las coberturas en la alta montaña y el uso que se le da al suelo en estas zonas, entre los que es posible encontrar el desarrollado por el Instituto Alexander von Humboldt (IAvH) y la Universidad de Nariño (2015), en el proceso de delimitación de páramos y los planes de manejo del SFFG, Parques Nacionales Naturales (PNN). Así mismo, en los ecosistemas de alta montaña del departamento de Nariño se ha adelantado estudios similares, entre los que destaca el realizado por Guerrero y Ortega (2012) en la zona del PNN complejo volcánico Doña Juana Cascabel; en el corredor biológico Chiles - Cumbal, por Erazo (2012); en el volcán Cumbal, por Portilla y Coral (2012); en el volcán Azufral por López y Pastrana (2015); en el volcán Galeras, por Pinza y Leytón (2017); en el páramo de Paja Blanca por López y Portillo (2021). De igual manera, se ha tenido en cuenta los referentes conceptuales y metodológicos planteados por otros autores, como: Vargas (1992); Di Gregorio y Jansen (1998); Land and Water Division (2000) y el estudio del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y la Corporación Autónoma Regional del Río Grande de La Magdalena (CORMAGDALENA) (2008).

En este orden de ideas, a fin dar respuesta a la pregunta, el objetivo planteado fue, caracterizar la cobertura y uso del suelo en el SFFG y la zona con función amortiguadora. De esta forma, se efectuó una metodología descriptiva, en la cual primero se hizo una revisión bibliográfica de los trabajos relacionados con esta problemática, desarrollados en el área de estudio; luego, la selección y análisis de las imágenes satelitales; posteriormente, las salidas de campo en las cuales se estableció recorridos como puntos de control, con el propósito de verificar los datos obtenidos en el procesamiento de las imágenes, especialmente donde no había claridad, entender a qué tipo de cobertura pertenecía y, finalizando con la elaboración de la cartografía temática definitiva que permite el análisis de la cobertura y uso del suelo que actualmente se presenta.

Finalmente, este artículo está estructurado de tal forma que, en la primera parte se hace una descripción del área de estudio, pasando luego a la descripción de

la metodología, seguida de un acercamiento conceptual hacia lo que es tanto la cobertura de la tierra como el uso del suelo. Luego se observa los resultados, describiendo y mapificando las condiciones de la cobertura y el uso del suelo en el área de estudio para, finalmente, establecer las principales conclusiones derivadas de esta investigación.

Área de estudio

El área de estudio corresponde esencialmente al Santuario de Flora y Fauna Galeras (8.227 ha), la zona con función amortiguadora (9.529,9) y un sector adicional en la parte nororiental, que hace parte de la zona de amenaza volcánica alta (5.060,3 ha), para un área total de 22.862 ha. Es importante resaltar que el SFFG fue creado en 1985, mediante Resolución 013 del entonces Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente (INDERENA), según el plan de manejo del SFF Galeras (Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2015). El santuario se encuentra localizado sobre la estructura geológica del volcán Galeras que, a su vez, está ubicado al suroccidente de Colombia, en la parte andina central del departamento de Nariño, sobre la cordillera Centro-Oriental, en jurisdicción de los municipios de Consacá, La Florida, Nariño, Sandoná, Pasto, Yacuanquer y Tangua (Tabla 1 y Figura 1).

El SFFG y la zona con función amortiguadora hacen parte de las cuencas de los ríos Pasto y Guáitara. De igual forma, en el área se puede identificar varias subcuencas, cuyas corrientes han modelado el relieve, de modo que se puede apreciar geoformas, producto de la disección de los afluentes, como también, es posible encontrar una variación altitudinal donde la cota más alta está ubicada sobre los 4.250 m s.n.m. en la cima del volcán y, la cota más baja corresponde a 1.600 m s.n.m. en el sector occidental hacia el municipio de Consacá.

En cuanto a la organización social, predominan comunidades campesinas, sobresaliendo la agricultura y la ganadería, como principales actividades económicas. En menor proporción, se presenta actividades forestales, preferentemente en la parte oriental del área en jurisdicción del municipio de Pasto. Y el ecoturismo se desarrolla actualmente y de forma ajustada a las normas del área natural protegida en el municipio de Yacuanquer. Es importante señalar que, la agricultura es la actividad que más empleo genera; se ha configurado principalmente en minifundios y los productos más representativos corresponden a cultivos semipermanentes y transitorios como: papa, maíz, cebolla, plátano, café y hortalizas, mientras que el sector pecuario se caracteriza por una ganadería de tipo extensivo para la producción de leche, en su mayoría, aunque también se dedican al ganado de engorde en menor proporción, al igual que las especies menores como cuyes y gallinas, principalmente (Parque Nacionales Naturales de Colombia, 2015).

Tabla 1

Extensiones superficiales municipales en el SFFG, la zona con función amortiguadora y el área de estudio

Municipio	Extensión en el SFFG (ha)	Extensión en la zona con función amortiguadora (ha)	Extensión en el área de estudio (ha)
Yacuanquer	817,8	2.702,9	3.525,5
Tangua	608,1	749,1	1.359,5
Consacá	3.924,4	2.964,2	6.883,6
Pasto	1.616,5	1.127,5	4.813,3
Nariño	288,9	-	1.110,2
Sandoná	532,8	2.027,5	3.065,4
La Florida	476,2	-	2.154,6
Total	8.264,7	9.571,2	22.912,0

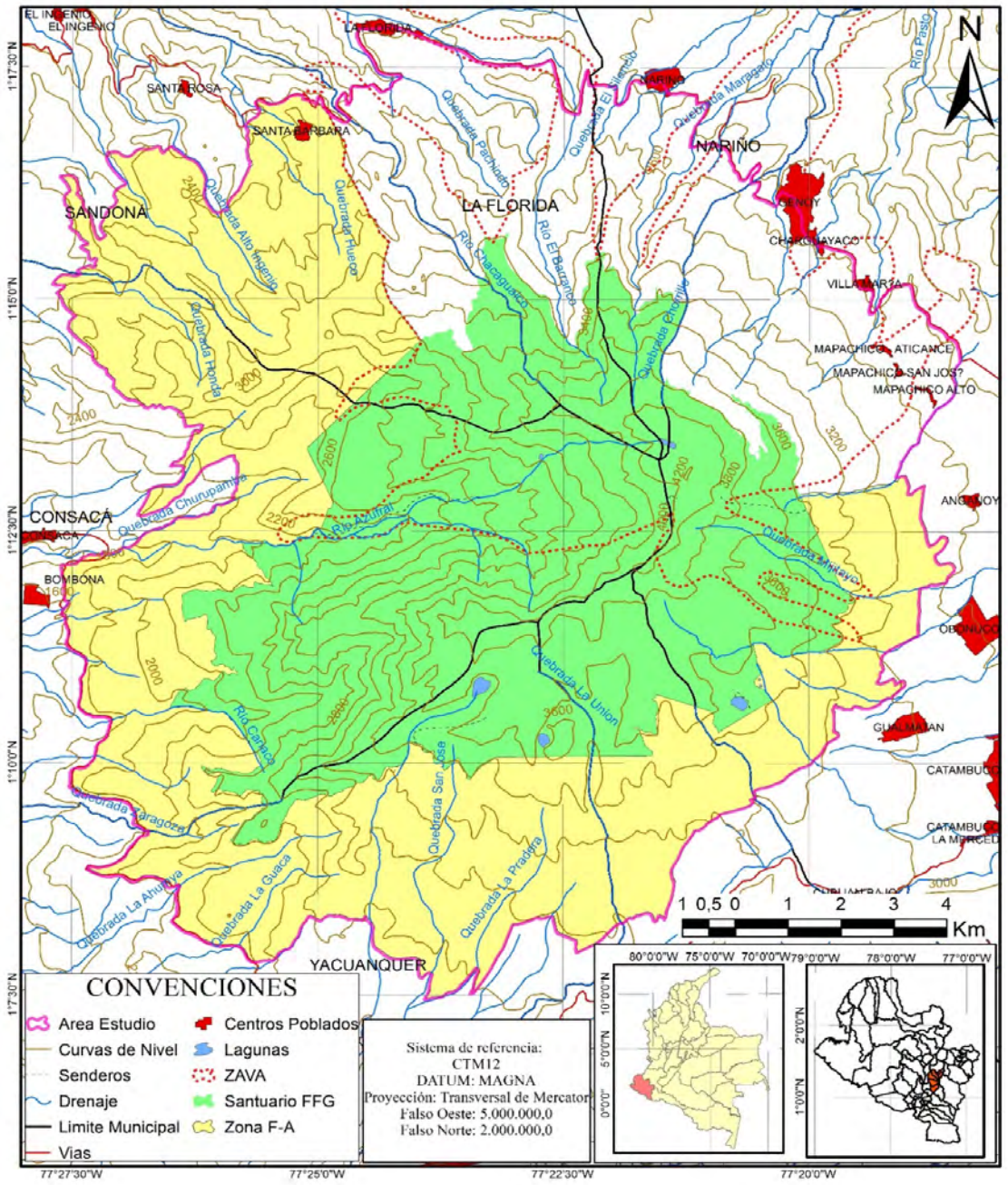
Metodología

Se implementó una metodología de tipo descriptivo - analítica con un enfoque cualitativo - cuantitativo, siendo destacable el uso de herramientas y técnicas como los sistemas de información geográfica, la metodología *Corine Land Cover* adaptada para Colombia y el trabajo en campo, a fin de recopilar, sistematizar y permitir el análisis de la información conducente a cumplir los objetivos planteados en el proyecto de investigación.

En este orden de ideas, inicialmente se llevó a cabo una revisión de la información documental y de cartografía temática existente y disponible para el área de estudio, con el fin de aproximarse a las condiciones, principalmente de cobertura y uso del suelo, que caracterizan tanto al área natural protegida como a la región aledaña a esta. En este contexto, es importante resaltar el trabajo desarrollado por Pinza y Leytón (2017), quienes elaboraron una caracterización de la variación multitemporal de la cobertura de la tierra en el periodo 1989 – 2015, trabajo que sirvió de base para iniciar la identificación y caracterización de las coberturas de la tierra que, en el caso de la presente investigación, corresponde a las existentes en el año 2020. Se seleccionó una imagen satelital *Sentinel 2* capturada en el mes de marzo de 2020, con una resolución espacial de 10 m, a la cual se le aplicó una clasificación supervisada utilizando el software ArcGis 10.3. Con el fin de generar mayor coherencia entre la clasificación de cobertura elaborada a partir de esta imagen satelital y los resultados cartográficos del estudio mencionado, se hizo una comparación y ajuste a la cobertura de la tierra, obteniéndose un mapa preliminar que, posteriormente, sería verificada y precisada con el trabajo de campo.

Figura 1

Área de estudio



Fuente: esta investigación

En tercer lugar, se hizo salidas de campo, con el acompañamiento de personal técnico de Parques Nacionales del SFFG a lo largo de trece rutas de control, a fin de verificar las coberturas de la tierra que fueron mapificadas preliminarmente a

partir de la interpretación de la imagen satelital. Así, se tomó numerosos puntos GPS y registros fotográficos de las áreas, en un afán por confirmar la información obtenida en campo, de suerte que sirviese para verificar y ajustar (si era el caso) los polígonos de cobertura previamente mapificados. Por último, con los datos recolectados se realizó la verificación, diseño y ajuste del mapa final de cobertura de la tierra y uso del suelo del área de estudio, a partir del cual se elaboró la caracterización de dichas unidades, considerando la clasificación establecida por la metodología *Corine Land Cover* adaptada para Colombia (IDEAM et al., 2008). Así entonces, la escala de trabajo correspondió a 1:25.000, razón por la cual la unidad mínima de mapeo, tanto de las unidades de cobertura como de uso del suelo, fue de 1,56 ha, generándose una caracterización semi-detallada de estos parámetros en el área de estudio.

Marco conceptual

La cobertura de la tierra está relacionada con las actividades humanas y las características naturales de un lugar determinado. En este sentido, existen varias aproximaciones teóricas; sin embargo, solo a finales del siglo XX este tema empezó a trabajarse de manera específica como un aspecto imprescindible en los procesos de planificación y ordenamiento del territorio. Nunes (2005) afirma que, entre varias naciones europeas se llevó a cabo el primer proyecto de carácter continental que diera como resultado una metodología común que permitiese la unificación en los criterios utilizados para la caracterización de la cobertura de la tierra. Esta metodología se conoció como CLC 1990 por sus siglas en inglés (*Corine Land Cover*). La autora sostiene que luego se actualizó la metodología con el proyecto CLC 2000, que se utilizó en toda Europa y sirvió de base para la generación de otros lineamientos metodológicos en países como Colombia.

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, Land and Water Division, 2000), la tierra está conformada por todos los elementos bióticos y abióticos y, es la interrelación que se da entre los factores físicos naturales lo que permite el desarrollo de la vida y, por ende, el desarrollo de las actividades humanas que satisfacen sus necesidades. De manera más precisa se ha retomado a autores como Di Gregorio y Jansen (1998), quienes consideran que la cobertura del suelo o la tierra puede ser definida como "la cubierta biofísica que es posible observar en la superficie de la tierra" (párr. 1). En este caso, dicha definición también incluye los elementos artificiales que pueden ser considerados como parte de la cobertura; esto se refiere a "la cubierta morfológica y tangible" (Pinza y Leytón, 2017, p. 33).

Por otro lado, muy frecuentemente se confunde el uso del suelo con la cobertura de la tierra y, viceversa; sin embargo, cada uno de estos conceptos hace referencia a un atributo muy diferente, aunque si están relacionados. De esta manera, el uso del suelo, como concepto, hace alusión a las actividades humanas que implican la utilización de la superficie terrestre o de sus recursos. Así lo considera Vink (como se citó en Melo-Wilches y Camacho, 2005), quien sostiene que, el uso del suelo

tiene que ver con el empleo o aprovechamiento que, de forma cíclica o permanente se hace por parte de las sociedades, de los diferentes tipos de cobertura de la tierra. En ese contexto, tales usos tienen como uno de sus objetivos principales, el satisfacer las necesidades materiales o espirituales de dichas sociedades.

Es posible diferenciar entre cobertura y uso de la tierra, pues el uso está relacionado con el aprovechamiento que se hace sobre una superficie determinada, con el fin de obtener un beneficio, ya sea en dinero o en productos, para el abastecimiento de las necesidades de una familia o comunidad. En este orden de ideas, Vargas (1992) la define como "aquellas actividades agropecuarias que se dan en el presente y que han sido producto de las relaciones históricas del hombre con el medio" (p. 8). Para Di Gregorio y Jansen (1998), son: "los arreglos, actividades e insumos que las personas realizan en un determinado tipo de cobertura terrestre con el fin de producirla, modificarla o mantenerla" (párr. 4). En consecuencia, es posible afirmar que el uso del suelo se infiere o se detecta a partir de un juicioso estudio de la cobertura de la tierra, puesto que se encuentran relacionados.

Cobertura de la tierra en el área de estudio

En el SFFG y su zona con función amortiguadora se ha evidenciado la presencia de varios tipos de coberturas de la tierra, tanto de espacios naturales como de territorios artificializados. Sin embargo, al estar en un área natural protegida, es posible observar amplias zonas en las cuales las condiciones naturales aún son conservadas y, se puede encontrar espacios considerados como bosques y áreas seminaturales, especialmente dentro del SFFG y en varios corredores ubicados al borde de dicha área. Mientras tanto, en las partes medias y bajas del área de estudio, las coberturas que predominan son aquellas asociadas a los territorios agrícolas que configuran espacios altamente fragmentados correspondientes a minifundios propios (Figura 2 y Tabla 2).

En este sentido, se evidencia que los territorios artificializados representan el 0,54 % del área de estudio, en términos de superficie. Esta unidad está conformada por los tejidos urbanos continuos (Tuc), tejidos urbanos discontinuos (Tud) y zonas de extracción minera (Zem). Por otro lado, las superficies de agua representadas únicamente por las lagunas, corresponden al 0,09 %, del área total, mientras las áreas que contienen como unidad de cobertura a las turberas, también representan el 0,09 % del área de estudio.

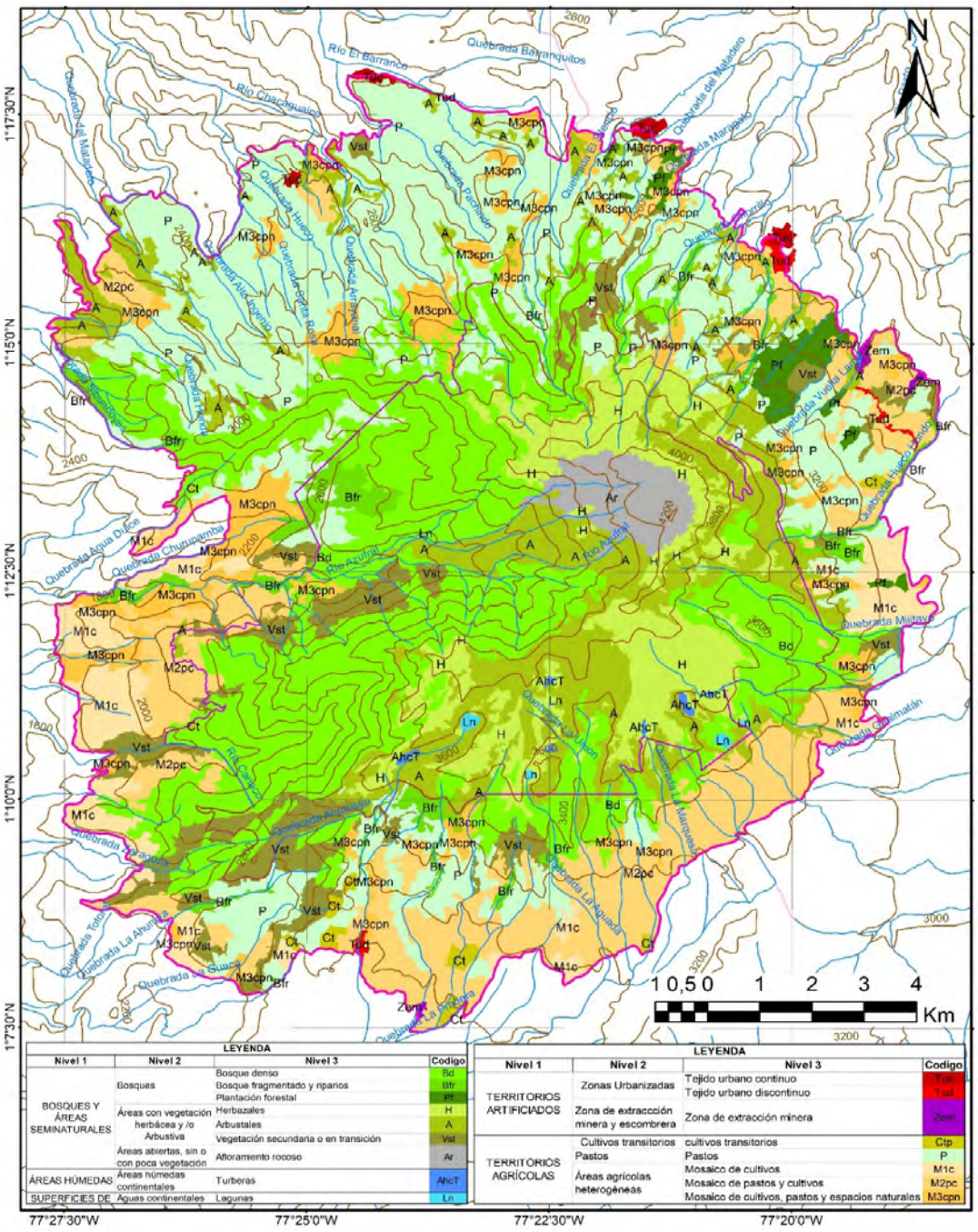
Uno de los conjuntos de unidades de cobertura de mayor extensión y trascendencia en el área de estudio, corresponde a los territorios agrícolas, que representan el 45,1 % del SFFG y la zona con función amortiguadora. De esta unidad hacen parte las zonas de cultivos transitorios (Ct), los mosaicos de cultivos (M1c), los mosaicos de pastos y cultivos (M2pc) y los mosaicos de pastos, cultivos con espacios naturales (M3pcn). Este tipo de cobertura, si bien se la observa distribuida a lo largo y ancho del área de estudio, tiende a concentrarse en la parte suroriental y occidental de la misma, principalmente en zonas de jurisdicción de los municipios de Pasto, Tangua, Yacuanquer y Consacá. En esas mismas zonas también se puede

observar una extensión significativa de las coberturas naturales, mientras que, en la parte norte del área de estudio, hacia los municipios de Sandoná, La Florida y Nariño, se evidencia la predominancia de coberturas de la tierra asociadas a diferentes tipos de pastos (P).

Finalmente, se encuentra la unidad de cobertura correspondiente a los bosques y áreas seminaturales que representan más de la mitad del total del área, con un 54,2 %. La presencia y conservación de esta tipología está explicada principalmente por la existencia del área natural protegida y por las limitantes que imprimen las condiciones geomorfológicas y de pendientes propias de un edificio volcánico como el Galeras. Es importante aclarar que después del tercer nivel de organización en la metodología CLC adaptada para Colombia, se hizo algunos ajustes a la clasificación de dicha metodología, especialmente en las coberturas de arbustal y herbazales. De esta forma, la unidad cartográfica en mención se encuentra conformada por el bosque denso (Bd), el bosque fragmentado y ripario (Bfr), las plantaciones forestales (Pf), los arbustales (A), los herbazales (H), la vegetación secundaria o en transición (Vst) y los afloramientos rocosos (Ar), los cuales suman 12.385, 1 ha correspondientes al 54,1 % del área de estudio.

Figura 2

Cobertura del suelo



Fuente: esta investigación

Tabla 2

Superficie de las unidades de cobertura de la tierra

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Código	Área (ha)	
Territorios Artificializados	Zonas de extracción minera y escombreras	Zonas de extracción minera	Zem	22,7	22,7
	Zonas urbanizadas	Tejido urbano discontinuo	Tud	42,7	106,5
		Tejido urbano continuo	Tuc	63,8	
Territorios Agrícolas	Áreas agrícolas heterogéneas	Mosaico de cultivos pastos y espacios naturales	M3cpn	1.269,7	4.913,7
		Mosaico de pastos y cultivos	M2pc	2.726,7	
		Mosaico de cultivos	M1c	917,3	
	Pastos	Pastos	P	5.284,4	5.284,4
	Cultivos transitorios	Cultivos transitorios	Ct	104,9	104,9
Bosques y Áreas Seminaturales	Áreas abiertas sin o con poca vegetación	Afloramientos rocosos	Ar	400,0	400,0
	Bosques	Bosque denso	Bd	5.544,6	6.291,5
		Bosque fragmentado y ripario	Bfr	501,4	
		Plantación forestal	Pf	245,5	
	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	Vegetación secundaria o en transición	Vst	1.210,8	5.693,6
		Arbustales	A	2.807,9	
		Herbazales	H	1.674,9	
Áreas Húmedas	Áreas húmedas continentales	Turberas	AhcT	22,0	22,0
Superficies de Agua	Aguas continentales	Lagunas naturales	Ln	22,7	22,7
		Total		22.862,0	22.862,0

Uso del suelo en el área de estudio

En cuanto al uso del suelo en el área de estudio, se puede evidenciar una prevalencia del uso de conservación, con el 43 %; este se concentra principalmente dentro del SFFG, pero, es fundamental resaltar que también es posible encontrar este uso hacia la parte sur y occidental, en jurisdicción de los municipios de Consacá y Yacuanquer, donde la actividad económica predominante es la agricultura. En seguida se ubica el uso pecuario, el cual está más concentrado en la parte norte, sobre los municipios de Sandoná, La Florida y Nariño. A partir del trabajo de campo se pudo observar que, en estas zonas hay una predominancia de la ganadería extensiva para engorde y leche, por lo que este uso llega a alturas cercanas a los 3.000 m s.n.m. Este tipo de uso igualmente se encuentra en áreas más pequeñas, hacia el flanco oriental y sur del área de estudio, donde hay una mayor tecnificación y aprovechamiento en el uso de la tierra (Figura 3 y Tabla 3).

De igual manera, el uso agropecuario, con el 11,2 %, está distribuido en toda el área de estudio, pero hay una mayor concentración en la parte sur, suroriental y suroccidental, en jurisdicción de los municipios de Pasto, Tangua y Yacuanquer. Es más común encontrarlo en las partes altas, donde hay predominancia de cultivos de piso térmico frío y ganado de leche; también es en estas partes, donde las áreas naturales se encuentran en un mejor estado de conservación. Asimismo, el uso agrícola, con un 5,7 %, se concentra principalmente en el municipio de Consacá, donde hay una predominancia de los cultivos de café y frijol. Dichos usos también son evidentes en las partes más bajas del área de estudio. Es importante mencionar que, en esta zona, la cobertura correspondiente a bosques posee la mayor extensión por fuera del área natural protegida, condición que permite inferir la decisión de las comunidades, de armonizar el uso productivo de la tierra y la conservación de los espacios naturales.

Así es como en el SFFG y la zona con función amortiguadora hay algunos sectores donde se evidencia actividades diferentes a las agropecuarias, por lo que es posible observar distintos tipos de usos. En este sentido, el uso forestal ocupa un 9,1 % del total del área de estudio y se ubica principalmente en la parte suroccidental. Es de resaltar que, en el sector sur, donde predominan estos tipos de uso, es donde hay una mejor conservación de las áreas naturales y es donde se ha tratado de diversificar las actividades económicas, lo que ha dado paso a procesos de restauración y regeneración de algunas áreas a través de las reservas naturales de la sociedad civil. En proporciones más pequeñas, están los usos, agroforestal 1,2 % y urbano 0,46 %; este último corresponde principalmente a las cabeceras corregimentales y de los municipios que tienen jurisdicción sobre el área de estudio. Finalmente, el uso minero representa apenas el 0,09 % del área de estudio y corresponde a pequeñas áreas de extracción minera en los municipios de Pasto y Yacuanquer, donde se ha establecido, principalmente, áreas de extracción de materiales para la construcción.

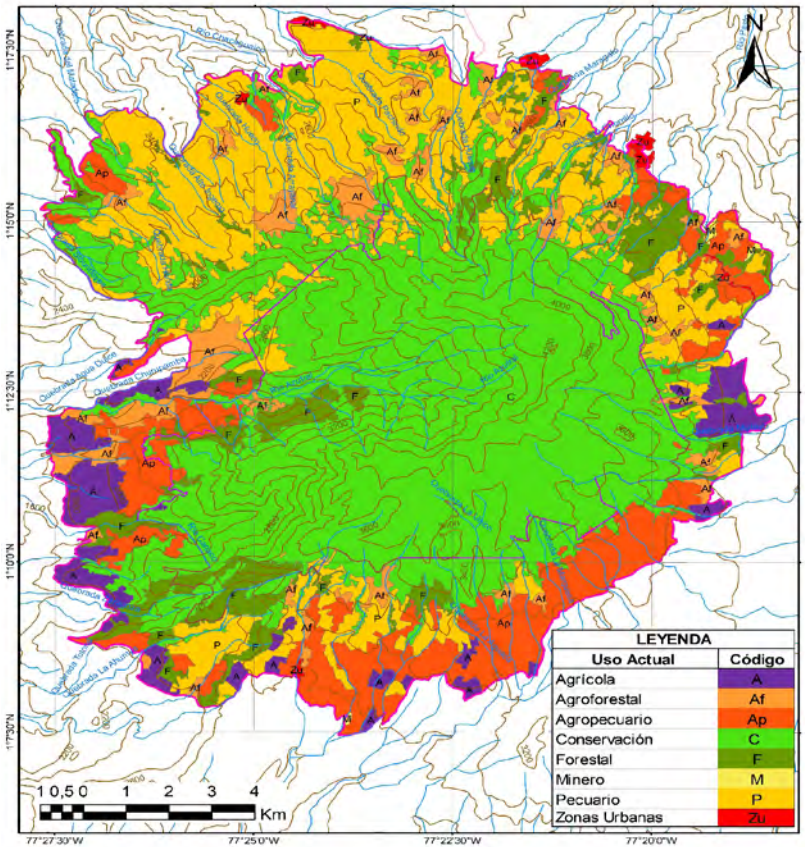
Tabla 3

Superficie de las unidades de uso del suelo

Uso	Código	Área (ha)
Conservación	C	10.783,4
Agroforestal	Af	1.269,7
Minero	M	22,7
Pecuario	P	5.284,1
Zonas urbanas	Zu	42,7
Zonas urbanas	Zu	63,8
Agropecuario	Ap	2.726,7
Agrícola	A	1.022,2
Forestal	F	1.646,7
Total		22.862,1

Figura 3

Uso del suelo



Fuente: esta investigación

Conclusiones

Dentro del SFFG se observa que la cobertura de la tierra de origen natural se ha mantenido en buenas condiciones, lo cual permite evidenciar el resultado de los procesos de conservación por parte de Parque Nacionales Naturales y otras organizaciones tanto gubernamentales como comunitarias. No obstante, es necesario prestar mayor atención en algunos sectores, donde hay una fuerte presión sobre las coberturas boscosas, como consecuencia de la presencia de predios destinados a la ganadería, dentro y fuera del área protegida, especialmente en la parte norte de Galeras, en los municipios de La Florida y Nariño.

En cuanto a la cobertura en el área de estudio que se encuentra por fuera del área protegida, se concluye que, la mayor presencia de pastos destinados a la ganadería se observa en el sector norte, donde existen zonas de potreros que llegan hasta el límite del SFFG. En esta parte tampoco se definió una zona con función amortiguadora, debido a designación de este sector como zona de amenaza volcánica alta. Mientras tanto, en la parte oriental, sur y occidental, se puede observar mayoritariamente una cobertura dominada por los mosaicos de cultivos y mosaicos de pastos y cultivos. En esta zona se evidencia un mejor estado de conservación de los bosques y de la vegetación secundaria ubicada por fuera del área natural protegida. Así mismo, se ha identificado que, en la parte sur y suroriental, los cultivos allí establecidos son transitorios propios de clima frío, como el caso de la papa y hortalizas, en tanto que, en el occidente, hay una mayor presencia de cultivos permanentes propios de pisos térmicos cálidos, especialmente café y, en menor proporción, cultivos transitorios como el fríjol.

En cuanto al uso de la tierra, en el SFFG y la zona con función amortiguadora, es posible evidenciar cómo los procesos de conservación por parte de Parques Nacionales Naturales han surtido efecto, especialmente en el sector sur y suroccidental, donde es posible identificar amplias zonas que se han dedicado a la protección o alternan el uso pecuario con el forestal y de conservación. También ahí se encuentra el mayor número de reservas de la sociedad civil, dando lugar a la implementación del ecoturismo, como una alternativa económica, aprovechando así, la riqueza paisajística y natural del área. Caso contrario ocurre en la parte norte; aquí se hace evidente la necesidad de la delimitación de una zona con función amortiguadora donde se lleve a cabo estrategias encaminadas a promover una cultura de conservación, protección o uso sostenible en las actividades productivas, especialmente las ganaderas, dado que es evidente que el uso pecuario es el que genera las mayores presiones sobre las especies en conservación, pues muchas fincas ganaderas limitan con el SFF y no hay una franja que amortigüe los impactos de dichas actividades pecuarias.

Referencias

Di Gregorio, A., & Jansen, L. (1998). Land Cover Classification System (LCCS), Classification concepts, and user manual. https://www.fao.org/3/x0596e/x0596e00.htm

Erazo, R. (2012). *Análisis del cambio de cobertura vegetal en el corredor volcánico Chiles - Cerro Negro - Cerro Granizo del departamento de Nariño, período 1987 – 2011* [Tesis de Pregrado, Universidad de Nariño]. https://sired.udenar.edu.co/1033/

Guerrero, D. y Ortega, D. (2012). *Estudio del cambio de la cobertura vegetal en el área de influencia occidental del p.n.n. complejo volcánico Doña Juana - Cascabel, en el período 1989-2011* [Tesis de Pregrado, Universidad de Nariño]. http://sired.udenar.edu.co/984/

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y Corporación Autónoma Regional del Río Grande de La Magdalena (CORMAGDALENA). (2008). *Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000*. Imprenta Nacional de Colombia.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2017). Interpretación de imágenes de sensores remotos aplicada a levantamientos de cobertura de la tierra. https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/ingagpc0706_interpretacion_de_imagenes_de_sensores_remotos.pdf

Land and Water Division. (2000). *El futuro de nuestra tierra: enfrentando el desafío*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

López, R. y Pastrana, J. (2015). *Estudio del cambio de la cobertura del suelo en el volcán Azufral. Departamento de Nariño - Colombia. Período: 1987 – 2010* [Tesis de Pregrado, Universidad de Nariño]. terrainvestigaciones.blogspot.com/2015/01/trabajos-de-grado-en-este-enlace.html

López, M. A. y Portillo, A. (2021). *Estudio multitemporal de cambio de la cobertura y uso del suelo del Parque Regional Natural Páramo de Paja Blanca, en el período 2005 – 2020* [Tesis de Pregrado, Universidad de Nariño]. terrainvestigaciones.blogspot.com/2015/01/trabajos-de-grado-en-este-enlace.html

Melo-Wilches, L. H., y Camacho, M. A. (2005). *Interpretación visual de imágenes de sensores remotos y su aplicación en levantamientos de cobertura y uso de la tierra*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Nunes, M. V. (Ed.). (2005). *CORINE Land Cover updating for the year 2000: IMAGE2000 and CLC2000. Products and Methods*. European Commission - Joint Research Centre, Ispra, Italy.

Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2015). *Plan de manejo Santuario de Flora y Fauna Galeras*. https://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2020/10/plan-de-manjo-del-sff-galeras.pdf

Pinza, C. y Leytón, M. (2017). *Cambios en la cobertura del suelo en el volcán Galeras, Departamento de Nariño, periodo 1989 – 2015* [Tesis de Pregrado, Universidad de Nariño]. terrainvestigaciones.blogspot.com/2015/01/trabajos-de-grado-enesteenlace.html

Portilla, N. y Coral, G. (2012). *Estudio del cambio de la cobertura del suelo en la selva altoandina y el páramo del volcán Cumbal, departamento de Nariño, en el período 1987 – 2009* [Tesis de Pregrado, Universidad de Nariño]. http://terrainvestigaciones.blogspot.com/2015/01/trabajos-de-grado-en-este-enlace.html

Universidad de Nariño, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (2016). Tejidos de plantas, anfibios y aves de estudios bióticos en los complejos de páramos Chiles-Cumbal, la Cocha-Patascoy y Doña Juana-Chimayoy en los departamentos de Nariño y Putumayo. https://ipt.biodiversidad.co/iavh/resource?r=tejidos_paramosunarino_faunaflora_2015

Vargas, G. (1992). Estudio del uso actual y capacidad de uso de la tierra en América central. *Anuario de Estudios Centroamericanos, 18*(2), 7-23.

Análisis bibliométrico sobre uso de humedales construidos para tratamiento de efluentes líquidos de industrias lácteas

Ana Victoria Chamorro Narváez[1]
Suleidy Arjenis Cuarán Guaranguay[2]
Tatiana Mañunga[3]

Resumen

Los humedales construidos son una alternativa de tratamiento, caracterizada por su alta eficiencia en remoción de contaminantes. Aunque son usados desde hace más de 20 años, en algunas experiencias se aprecia que presentan deficiencias. En el caso de efluentes de la industria láctea, resulta importante determinar variables y aspectos críticos para su implementación; así, en esta investigación, con apoyo de herramientas de la vigilancia tecnológica, se realizó un estudio bibliométrico sobre su uso, para el tratamiento de efluentes líquidos de la industria láctea. Se empleó una metodología cualitativa, realizando búsqueda de artículos científicos en diferentes bases de datos, los cuales fueron usados para la elaboración de mapas bibliométricos a través del software VOSviewer. Los resultados mostraron que se pudo recuperar 1974 documentos entre 2000 y 2020. También, se identificó siete clústeres temáticos en la definición de corrientes principales de investigación. La estrecha relación en temas como industria láctea, biomasa, carbono, nitrificación, nitratos y humedales construidos de flujo subsuperficial permitió reconocer que, además de la remoción de carbono, es importante la remoción de nitrógeno. Finalmente, se concluye que la vigilancia tecnológica permitió encontrar el estado actual de la investigación y, reconocer factores críticos para el diseño e implementación de humedales construidos.

Palabras clave: análisis bibliométrico; humedales construidos; tratamiento de aguas residuales; industria láctea.

[1] achamorro@umariana.edu.co
[2] sucuaran@umariana.edu.co
[3] tmanunga@umariana.edu.co Universidad Mariana. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Ambiental

Introducción

Actualmente, Colombia se identifica como el cuarto productor de leche en América Latina, con un volumen aproximado de 6.500 millones de litros anuales (Proexport Colombia, 2011). Según Prado (2013), uno de los principales impactos ambientales que se genera en la industria láctea, se encuentra en los efluentes y aguas residuales (AR), debido a las propiedades de la materia prima. Este tipo de aguas se caracteriza principalmente, por poseer una gran cantidad de materia orgánica (MO), en especial, grasas y aceites; además, esta contiene concentración de sólidos suspendidos y valores de pH que superan los rangos permisibles para su vertimiento, trayendo consigo el deterioro del cuerpo receptor y, sus consecuentes impactos sobre los recursos naturales y las comunidades. Por lo anterior, se requiere un tratamiento de agua residual que elimine los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua.

A diferencia de las técnicas convencionales, el tratamiento de agua residual por medio de humedales artificiales o construidos (HC), es una alternativa que tiene bajos costos, tanto en implementación como en mantenimiento. Sus costos de operación se ubican entre $1.242.429 y $12.570.000 (Haro y Aponte, 2010); y, mantenimiento $1.000.000 al año, aproximadamente (Granados, 2018), en comparación con los sistemas tradicionales de tratamiento de AR, que se encuentran entre $1.623.250.430 y, cerca de $7.394.708.110 (Maca-Millán, 2014); es decir, que el costo de operación y mantenimiento es menor, pues tienen una vida útil de 25 años y, sus requerimientos energéticos de operación son mínimos, dado que la conducción del agua a los HC es, prácticamente, por gravedad (Arteaga-Cortez et al., 2019), con una eficacia de remoción de carga orgánica contaminante cercana al 80 % (Romero-Aguilar et al., 2009); y, en remoción de nitrógeno total, su eficiencia promedio es de 90,8 %; para nitrógeno amoniacal es de 91,6 % y, para nitratos, de 92,5 % (Rodríguez-Momroy y Durán, 2006). Así, los HC son una alternativa económica y ecológicamente aceptable para el tratamiento de agua residual de la industria láctea.

En la práctica, algunos resultados muestran que los HC presentan deficiencias en su funcionamiento, lo que deriva en bajos niveles de eficiencia. Una de las principales razones obedece a que son diseñados, construidos y operados a partir de criterios inadecuados, desconociendo las condiciones climáticas y las mismas características del agua residual que condicionan su funcionamiento. De esta manera, se cree que un sistema de HC es una gran estrategia para el tratamiento de este tipo de agua residual, ya que diferentes investigaciones han demostrado su alta eficiencia de remoción de contaminantes y su gran aporte en cuanto a sus bajos costos de implementación, operación y mantenimiento.

Por otro lado, se considera que el análisis bibliométrico basado en algunos indicadores, como: la afiliación o vinculación institucional de los documentos, fechas o rangos de tiempo de publicación, autores principales y referencias y citas usadas por ellos, revistas, libros, palabras clave o descriptores y, por supuesto, los títulos y resúmenes incluidos en los documentos analizados (Solano et al., 2009), puede ser una herramienta útil para la identificación de factores críticos necesarios para el diseño, implementación, operación y mantenimiento de un HC para la reducción de la carga contaminante de un efluente de la industria láctea.

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue realizar un análisis bibliométrico sobre el uso de HC para tratamiento de efluentes líquidos de industrias lácteas. Se empleó una metodología cualitativa, buscando información en diferentes bases de datos como SCOPUS, SCIELO, IEEE, para luego ser procesada mediante mapas bibliométricos que permitan un mejor análisis de la información encontrada. Así, los resultados representan insumos importantes para una posterior identificación de factores críticos de diseño e implementación de HC para el tratamiento de AR proveniente de industrias lácteas.

Metodología

La estrategia metodológica que se utilizó para el desarrollado de este trabajo se dividió en dos etapas. En la Etapa 1 se recopiló información mediante la selección de fuentes bibliográficas y conformación de la base de datos. En la Etapa 2 se elaboró los mapas bibliométricos a través del software VOSViewer. A continuación, se describe brevemente cada etapa.

Etapa 1: Recopilación de datos entre los años 2000-2020:

a) **Selección de conectores boléanos:** se encuentra los siguientes: AND, OR, AND NOT, para formular las ecuaciones de búsqueda (Tabla 1).
b) **Selección de fuentes bibliográficas:** se presenta las bases de datos seleccionadas para el desarrollo de esta investigación.
   - ✓ SCOPUS
   - ✓ SCIELO
   - ✓ BAASE
   - ✓ IEEE

Además, se incluyó la búsqueda de patentes en la base SPACENET.

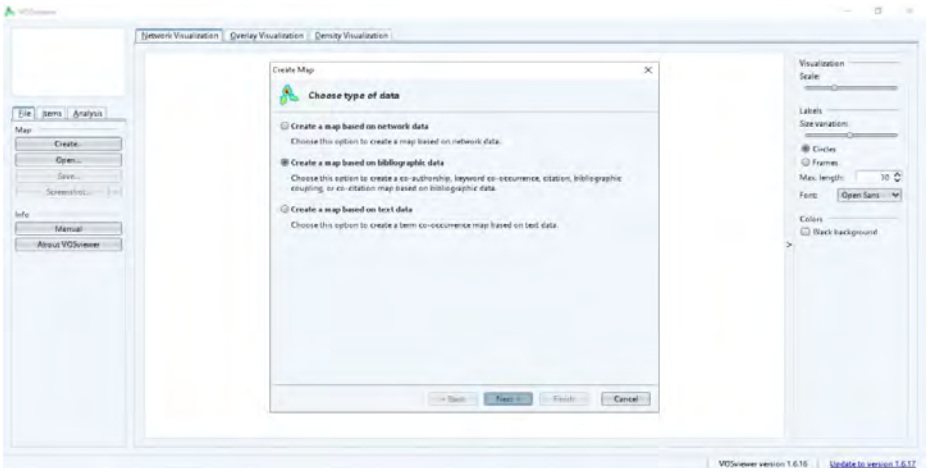
Los criterios asumidos para efectuar la búsqueda fueron los siguientes: año, lugar, tipo de información y palabras clave. Los documentos encontrados fueron descargados en formato "*.RIS".

a) **Conformación de la base de datos:** se encontró 1800 artículos con referencia al tema de investigación, de los cuales se procedió a conformar la base de datos en el software Excel con título, autores, resumen, revista, volumen, número, página de inicio del documento, año de publicación, referencias.

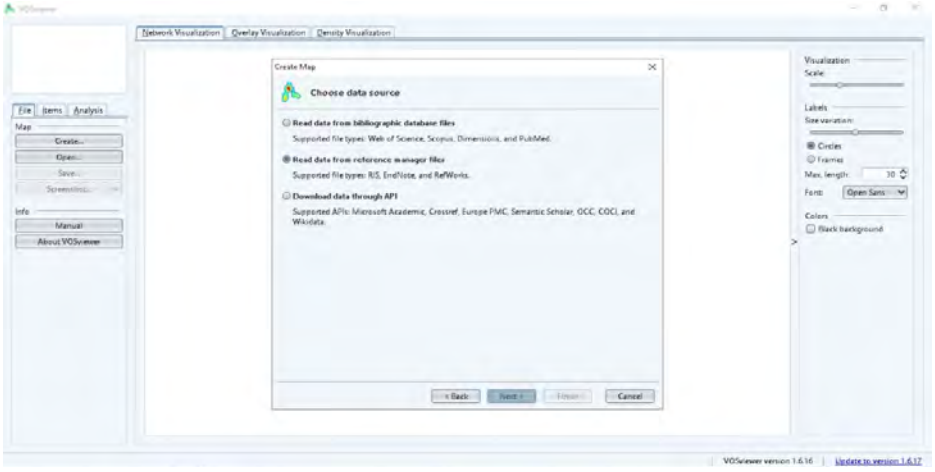
Etapa 2: Construcción de mapas bibliométricos

Se utilizó el software VOSviewer para crear mapas basados en datos de red. Los pasos a seguir durante el estudio para generar los mapas bibliométricos fueron los siguientes:

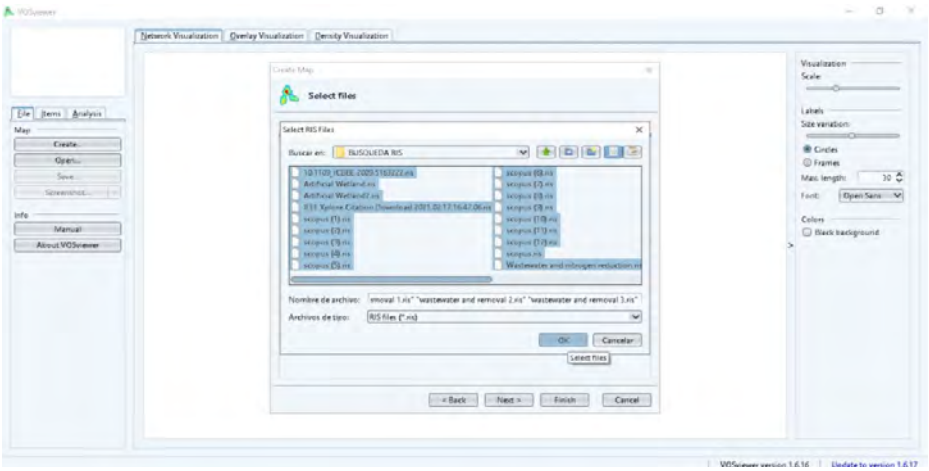
1. Crear un mapa basado en los datos bibliográficos extraídos de la Web of Science



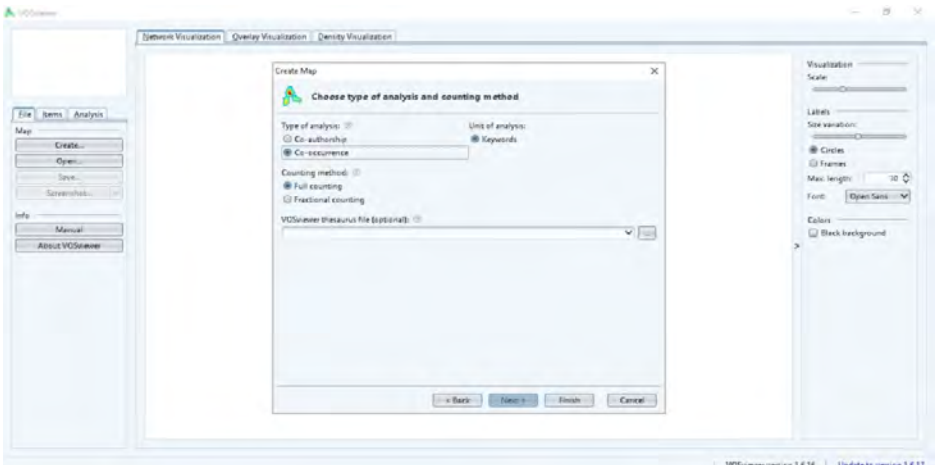
2. Obtener datos de un archivo que contenga una base de datos bibliográficos



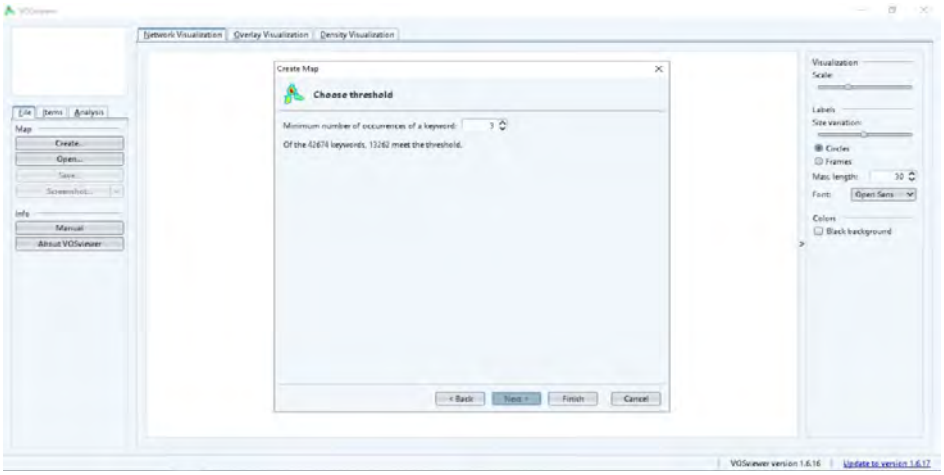
3. Subir documentos obtenidos de las bases de datos



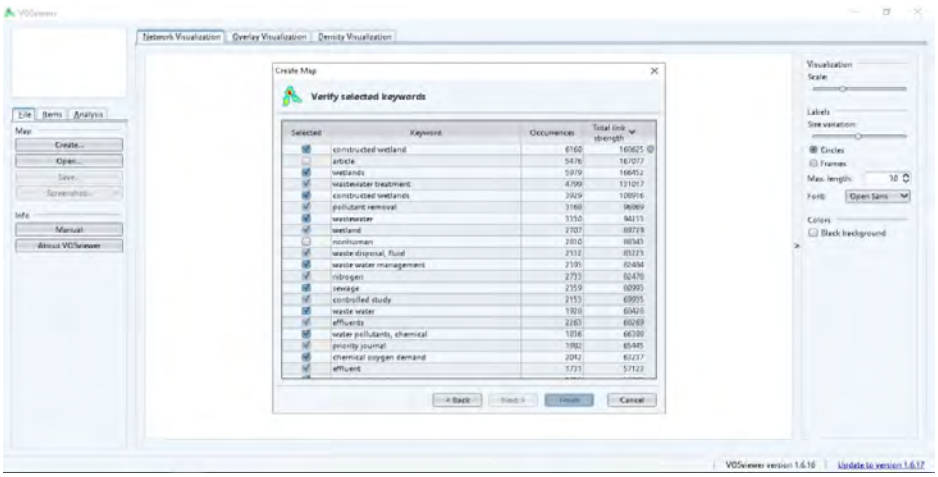
4. Elegir el tipo de análisis y elemento bibliográfico deseado (autores, artículos...)



5. Establecer el número mínimo de documentos y citaciones del elemento bibliográfico



6. Filtrar palabras que no hagan ningún aporte a la investigación; finalizar guardando, con el formato deseado



Análisis y Discusión de Resultados

Para el cumplimiento del objetivo se empleó palabras clave que, junto con los operadores boléanos, sirvieron para el desarrollo de ecuaciones de búsqueda, las que se usó para recopilar los metadatos de artículos científicos en bases de datos como IEEE, SCOPUS y SCIELO. En total, se recuperó 1974 documentos correspondientes al periodo 2000-2020. Con este material se realizó el estudio, con ayuda del software VOSviewer para organizar y clasificar los indicadores bibliométricos.

En la Tabla 1 se presenta las ecuaciones de búsqueda, las bases de datos consultadas y el total de documentos recopilados, respectivamente. De forma general, se observó que SCOPUS, por ser un repositorio de carácter mundial, alberga un mayor contenido de información de alta calidad que permitió obtener resultados favorables para esta investigación; igualmente, las demás bases de datos, aunque con menos rangos, aportaron gran información.

Tabla 1

Ecuaciones de búsqueda, bases de datos y número de artículos encontrados

Ecuación de búsqueda	Base de datos	Número de artículos
wastewater AND whey	SCOPUS	152
wastewater AND cheese AND whey	SCOPUS	91
"Wastewater treatment" AND "Cheese whey"	SCOPUS	42
"Wastewater treatment" AND "Dairy industry"	SCOPUS	113
"Wastewater treatment" AND "Dairy industry" AND "Constructed wetlands"	SCOPUS	7
"Constructed AND wetlands" AND "whey"	SCOPUS	4
Constructed wetlands OR "artificial wetlands" AND "phosphorous removal"	SCOPUS	114
Constructed wetlands OR "artificial wetlands" AND Nitrogen removal AND Wastewater treatment AND cheese	SCOPUS	4
Constructed wetlands OR "artificial wetlands" AND "Nutrient removal" AND Wastewater treatment AND cheese	SCOPUS	4
Constructed wetlands AND phragmites AND australis AND Wastewater	SCOPUS	346
Constructed wetlands AND phragmites AND australis AND Wastewater AND cheese	SCOPUS	2
Constructed wetlands AND Wastewater AND cold weather	SCOPUS	11
Artificial wetlands nitrogen removal	SCIELO	3

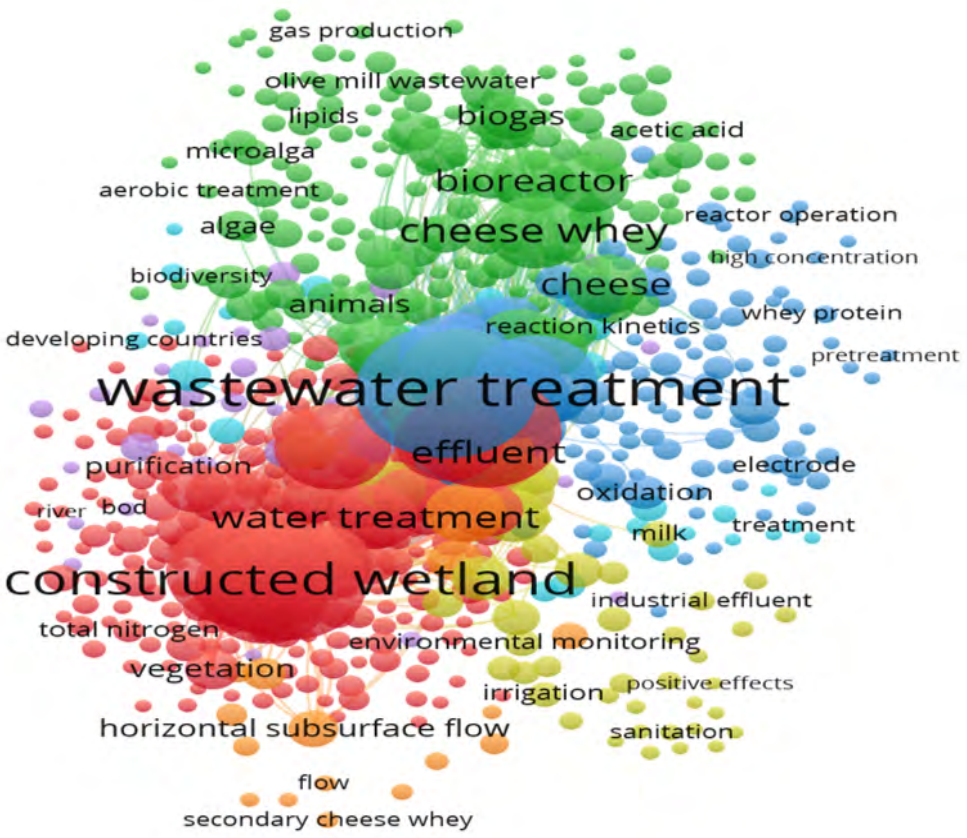
Ecuación de búsqueda	Base de datos	Número de artículos
Constructed wetlands nitrogen removal	SCIELO	11
Dairy industry wetlands	SCIELO	2
Wastewater treatment Cheese whey	SCIELO	4
Humedales artificiales macrofitas	SCIELO	4
Humedal construido	SCIELO	18
Remoción de fósforo humedal	SCIELO	5
agua residual industria láctea	SCIELO	2
agua residual suero	SCIELO	3
wastewater whey	BASE	100
	BASE	100
	BASE	100
	BASE	4
"artificial wetlands"	BASE	100
	BASE	100
	BASE	68
"Dairy industry waste"	BASE	32
Constructed wetlands whey	BASE	3
artificial wetlands nutrient	BASE	98
artificial wetlands nitrogen removal	BASE	59
artificial wetlands phosphorous removal	BASE	2
Wastewater treatment Cheese whey	BASE	92
artificial wetlands phragmites australis	BASE	39
Constructed wetlands Cold weather	BASE	4
Constructed wetlands AND Wastewater treatment	IEEE	47
Constructed wetlands OR artificial wetlands AND cheese	IEEE	100

En el mapa bibliométrico de la Figura 1, a continuación, la dimensión de los clústeres se determinó por diferentes factores como, el número de palabras clave, la ocurrencia de palabras en cada clúster y, los diferentes colores con los que se

clasificó cada grupo o clúster. Como Gálvez (2016) indica, los clústeres que se encuentran en el centro del mapa, se refieren a una alta interrelación de palabras clave; por el contrario, las palabras que están en los bordes del mapa, presentan menor interrelación. Como resultado del Mapa Bibliométrico, en este estudio se obtuvo siete clústeres temáticos que definieron las principales corrientes de la investigación en tratamiento de AR por humedales artificiales.

Figura 1

Mapa bibliométrico etiquetado con 631 palabras clave seleccionadas



En la Tabla 2 se muestra el color de cada clúster, que indica los grupos de las palabras clave de acuerdo con su alta interrelación; de esta manera se presenta siete clústeres, organizados de mayor a menor por el número de palabras clave, diferenciándose por sus colores. Además, se identificó las principales palabras de cada clúster; las que tienen mayor peso en los documentos encontrados, tienen una alta relación de mismos temas.

Tabla 2

Clústeres o grupos de palabras

Clústeres	Palabras clave	Ítem	%	Color	Tema Principal
1	Wastewater, effluents, constructed wetland	208	33,2		humedales construidos para agua residual
2	wastewater, dairy industry, pH	179	28,5		agua residual de la industria láctea
3	wastewater treatment, waste water management, chemical oxygen demand	114	18,2		tratamiento de agua residual
4	effluent, biochemical oxygen demand, ammonia	43	6,9		propiedades de los efluentes
5	dairying, nitrification, nitrates	38	6,1		métodos de tratamiento para efluentes de productos lácteos
6	water, food industry, biological materials	28	4,5		propiedades del agua residual de industrias de alimentos
7	waste component removal, dissolved oxygen, temperature	17	2,7		Remoción de contaminantes

Clúster 1: HC con agua residual (33,2 %), tiene un total de 208 palabras clave; esta línea de investigación se centró en AR, efluentes, HC, humedales con mayor peso.

Clúster 2: agua residual de la industria láctea (28,5 %); tiene un total de 179 palabras clave; este grupo temático se centró en agua residual, industria láctea, pH, residuos industriales, biomasa con mayor peso.

Clúster 3: tratamiento de agua residual (18,2 %); tiene un total de 114 palabras clave; esta línea de investigación se centró en tratamiento de agua residual, gestión de agua residual, demanda química de oxígeno, AR, siendo estas palabras clave, las de mayor peso.

Clúster 4: propiedades de los efluentes (6,9 %); tiene un total de 43 palabras clave. Esta línea de investigación se centró en efluentes, DBO, amonio, tratamiento de AR, carbono, industria láctea.

Clúster 5: métodos de tratamiento para efluentes de productos lácteos (6,1 %); tiene un total de 38 palabras clave; esta corriente de investigación se centró en productos lácteos, nitrificación, nitratos, HC de flujo subsuperficial, compuestos de amonio, siendo las palabras clave de mayor peso.

Clúster 6: propiedades del agua residual de industrias de alimentos (4,5 %); tiene un total de 28 palabras clave; la línea de investigación se centró en agua, materiales biológicos, óxido-reducción, contaminante orgánico, industria de alimentos, gestión de residuos, como las palabras con mayor peso.

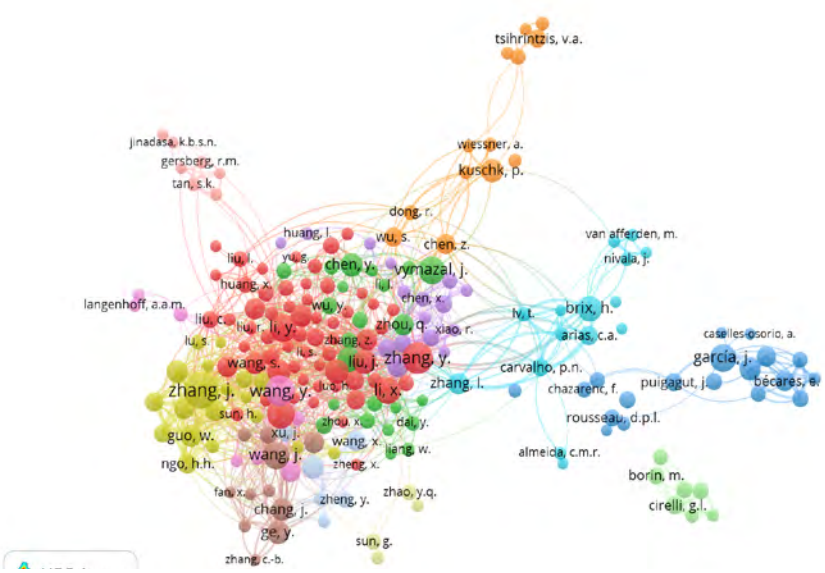
Clúster 7: remoción de contaminantes (2,7 %); tiene un total de 17 palabras clave; la línea de investigación se centró en: eliminación de componentes de desecho, oxígeno disuelto, temperatura, remoción, flujo subterráneo horizontal, conductividad eléctrica.

En el mapa bibliométrico de la Figura 2 se identifica la estructura del estado actual de los principales autores en documentos con, al menos, una afiliación; cada círculo (nodo) representa un investigador. Según Limaymanta et al. (2020), el tamaño del círculo representa la fuerza de acoplamiento bibliográfico de los investigadores.

De acuerdo con el acoplamiento bibliográfico, cuanto más cerca se encuentran dos investigadores en la visualización, mayor será la relación entre ellos; en este caso, los autores se enlazan dando a conocer algunas técnicas de tratamiento de AR con los diferentes tipos de HC, los cuales son una alternativa de tratamiento natural; es decir, investigadores que se ubican cerca el uno del otro, tienden a citar las mismas publicaciones; por ejemplo, Wang et al. (2017) dan a conocer la aplicación de la digestión por microondas en la determinación del nitrógeno y el fósforo en humedales y Wu et al. (2017), quienes realizan el tratamiento de AR basado en la descomposición a escala. Por otra parte, las agrupaciones de colores indican a los investigadores que, los autores están fuertemente relacionados entre sí, según la fuerza de acoplamiento bibliográfico; esto es, estos hablan sobre un tema en común; en este caso, la remoción de nitrógeno y fósforo a través de HC, que contribuyó a esta investigación, dado que está orientada a la reducción de carga orgánica.

Figura 2

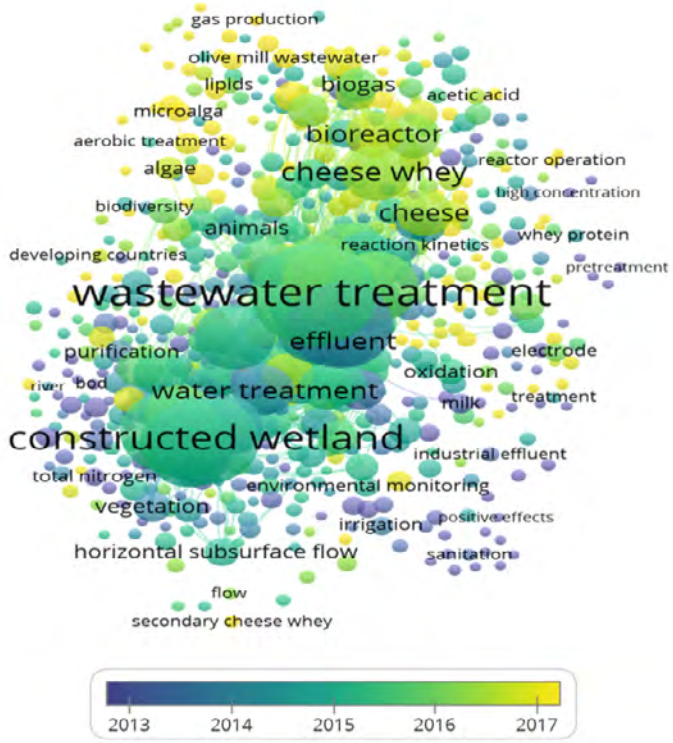
Estructura del estado actual de los principales autores



El mapa bibliométrico de la Figura 3, más adelante, relaciona la información de los diferentes documentos respecto a la fecha de publicación. Por lo anterior, se puede establecer que entre los años 2014 - 2016 se encuentra el mayor número de información e interrelaciones sobre las palabras clave: tratamientos de AR y HC, las cuales son importantes para determinar la fecha de los documentos con más relevancia en el tema de investigación. Un aspecto a resaltar es que, los documentos relacionados con agua residual de la industria láctea ("*cheese whey*"), se ubican a mediados del año 2016 y el año 2017.

Figura 3

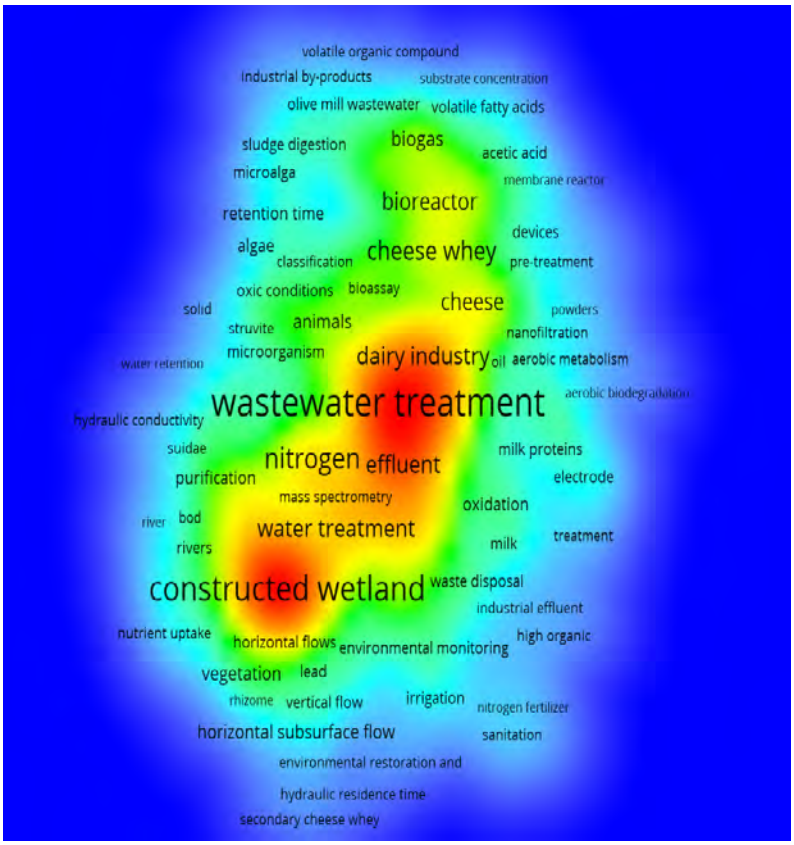
Mapa bibliométrico con respecto a las fechas de publicación de artículos



Con relación al mapa bibliométrico de calor, presentado en la Figura 4, enseguida, los colores próximos al rojo, situados en la zona central, muestran las zonas de mayor densidad de interrelación de las palabras clave. En la zona periférica del mapa, en los bordes del color rojo y en la zona de color amarillo, se encuentran artículos de investigación sobre tratamiento de AR, nitrógeno, biorreactor y, suero de queso. La zona de color verde muestra las zonas de menor densidad de interrelación de palabras clave. Y, la zona de color azul representa las palabras clave que no tienen ninguna interrelación.

Figura 4

Mapa bibliométrico de calor



En resumen, un análisis bibliométrico busca sintetizar la información generada por las bases de datos, mediante mapas bibliométricos que permiten identificar documentos de gran interés en los cuales se puede relacionar el tratamiento de AR en los diferentes tipos de HC, como es el caso de los humedales de flujo superficial y humedales de flujo subsuperficial; dentro de este último se ubican humedales de flujo subsuperficial horizontal y vertical. Según Díaz (2014), en Colombia los humedales de flujo subsuperficial en su construcción han estado enfocados, primordialmente, hacia la realización de pruebas piloto en el tratamiento de agua residual doméstica con caudales y poblaciones de diseño relativamente pequeñas. Se ha evidenciado una alta eficiencia de remoción en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, principalmente en pH, DQO, DOB_5, sólidos totales, conductividad, nitrógeno total, nitrógeno amoniacal, oxígeno disuelto, turbiedad, fósforo total.

Conclusiones

De acuerdo con el análisis bibliométrico, se presentó una mayor interrelación entre las palabras clave "wastewater treatment" y "constructed wetland", mostrando que hay una alta información de los diferentes tratamientos de AR con el uso de HC, para realizar un análisis completo sobre los factores críticos. Los HC son una alternativa para el tratamiento de AR debido a su alta eficiencia, al igual que los métodos convencionales, además de tener bajos costos de operación y mantenimiento.

Referencias

Arteaga-Cortez, V. N., Quevedo-Nolasco, A., Del Valle-Paniagua, D., Castro-Popoca, M., Bravo-Vinaja, Á. y Ramírez-Zierold, J. A. (2019). Estado del arte: una revisión actual de los mecanismos que utilizan los humedales artificiales para la remoción de nitrógeno y fósforo. *Tecnología y Ciencias del Agua*, *10*(5), 319-343. https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-05-12

Díaz, C. D. (2014). Tratamiento de agua residual a través de humedales. *V Congreso Internacional de Ingeniería Civil*, *Universidad Santo Tomás Seccional Tunja*. http://www.ustatunja.edu.co/cong/images/Articulos/-TRATAMIENTO%20DE%20AGUA%20RESIDUAL%20A%20TRAVES%20DE%20HUMEDALES.pdf

Gálvez, C. (2016). Visualización de las principales líneas de investigación en salud pública: Un análisis basado e mapas bibliométricos aplicados a la revista española de salud pública (2006-2015). *Revista Española de Salud Pública*, *90*, e40028.

Granados, M. M. (2018). *Estudio de factibilidad de la implementación de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en ecosistema de alta montaña en toquilla* [Tesis de Especialización, Universidad Libre]. https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/11576

Haro, M. E. y Aponte, N. O. (2010). *Evaluación de un humedal artificial como tratamiento de agua residual en un asentamiento irregular* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México]. http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1399/Tesina.pdf?sequence=1

Limaymanta, C. H., Zulueta-Rafael, H., Restrepo-Arango, C. y Álvarez-Muñoz, P. (2020). Análisis bibliométrico y cienciométrico de la producción científica de Perú y Ecuador desde Web of Science (2009-2018). *Información, Cultura y Sociedad*, (43), 31-52. https://doi.org/10.34096/ics.i43.7926

Maca-Millán, G. S. (2014). *Evaluación económica de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Guadalajara de Buga* [Tesis de Pregrado, Universidad del Valle]. https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/xmlui/handle/10893/7150?show=full

Prado, D. J. (2013). *Valoración de impactos ambientales generados en la industria láctea y cárnica en la ciudad de Cuenca* [Tesis de Pregrado, Universidad del Azuay]. https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/3265/1/10039.pdf

Proexport Colombia. (2011). Sector Lácteo en Colombia. Promoción de Turismo, Inversión y Exportaciones. http://portugalcolombia.com/media/Perfil-Lacteo-Colombia.pdf

Rodríguez-Momroy, J. y Durán, C. (2006). Remoción de nitrógeno en un sistema de tratamiento de aguas residuales usando humedales artificiales de flujo vertical a escala de banco. *Tecnología, Ciencia, Educación, 21*(1), 25-33.

Romero-Aguilar, M., Colín-Cruz, A., Sánchez-Salinas, E. y Ortiz-Hernández, L. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 25*(3), 157-167.

Solano, E. Castellanos, S. J., López M. M. y Hernández, J. I. (2009). La bibliometría: una herramienta eficaz para evaluar la actividad científica postgraduada. *Científica de las Ciencias Médicas en Cienfuegos, 7*(4), 291-294.

Wang, M., Zhang, D. Q., Dong, J. W., & Tan, S. K. (2017). Constructed wetlands for wastewater treatment in a cold climate: A review. *Journal of Environmental Sciences*, 57, 293-311. https://doi.org/10.1016/j.jes.2016.12.019

Wu, S., He, S., Zhou, W., Gu, J., Huang, J., Gao, L., & Zhang, X. (2017). Decomposition characteristics of three different kinds of aquatic macrophytes and their potential application as carbon resources in a constructed wetland. Environmental Pollution, 231, 1122-1133. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.049

Actuales rutas de conexión de los Corredores Biológicos en el municipio de Yacuanquer, Nariño

Giovanni Alexander Cuarán Páez[1]

Emerson Danny Córdoba Bravo[2]

Daisy Gabriela Guerrero Obando[3]

Resumen

Un corredor biológico es una estrategia que permite conectar ecosistemas o áreas naturales de gran importancia, con la función de preservar la biodiversidad del ecosistema. En el departamento de Nariño se encuentra el Santuario de Fauna y Flora Galeras, área protegida de relevancia en la zona, cuya riqueza está reflejada en la variedad de especies de flora y fauna en los ecosistemas de páramo, bosque alto andino y andino del área protegida, que cuenta con una zona amortiguadora que cumple la función de atenuar y prevenir alteraciones en el mismo, en donde existen corredores biológicos que están ubicados en diferentes puntos estratégicos y distribuidos por toda el área de influencia, dentro de la cual se ubica el municipio de Yacuanquer, en donde existen dos corredores de conservación a los cuales se les caracterizó la cobertura del suelo, a partir de información secundaria en el momento de su implementación.

Palabras clave: área protegida; corredor biológico; conservación; conectividad.

Introducción

Las acciones antropogénicas realizadas dentro del ecosistema natural han generado impactos negativos como, fragmentación del paisaje, pérdida de biodiversidad, disminución de flora y fauna, las cuales han alterado las características y funcionamiento de las áreas naturales. Las obstrucciones antropogénicas han favorecido la falta de "comunicación ecológica" (Tillmann, 2005, p. 120), afectando la cobertura vegetal debido a los cambios de uso de suelo, limitando la interacción

[1] Estudiante de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. gicuran@umariana.edu.co
[2] Estudiante de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. emecordoba@umariana.edu.co
[3] Docente de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. dgguerrero@umariana.edu.co

entre las especies y, generando procesos de fragmentación entre ellas. García y Abad (2014) afirman que las principales amenazas que afectan la biodiversidad biológica son la fragmentación y la pérdida de hábitat, que pueden causar la extinción de especies; además, la pérdida de hábitat es difícilmente solucionable, ya que la mayoría de casos es consecuencia de demandas territoriales para el crecimiento urbano, la expansión agrícola o, el uso de actividades productivas o agrícolas, mientras que el problema de la conectividad tiene soluciones más sencillas ya que, en ciertas ocasiones, solo son necesarias la continuidad y la coherencia territorial.

Para preservar la biodiversidad dentro de un área que ha sido fragmentada, se ha creado estrategias que permiten conservar la conectividad de manera continua y coherente, sin implicar grandes demandas de superficie; una de ellas son los corredores biológicos "que [proporcionan] conectividad entre paisajes, ecosistemas y hábitats, naturales o modificados, y [aseguran] el mantenimiento de la diversidad biológica y los procesos ecológicos y evolutivos" (Cardenal, 2002, p. 17). Estas estrategias han tomado fuerza en áreas de alto valor natural y cultural en donde existen condiciones primitivas de flora, fauna y geomorfología, las cuales no han sido alteradas sustancialmente.

En el departamento de Nariño se encuentra el Santuario de Fauna y Flora Galeras (SFFG), donde su riqueza está reflejada en la gran variedad de especies de flora y fauna en los ecosistemas de páramo, bosque alto andino y andino del área protegida, el cual cuenta con una zona amortiguadora que cumple la función de atenuar y prevenir alteraciones. Cabe resaltar que, debido a la gran biodiversidad que existe en él, se ha implementado estrategias para priorizar la conectividad de esta zona con la parte baja del departamento, ya que debe existir una libre interacción entre estas áreas.

Los corredores biológicos efectuados para conectar el SFFG están ubicados en diferentes puntos estratégicos que están distribuidos por toda el área de influencia, dentro de la cual se encuentra el municipio de Yacuanquer, en donde existen dos corredores de conservación.

El presente trabajo tiene como finalidad, la verificación de las rutas de conexión de los corredores biológicos en el municipio de Yacuanquer, Nariño y, además, determinar las características actuales de cada uno, definirlos y saber la ruta. Para realizar este trabajo se tuvo en cuenta la información del lugar en cuanto al estado actual de todos los corredores biológicos presentes en la zona, así como la incidencia del factor humano en ellos, la información suministrada por diversas entidades, el trabajo en campo y la utilización de tecnologías avanzadas como el Sistema de Información Geográfica (SIG).

Las rutas de conexión de los corredores biológicos que se encuentran en el municipio de Yacuanquer deben presentar una conectividad parcial desde la parte alta del SFFG hasta la parte baja del mismo; por ello, su conectividad debe ser superior al 80 %, para que su funcionamiento sea óptimo y cumpla con el propósito

de su implementación, teniendo en cuenta las diferentes variables que determinan la efectividad de los mismos.

Para el análisis se debe tener en cuenta ciertas variables que pueden incidir en la estructura de un corredor biológico, tales como: el clima, los suelos y coberturas del suelo, obteniendo como producto final, las rutas de conexión que presenta cada corredor biológico.

La investigación beneficia en sí a todo el municipio de Yacuanquer, porque brinda información que puede ser utilizada por la población para realizar planes de desarrollo, considerando las áreas de gran importancia ambiental, en donde se puede observar una vasta significancia de vida de flora y fauna endémica del lugar; además, se prevé cambiar las estrategias de deforestación del lugar, ya que los pobladores, en gran parte del sector rural, practican deforestación para obtener leña, a más de expandir los territorios para utilizarlos en el sector agrícola y ganadero, sin saber si son áreas que deben ser protegidas o hacen parte de un corredor biológico.

Por estos motivos se lleva a cabo la investigación, pero también, porque el municipio de Yacuanquer hace parte del SFFG y, la implementación de corredores biológicos es de gran relevancia para comunicar la zona alta con la zona baja del Santuario, cuyo fin será el libre movimiento de especies en el lugar.

Planteamiento del problema

Como se sabe, actualmente la población realiza un sinnúmero de actividades (cultivos de diferentes productos, expansión de la frontera agrícola, monocultivos, etc.) que han modificado la vegetación y disminuido su densidad, haciendo más difícil la conexión de diferentes áreas mediante la implementación de estrategias de conexión como los corredores biológicos, afectando la eficiencia de preservar la flora y la fauna endémica de ciertos lugares, generando interrogantes que tienen que ver con el correcto funcionamiento de dichas estrategias, además de saber si, cumplen o no con el propósito de su implementación.

Si bien Colombia es un país rico en biodiversidad, tiene un deterioro avanzado en los ecosistemas debido a las intervenciones humanas; uno de los métodos utilizados para analizar impactos ambientales ocurridos a través del tiempo, es conocer la evolución de los ecosistemas (Flórez-Yepes et al., 2017); por esto, se debe pensar en la necesidad de proteger y preservar los ecosistemas que representan la riqueza del país, mediante estrategias de conservación como las áreas protegidas y los corredores biológicos.

El departamento de Nariño no está exento de poseer este tipo de problemas y, un ejemplo claro es el municipio de Yacuanquer, que se encuentra dentro del Santuario y es de gran importancia, especialmente en la zona amortiguadora, sabiendo que "su efectividad depende, pues, más que de las restricciones, de una zonificación

que maximice sus funciones básicas: aislamiento selectivo, mitigación de impactos y conexión ecológica" (Parques Nacionales, 2014, p. 251).

Esta problemática podría afectar la flora y la fauna presente en la zona de influencia que tienen los corredores biológicos ya que, las zonas presentes en la parte de arriba de la vía principal poseen una vegetación alta y cierta cantidad de animales significativos, a diferencia de las partes bajas, debido a que el corredor biológico en ese lugar no está cumpliendo eficazmente con su objetivo.

Las actividades realizadas por los pobladores del municipio de Yacuanquer, como la deforestación, la expansión de la frontera agrícola, la ganadería pecuaria, la minería, entre otras, afectan directamente las áreas naturales y, por ende, la efectividad de los corredores biológicos; por eso, es fundamental realizar esta investigación, para verificar si los corredores biológicos presentes en la zona aún conservan sus características iniciales o han sido modificadas, además de determinar si las diferentes áreas de alto valor ecológico (reserva natural) presentes en el municipio están intercomunicadas, generando información que puede ser utilizada por la población y las entidades gubernamentales para promover un desarrollo sostenible y limitar ciertas acciones que puedan ir en contra de la conservación y la comunicación entre las áreas que hacen parte del SFFG, las cuales, generalmente, deberían estar conectadas.

Fundamentación Teórica

Estudios realizados internacionalmente establecen que la gestión para la implementación de un corredor biológico es esencial y debe hacerse correctamente, dados los impactos negativos que se han generado en el medio ambiente. Según Moreno et al. (2013) "los bosques remanentes han sido intensamente fragmentados, lo cual ha generado problemas ambientales con graves impactos sobre la biodiversidad" (p. 2); así mismo, se ha afectado la conectividad de zonas ecológicamente potenciales, conllevando realizar estrategias y gestiones para la conservación de estas áreas y las especies que habitan dentro de ellas.

Las consecuencias ecológicas de la fragmentación del hábitat incluyen los efectos directos de pérdida de hábitat y el aislamiento de las poblaciones que contienen. Los parches de hábitat que sobreviven al proceso de fragmentación están cada vez más aislados unos de otros y esto pueden causar una disminución en la funcionalidad de las especies (Murrieta et al., 2007), provocando alteraciones en la conectividad que presentan y, aún más, cuando ya han sido alterados por las actividades antrópicas y otras acciones ajenas a la de estos.

Por ello, en la actualidad, las recomendaciones para la conservación de la biodiversidad deben centrarse en la necesidad de conservar la dinámica, los patrones ecológicos a multiescalas y los procesos que sustentan la biota y los sistemas naturales que los contienen (Poiani et al., 2000), dado que la biodiversidad funciona

como un sistema en donde se debe tener en cuenta el correcto funcionamiento que ha de existir entre los diferentes componentes que la conforman, ya que si no se presenta, podría alterarse las condiciones que posee un área natural.

Los corredores biológicos cumplen la función de conectar áreas naturales, preservar la biodiversidad y prevenir la fragmentación, además de servir de vínculo entre especies de flora y fauna. De esta manera, la determinación de las rutas de conexión de los corredores es importante, ya que se podrá ver la efectividad y el desempeño de su labor con respecto a la conservación.

La determinación de la conectividad funcional en un corredor biológico resulta primordial para comprobar su efectividad; es importante tener en cuenta que, para evaluarla, se debe establecer para cuál organismo o grupo de organismos resulta prioritario determinarla y cómo ella va a depender de las características de cada especie (Alonso et al., 2017). En este caso, para la efectividad de los corredores biológicos en el municipio de Yacuanquer, se verificó su presencia; además, la evaluación de la conectividad se atribuye netamente a la densidad de la vegetación que estos presenten, debido a que no se considera ninguna especie vegetal o animal en particular.

Igualmente, es vital que, en el departamento de Nariño exista una gestión para la conservación y aún más por la diversidad que presenta. Según el Plan de Gestión Ambiental Regional del departamento de Nariño (Corporación Autónoma Regional de Nariño, CORPONARIÑO, 2017), “se ha trabajado con énfasis en la gestión de ecosistemas estratégicos, áreas protegidas, corredores biológicos, flora y fauna silvestre, servicios ecosistémicos y pago por servicios ecosistémicos, acompañado de procesos de apropiación social del conocimiento y acción colectiva” (p. 251). Por esta razón, se vio la necesidad de estudiar los corredores biológicos que se encuentran dentro del municipio de Yacuanquer y, determinar las características que cada uno posee, por medio de la revisión de información secundaria disponible y alusiva al tema en estudio.

Se facilita establecer corredores de conexión entre el Santuario y la parte baja, si se sigue el curso de las quebradas; hasta el borde de la vía, existe por lo menos, una conexión parcial. Se sabe que el problema no es la conexión; el problema real es el tipo de conexión y su calidad, en términos de complejidad estructural, calidad de hábitat y características físicas como ancho del corredor, longitud y dirección. Dentro del SFFG existe un sinnúmero de corredores biológicos que conectan las partes altas con las partes bajas y, teniendo en cuenta que el municipio de Yacuanquer está dentro de la zona de transición del Santuario, se vio la necesidad de definir las rutas de conectividad de aquellos ubicados dentro del municipio. Para definir dichas rutas, se utilizó la tecnología SIG, herramienta informática que facilita el estudio de áreas, implementando la cartografía que sirve para evaluar el territorio y sus diferentes variables ambientales, determinando las características propias de un lugar. Por esta razón:

> Un SIG se puede definir como aquel método o técnica de tratamiento de la información geográfica que nos permite combinar eficazmente información básica para obtener información derivada. Para ello, contaremos tanto con las fuentes de información como con un conjunto de herramientas informáticas (hardware y software) que nos facilitarán esta tarea; todo ello enmarcado dentro de un proyecto que habrá sido definido por un conjunto de personas, y controlado, así mismo, por los técnicos responsables de su implantación y desarrollo. En definitiva, un SIG es una herramienta capaz de combinar información gráfica (mapas.) y alfanumérica (estadísticas...) para obtener una información derivada sobre el espacio. (Domínguez, 2000, p. 3)

Con la información derivada sobre el espacio, obtenida por los SIG, se puede determinar las características de un corredor biológico, evaluando las diferentes variables que este presenta, como: altitud, uso del suelo, densidad de especies, presencia de masa de agua, fragmentación del hábitat, densidad de la vegetación, entre otras; con esta última se puede determinar la cadena de conexión del corredor biológico.

Metodología

El Campo Ambiental es un amplio campo que estudia las interacciones humanas con el medio ambiente, para resolver problemas que se generan cuando el hombre entra en contacto con la naturaleza, teniendo en cuenta el entorno natural, el entorno construido y los conjuntos de relaciones entre ellos.

Los corredores biológicos, al tratarse de estrategias de conservación implementadas después de una alteración en el ecosistema, se plantean como una solución a un problema generado por las interacciones humanas sobre el medio ambiente; por esta razón, su implementación y verificación, hacen parte del campo ambiental.

La línea de Investigación Ambiental puede definirse como un estudio que integra conocimientos derivados de las ciencias ambientales y sociales, con miras a un desarrollo sustentable, enfocándose en la relación que poseen las problemáticas ambientales con las temáticas sociales, motivo por el cual, el propósito de la investigación ambiental es desarrollar estrategias, técnicas y métodos que puedan aportar a la gestión, manejo y planificación del uso de los recursos naturales. Al verificar las rutas de conexión que tienen los corredores biológicos en el municipio de Yacuanquer, se considera las ciencias ambientales y sociales, aplicando todo el conocimiento disponible y haciendo énfasis en la búsqueda de alternativas a las problemáticas desencadenadas por la interacción del hombre con el medio ambiente.

El área de investigación es Diagnóstico Ambiental, al ser un instrumento de evaluación ambiental y realizar una caracterización del medio, ya sea físico, químico o biótico, para saber el estado actual de un sistema y ver los impactos negativos que

hay en él; por ello, al verificar las rutas de conexión de los corredores biológicos, se tuvo en cuenta los factores que intervienen en ellos, como la interacción del hombre y sus actividades, que pueden afectar el funcionamiento de esas rutas, en donde se caracteriza físicamente, aspectos como la cobertura vegetal del corredor.

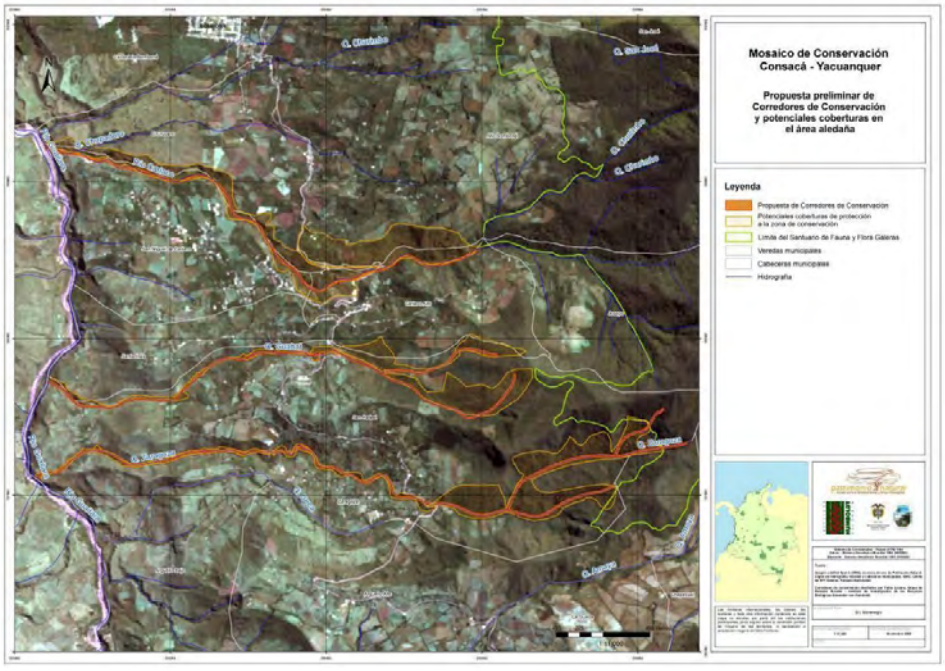
Discusión de Resultados

De acuerdo con la revisión de información secundaria, fueron creados los corredores biológicos y las áreas que estos ocupan en el municipio de Yacuanquer, además de las características que cada uno de estos poseen.

La identificación de corredores de conservación en la zona, con función amortiguadora como una estrategia de ordenamiento ambiental del territorio, se inició con la identificación del corredor de conservación de la quebrada Zaragoza, como se observa en la Figura 1, presente en el mosaico de conservación Consacá - Yacuanquer, el cual posee un área total de conectividad SFFG - río Guáitara de 17.5 hectáreas, de las cuales ocho fueron definidas como meta para el mosaico de conservación, con un ancho de diez metros.

Figura 1

Mosaico de Conservación Consacá – Yacuanquer

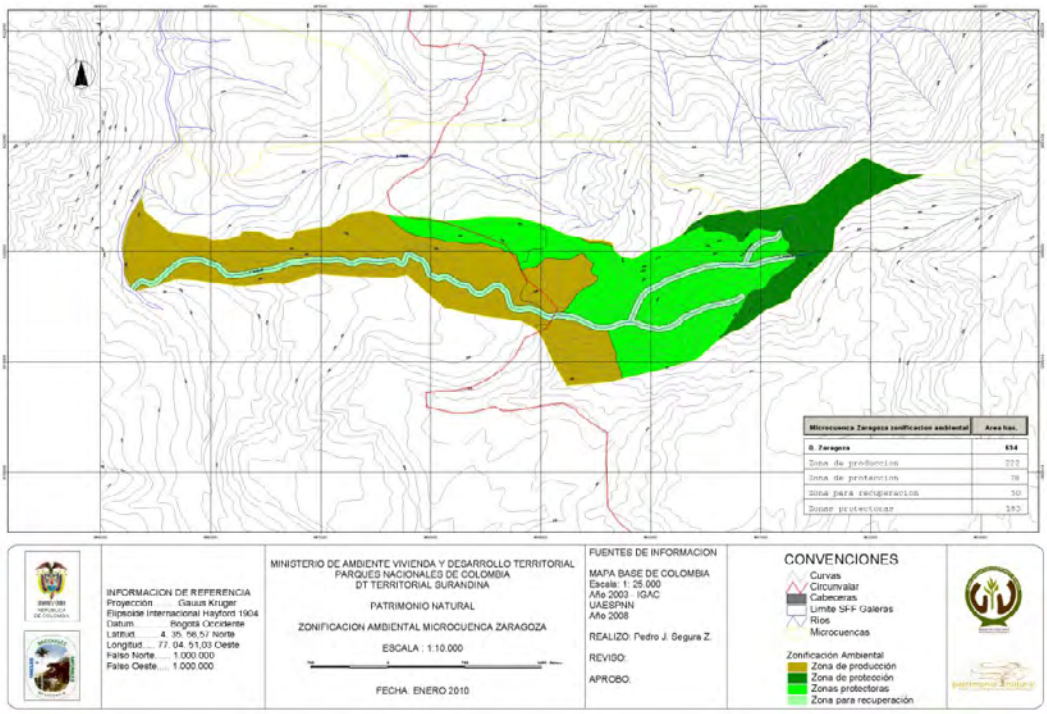


Fuente: Parques Nacionales Naturales de Colombia (2015)

En el corredor de conservación Quebrada Zaragoza, como se observa en la Figura 2, se destaca ciertas zonas que lo conforman, las cuales son: zonas de protección, zonas protectoras - productoras, zonas para recuperación y zona de producción.

Figura 2

Zonificación Ambiental Microcuenca Zaragoza



Fuente: Enríquez y Erazo (2011)

Zonas de Protección: son áreas que, por sus características ecológicas y por su importancia como prestadoras de servicios ambientales, deben mantenerse ajenas a la más mínima alteración humana. En la actualidad, estos ecosistemas hacen parte del SFFG, adscrito al Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia. El área se encuentra en vegetación de páramo, bosque alto Andino y bosque Andino, respectivamente, protegida como zona intangible, según el Plan de Manejo del Santuario.

Según el Plan de Manejo del SFFG, para esta zona de las microcuencas Guabal y Zaragoza, desde la parte alta se ubican algunas zonas con coberturas de páramo, caracterizadas por su cobertura rocosa y presencia de plantas cojín en algunos sectores pajonales y frailejonales, entre otros. Posteriormente, se halla una franja de bosque alto andino, que constituye la franja de vegetación característica sobre los 2.600 m s.n.m. y el límite con la franja del páramo. En esta zona aún se aprecia áreas de vegetación sin intervención antrópica; cierra la parte más baja del parque, una franja con bosque andino; este bioma se caracteriza por ser una franja de vegetación intervenida y con varios sectores fraccionados; se encuentra por debajo del bosque alto andino, hasta los 2.600 m s.n.m. y se extiende sobre la hondonada de la microcuenca.

Zonas protectoras - productoras: fuera del área del SFFG existen relictos de bosque en buen estado de conservación, que sirven como conectores con el santuario y, además, de corredores biológicos para la fauna que se desplaza desde la parte alta hasta inmediaciones de las microcuencas, en busca de alimento u otros. De acuerdo con consultas de la información secundaria en el Santuario, a través del proyecto GEF denominado "Ordenamiento Ambiental de la Zona Amortiguadora, acciones de restauración y plan de contingencia para contribuir a la conservación del bosque andino en el Santuario de Flora y Fauna Galeras, en el departamento de Nariño, Colombia" se trabaja procesos que permiten proteger este tipo de ecosistemas.

Zonas para recuperación: corresponden a todas las riberas de las microcuencas y sus afluentes; estas áreas son de gran importancia ecológica y sociocultural, por ser el hábitat natural de innumerables especies de fauna y flora, que mantienen las condiciones ambientales necesarias para su supervivencia y, contribuyen a la regulación de la red hídrica, controlando la cantidad y temporalidad del flujo del agua, protegiendo los suelos de la erosión causada tanto por la escorrentía como por la degradación de los ríos y quebradas, debido a la sedimentación.

Estos sistemas de abastecimiento de agua que se surten de las fuentes hídricas Zaragoza y Guabal, en su mayoría, presentan problema de deterioro en sus rondas, especialmente, en la parte baja, por deforestación en su cobertura boscosa, debido al conflicto de uso existente de actividades agrícolas que han traído como consecuencia, la disminución de los caudales y el alto grado de contaminación de la fuente. Hoy, el problema de la escasez de agua en las temporadas de estiaje es preocupante.

Zonas de producción: en las zonas de producción económica están aquellas áreas que ofrecen condiciones mínimas para el desarrollo de actividades productivas propias de la región y que son determinantes del ingreso económico de la población, como ocurre con la agricultura y la ganadería. Algunos de estos lugares presentan limitaciones superables como la baja fertilidad de los suelos, compactación, mala distribución de las lluvias y condiciones del terreno, por su relieve quebrado.

Estos suelos se hallan con coberturas en su mayor extensión de cultivos trimestrales, como pimentón, habichuela, tomate, pepino, en la zona baja de las microcuencas y, además, cultivos propios de la zona como café, maíz, plátano, yuca, cítricos, caña, árboles forestales, algunos bosques plantados y rastrojos.

Aunque la información secundaria no presentó un mapa de cobertura de suelo, el mapa de zonificación ambiental permitió identificar qué tipos de coberturas hacen presencia dentro de la microcuenca Quebrada Zaragoza, la cual hace referencia a la misma área del corredor; por ende, se tiene las características socioambientales de cada zona ambiental.

Las características del corredor dependen de las actividades que se practique en cada zona, que van desde la protección del ecosistema en la parte alta, hasta las acciones productivas presentes en la parte baja y, cómo las rutas diseñadas para conectar las áreas naturales se ven afectadas.

Uno de los problemas más graves que afecta a la microcuenca Zaragoza son las actividades económicas y agropecuarias del sector rural, aunado a la continua y permanente degradación de los recursos naturales, problema en el cual están involucrados aspectos ambientales, sociales y económicos.

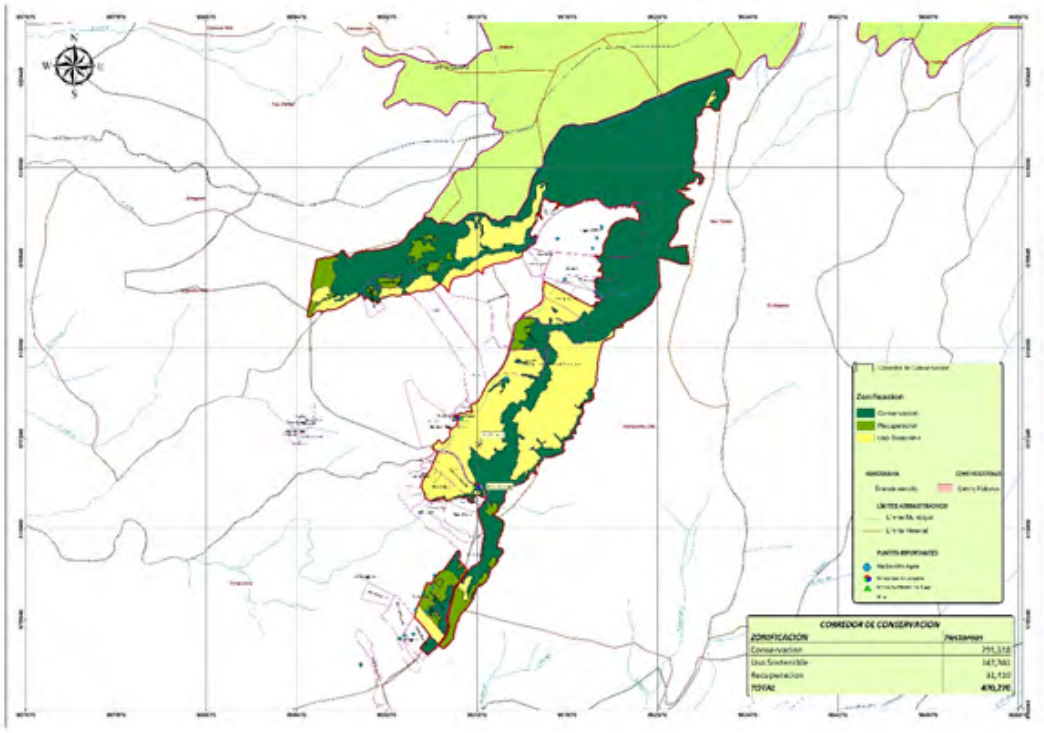
Adicional a esto, se halla el corredor de conservación Chapacual, Arguello, La Guaca, ubicado en el sur occidente de la República de Colombia, en el departamento de Nariño, municipio de Yacuanquer, colindando en el sector sur occidental del SFFG y, entrando en su totalidad en la Zona con Función Amortiguadora de dicha área protegida. El corredor toma parte también de las microcuencas Quebrada La Guaca y Quebrada Ahumaya; en su parte interna toma parte de predios dedicados principalmente a la actividad pecuaria y, en menor medida, a cultivos transitorios. Su parte exterior oriental limita con la vereda Mohechiza Alto y, en su extremo occidental, con las veredas Zaragoza y Arguello; su parte interna limita con las veredas Chapacual y La Guaca.

El corredor tiene un área total de 470,270 hectáreas. En la Figura 3 se puede observar que, dentro del corredor de conservación se identificó tres zonas ambientales:

1) **Zonas de conservación:** correspondiente a 291,518 hectáreas, destinadas a la protección de ecosistemas y hábitats para especies silvestres que se encuentren en mejor estado de conservación
2) **Zonas de recuperación**: pertenecen 147,341 hectáreas; son áreas donde se ha perdido las coberturas naturales, aun cuando poseen alto valor para la oferta y regulación hídrica o, que tienen alto potencial erosivo
3) **Zonas de uso sostenible:** corresponden a 31,411 hectáreas, que son sitios con alto potencial para la conectividad, donde se debe incentivar la reconversión y el mejoramiento de los sistemas de producción rural.

Figura 3

Zonificación Corredor de Conservación Chapacual, La Guaca, Arguello

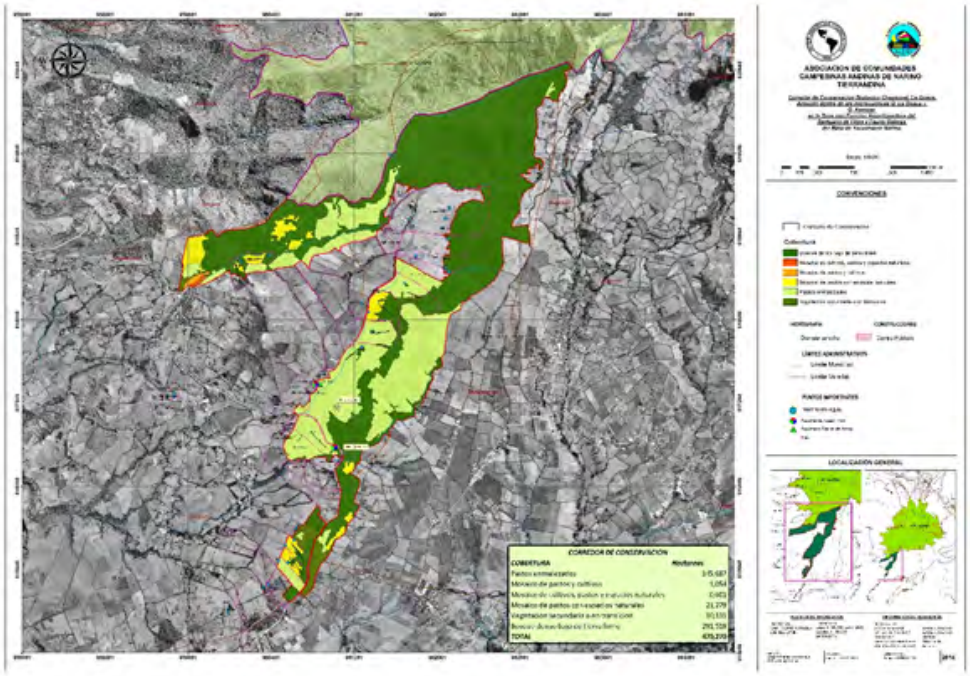


Fuente: Parques Nacionales Naturales de Colombia (2015)

Como se observa en la Figura 4, se identificó seis tipos de cobertura vegetal presentes en tres zonas: zonas de conservación, zonas de recuperación y zonas de uso sostenible, que señalan los principales énfasis en la gestión ambiental, con el fin de promover la protección de la biodiversidad y del recurso hídrico en un área de alta montaña estratégica para la región: Las coberturas identificadas son: pastos enmalezados, mosaico de pastos y cultivos, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, mosaico de pastos con espacios naturales, vegetación secundaria o en transición y, bosque denso bajo de tierra firme.

Figura 4

Coberturas vegetales Corredor de Conservación Chapacual, La Guaca, Arguello



Fuente: Parques Nacionales Naturales de Colombia (2015)

Conclusiones

Un corredor biológico es de vital importancia, si se trata de implementar una estrategia de conectividad entre dos zonas que han sido separadas por la fragmentación, ya que permite no solo que exista una interacción entre estas áreas, sino el flujo de especies, preservando la biodiversidad del lugar.

La presencia de corredores de conservación en el municipio de Yacuanquer, Nariño, denota un área donde la preservación de especies es fundamental, dado que pertenece al SFFG, además de que promueve la protección de la biodiversidad y el recurso hídrico en un área de alta montaña. Asimismo, la zonificación ambiental dentro de cada corredor de conservación permite delimitar las interacciones del ecosistema, que existen con las actividades de los pobladores. Se ha presentado algunos conflictos, ya que existe actividad socioeconómica en zonas de protección o de recuperación ambiental, lo cual impide un funcionamiento del corredor; no obstante, también se identifica áreas de producción en donde existen condiciones para las actividades económicas de la población, sin afectar el ecosistema. Las zonas identificadas cumplen una función debido a sus características; y, si las actividades antrópicas siguen invadiendo estas zonas, pueden afectar no solamente la fauna y la flora, sino también, el recurso hídrico que existe en este ecosistema, por lo cual se es necesario controlar cada actividad que se hace en cada zona ambiental.

Referencias

Alonso, A. M., Finegan, B., Brenes, C., Gunter, S. y Palomeque, X. (2017). Evaluación de la conectividad estructural y funcional en el corredor de conservación Podocarpus-Yacuambi, Ecuador. *Revista Universidad Nacional de Colombia*, *39*(1), 140-156. https://doi.org/10.15446/caldasia.v39n1.64324

Asociación para el Desarrollo Campesino. (2021). Grupo Chapacual – Yacuanquer. https://adc.org.co/grupo-chapacual-yacuanquer/

Cardenal, L. (Coord.). (2002). El corredor biológico mesoamericano, una plataforma para el desarrollo sostenible regional. http://www.bio-nica.info/Biblioteca/CBM2002PlataformaDesarrolloSostenible.pdf

Corporación Autónoma Regional de Nariño (CORPONARIÑO). (2017). Plan de gestión ambiental regional del departamento de Nariño PGAR 2016-2036. https://corponarino.gov.co/wp-content/uploads/2016/11/PGAR-2016-2036-VF.pdf

Domínguez, J. (2000). *Breve introducción a la Cartografía y a los Sistemas de Información Geográfica (SIG)*. Editorial CIEMAT.

Enríquez, A. C. y Erazo, B. (2011). *Propuesta de estrategias de gestión ambiental local orientadas hacia el ordenamiento territorial y manejo de las microcuencas Zaragoza y Guabal, área del mosaico Yacuanquer- Consacá, departamento de Nariño* [Tesis de Especialización, Universidad Tecnológica de Pereira]. https://repositorio.utp.edu.co/items/0e817351-c546-4ade-a158-b0b7676e8000/full

Flórez-Yepes, G. Y., Rincón-Santamaría, A., Cardona P. S. and Alzate-Álvarez, A. M. (2017). Análisis multitemporal de las coberturas vegetales en el área de influencia de las minas de oro ubicadas en la parte alta del sector de Maltería en Manizales, Colombia. DYNA, Revista de la Facultad Nacional de Minas, 84(201), 95-101. https://doi.org/10.15446/dyna.v84n201.55759

García, F. y Abad, J. (2014). Los corredores ecológicos y su importancia ambiental: propuestas de actuación para fomentar la permeabilidad y conectividad aplicadas al entorno del río Cardeña (Ávila y Segovia). *Observatorio Medioambiental*, *17*, 253-298. https://doi.org/10.5209/rev_obmd.2014.v17.47194

Moreno, G., Zamora, R. y Herrera, M. A. (2013). Diseño de un corredor biológico en bosques templados de Chile "Hotspot" de biodiversidad. https://www.congresoforestal.es/fichero.php?t=12225&i=985&m=2185

Murrieta, E., Finegan, B., Delgado, D., Villalobos, R. y Campos, J. (2007). Propuesta para una red de conectividad ecológica en el Corredor Biológico Volcánica Central-Talamanca, Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente*, (51-52), 69-76.

Parques Nacionales. (2014). Fase III: Reglamentación de la Zona Amortiguadora. https://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2014/08/7-zonas.pdf

Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2015). Plan de Manejo SFF Galeras. https://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2020/10/plan-de-manjo-del-sff-galeras.pdf

Poiani, K. A., Richter, B. D., Anderson, M. G., & Richter, H. E. (2000). Biodiversity conservation at multiple scales: functional sites, landscapes, and networks. *BioScience 50*(2), 133-146. https://doi.org/10.1641/0006-3568(2000)050[0133:BCAMSF]2.3.CO;2

Tillmann, J. E. (2005). Habitat fragmentation and ecological networks in Europe. *GAIA, Ecological Perspectives for Science and Society, 14*(12), 119-123. https://doi.org/10.14512/gaia.14.2.11

Pasivos ambientales en Colombia: implicaciones y necesidades desde la política del país

María Alejandra Rodríguez Zapata[1]

Cesar Augusto Ruiz Agudelo[2]

Resumen

A partir de la actualización del estado de los pasivos ambientales en Colombia y, sus implicaciones económicas, este documento examina los efectos de las actuales políticas sobre la prevención, mitigación y compensación de los mismos, en las actividades extractivas, así como las necesidades gubernamentales que se requiere para avanzar en su resolución. Para el establecimiento de su estado se desarrolló una búsqueda sistemática de información, identificando legalidad de la actividad, tipología y ubicación. Para la estimación de la pérdida económica fue desarrollada la metodología de transferencia de beneficios, para lo cual se tuvo en cuenta la base de datos internacional, *Ecosystem Valuation Database*. Fueron identificados un total de 223 pasivos ambientales, afectando todos los departamentos, con excepción de Quindío, Caquetá, Guaviare y Vichada; el 37 % de ellos estuvo configurado bajo la imputación formal de responsabilidad, mientras que un 33 % presentó un desconocimiento total acerca de su generación. La pérdida económica para los cuatro departamentos analizados fue de $ USD 42 billones, afectando 13 de los 25 servicios ecosistémicos considerados. Se encontró que, el escaso reconocimiento de la dimensión sociocultural de las instituciones sobre estos, plantea una de las principales barreras para su gestión.

Palabras clave: pasivos ambientales; gestión ambiental; minería; política ambiental.

[1] Universidad Jorge Tadeo Lozano, Colombia. Correo: mariaa.rodriguezz@utadeo.edu.co
[2] Universidad Jorge Tadeo Lozano, Colombia. Correo: cesara.ruiza@utadeo.edu.co

Introducción

Los pasivos ambientales (PA) o, deterioro ambiental que afectan a terceros (Rose et al., 2017) llaman cada vez más la atención, como parte de las preocupaciones en torno a la actual crisis ambiental, representando un limitante directo al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible, objetivos que hoy en día se posicionan como influenciadores directos en las agendas ambientales de los gobiernos, pudiendo ser estas, una potente fuente de control, especialmente en actividades económicas con un riesgo ambiental particularmente alto como las actividades extractivas (Prior et al., 2012). Si bien algunos estudios, como los de Balistreri y Worley (2009) sugieren que, la insuficiente normatividad ambiental de los países con economías en desarrollo es vista como incentivos perversos para la migración de las industrias extractivas y sus contaminantes, en la actualidad, otros ofrecen análisis que dejan en evidencia cómo las lagunas de información que permiten el aumento de los costos ambientales y el desarrollo de conflictos socioecológicos, tienen un efecto negativo sobre la inversión de esta industria (Vásquez y Prialé, 2021).

Como parte del rol que conlleva ser el principal administrador de los recursos naturales, los gobiernos tienen la responsabilidad de armonizar su aprovechamiento, como parte fundamental de la dinamización de la economía de los territorios, con el aseguramiento de la provisión de servicios ecosistémicos (SE), clave para el mantenimiento del bienestar social general. Tendencias investigativas (Liao, 2018; Ranjan, 2018; Yu y Li, 2020) acerca de la influencia de las políticas y normatividades gubernamentales sobre el medio ambiente, son concluyentes, reconociendo que estas desempeñan un rol importante en el cumplimiento del desarrollo sostenible de las actividades económicas, al ser, por ejemplo, mediciones de una gran diversidad de emisiones, entre ellas las de mercurio, como resultado de la extracción de oro, consideradas indicadores valiosos para identificar entre una inadecuada y adecuada política medioambiental, guiando así, los mecanismos para el control, prevención y compensación de pasivos ambientales. Como ejemplo, la imposición de controles de mercurio en las operaciones de fundición y extracción de oro en Nevada, generó la reducción drástica de estas, pasando de una proporción mercurio-oro de 0.021 a 0.003.

A pesar de esto, una gran cantidad de países con una relativamente completa normatividad ambiental, ha logrado en la última década, un vasto crecimiento en sus economías, a costa de significativos daños ambientales, pérdida de recursos e importantes contribuciones al cambio climático (Polzin et al., 2016), traducido esto en la pérdida de bienestar de las comunidades que se desarrollan en torno al aprovechamiento de estos ecosistemas, lo cual deja en evidencia que, no todas las políticas medioambientales tienen un efecto positivo sobre la gestión de los PA, y por ende, en la actualidad se hace hincapié en el desarrollo de políticas íntegras que tengan la capacidad de hacer frente a nuevos órdenes de complejidad, estando la producción de conocimiento científico, orientada a apoyar la toma de decisiones informadas, como una potente herramienta para el establecimiento de líneas de acción que respondan a la resolución de los conflictos de forma contextualizada a cada territorio (Rose et al., 2017). Bajo esta línea, el gobierno húngaro ha aprendido cómo el establecimiento de normatividades que exijan la recopilación

de información del estado ambiental de las áreas en donde se planifica actividades extractivas, es valiosa para exigir compensaciones por daños ambientales y, asimismo, asegurar una responsabilidad objetiva.

Si bien es cierto que, Colombia cuenta con una importante riqueza natural, resaltando la presencia de 314 ecosistemas, 22 millones de hectáreas de humedales y 36 páramos (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, s.f.), siglos de una insuficiente gestión sobre las actividades extractivas tradicionales, un aumento en las presiones extractivas industriales de minerales combustibles y no combustibles (López-Sánchez et al., 2017) y políticas fiscales enfocados al aumento de la inversión extranjera que ignoran su impactos sobre el detrimento de los ecosistemas, entre otros elementos, han convergido para generar una cantidad importante de PA, posicionándose como uno de los principales retos que tiene el país para el cumplimiento del desarrollo integral del territorio, lo cual se ha visto evidenciado directamente en la desaparición de por lo menos 34 pueblos indígenas (International Council of Mining and Metals, 2013) y, la afectación de 117 reservas debido a la intrusión total o parcial de actividades minero-energéticas (Human Rights Everywhere, s.f.).

Dado que los PA pueden ser operados como una responsabilidad moral, económica y legal, su gestión debe enmarcar tres elementos y, por ende, la generación de información científica enfocada en el apoyo a la toma de decisiones, debería responder a:

1) Identificación de los responsables
2) Implementación de herramientas de valoración para proporcionar argumentos de indemnización, recuperación y mitigación de daños
3) Declaración administrativa o legislativa para una reparación efectiva (Cardoso, 2015; Figueroa y Tello, 2018).

En Colombia, existen múltiples estudios que reportan, evalúan y, algunos otros que valoran, los daños ambientales del sector extractivo que falta a terceros (Cordy et al., 2011; Torres et al., s.f.; Palacios-Torres et al., 2019; Alonso et al., 2020) reconociendo a muy pocos de estos, como PA (Cardoso, 2015; Moreno y Ussa, 2008); sin embargo, todos estos han sido desarrollados aisladamente, evidenciándose una dificultad para establecer conexiones entre responsables y otros elementos como: avances en la gestión de daños, origen legal de las actividades y *commodities* involucrados.

La presente investigación desarrolla un análisis sobre la pertinencia de involucrar las herramientas de política para avanzar en la resolución de los PA en Colombia, así como los efectos de las actuales políticas y normatividades ambientales sobre su generación y gestión, a partir de la actualización del estado de estos en el sector extractivo en Colombia, y la estimación de la pérdida económica de algunos de los identificados.

Para la actualización del estado de los PA se desarrolló una revisión sistemática de 196 documentos entre informes técnicos, artículos revisados por pares, aportes

de grados y páginas web, identificando, entre otros elementos, los *commodities* involucrados, responsables de generación y avances en la gestión de los diferentes pasivos identificados. Por otra parte, se estimó la pérdida económica por afectación a la provisión de SE mediante el método de transferencia, usando la base de datos internacional *Ecosystem Services Valuation Data Base*.

Este documento surge como complemento al estudio de Rodríguez-Zapata y Ruiz-Agudelo (2021); además, da un primer acercamiento, acotado a un alcance político nacional, al ejercicio de valoración económica de SE y daños socioculturales, desarrollado desde un enfoque más amplio y en proceso de construcción, para una posterior publicación.

Desarrollo

Actualización del estado de los pasivos ambientales en Colombia

La tipología propuesta por la Universidad Nacional de Colombia (Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), 2014) y, retomada como base para establecer mecanismos de atención de los PA en Colombia es propuesta para definir el avance en la gestión de los PA en el territorio, configurados como una obligación con asumir, impuesta mediante una acción administrativa o judicial. Por otra parte, un pasivo ambiental contingente se reconoce como un costo probable de asumir pues, aunque este no ha sido configurado por el conocimiento histórico de la actividad, es posible determinar quiénes serán los responsables. Finalmente, un pasivo ambiental huérfano, constituye aquel daño ambiental donde no existe una responsabilidad establecida, como consecuencia de la imposibilidad de determinar la responsabilidad por el daño.

Para la consolidación del inventario de PA, se realizó una búsqueda bibliográfica sistemática tanto en revistas internacionales revisadas por pares, como por informes técnicos (archivos nacionales, planes de gestión y reportes gubernamentales) y páginas web. Fueron revisados 192 documentos con información de las últimas cinco décadas. Para cada recurso encontrado se registró información como cita, año de publicación, revista, escala local, regional o nacional, información geográfica como departamento, municipio, corregimiento y vereda. Para aplicar la tipología propuesta se identificó para cada caso: actividad económica generadora de pasivo (tipo de minería o extracción de gas/petróleo), legalidad de la actividad generadora de pasivos, identificación del responsable (persona o compañía) y una descripción acerca del recurso natural afectado (ecosistemas, biodiversidad y SE), así como medio de vida local afectado.

Valoración económica de los pasivos ambientales priorizados

De los 28 departamentos en los cuales se identificó PA, se eligió a los departamentos de Chocó, Antioquia, Cundinamarca y Cesar, para desarrollar la valoración económica, al presentar la mayor cantidad. La estimación del costo de los PA a partir del cambio en la provisión de SE se basó en las cifras del valor económico, reportadas

en *Ecosystem Services Valuation Database*. El mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia (Instituto de Estudios Ambientales, IDEAM, 2018) fue tomado como referencia para clasificar los ecosistemas homólogos a los biomas planteados en la base de datos global utilizada. Finamente, los costos de los SE por ecosistema, fueron multiplicados por el área en hectáreas afectadas por la actividad extractiva, ciñéndose al supuesto de que, tanto el ecosistema como sus SE son destruidos por completo, una vez se ha desarrollado la actividad.

Los recursos de información que permitieron la asignación de la magnitud (área) del daño provinieron de estudios técnicos realizados desde las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) y distintas Organizaciones no Gubernamentales (ONG), así como de censos nacionales provenientes del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y, estimaciones a partir del uso de sistemas de información geográficos.

Algunos PA identificados implicaron daños que no estaban directamente relacionados con el aprovisionamiento de servicios ecosistémicos, como fueron las pérdidas en las actividades de subsistencia, desplazamientos involuntarios o reubicaciones, generación de enfermedades y, muertes. Para la estimación de los dos primeros escenarios se tuvo en cuenta las cifras de producción y rendimiento municipal de los principales productos agrícolas, ganaderos y de producción de oro, bajo la modalidad de minería artesanal (para la pérdida de actividades mineras tradicionales); estos fueron asociados a los precios pagados al productor. Para el caso de la generación de enfermedades, se tuvo en cuenta los costos anuales de los tratamientos de estas enfermedades en Colombia. Finalmente, para estimar el costo económico por pérdidas en el capital humano, se aplicó la fórmula de Años Potenciales de Vida Perdidos.

Resultados

Actualización del estado de los pasivos ambientales

Los resultados de este documento se encuentran publicados en el artículo titulado *Environmental liabilities in Colombia: A critical review of current status and challenges for a megadiverse country* (Rodríguez-Zapata y Ruiz-Agudelo, 2021).

Valoración económica de los pasivos ambientales priorizados

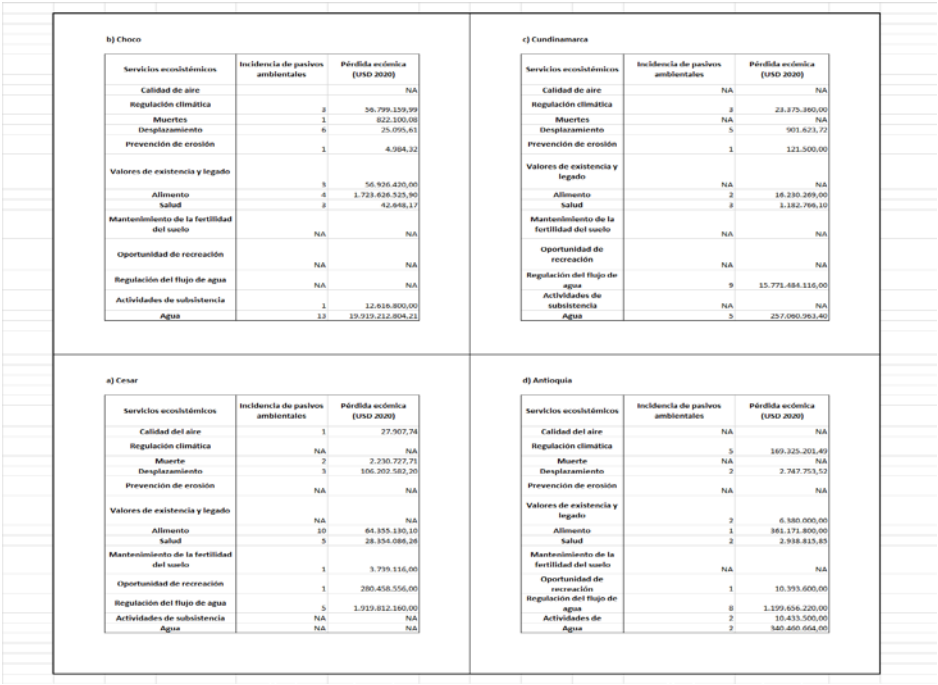
Se estimó una pérdida económica total de USD $ 42 billones por afectación a servicios ecosistémicos y elementos socioculturales en los departamentos de Chocó, Cundinamarca, Cesar y Antioquia. Chocó tuvo la mayor pérdida económica, con un estimado de USD $ 21,7 billones; y, Antioquia fue el departamento con la menor deuda estimada con USD 2.1 millones (Figura 1).

Los servicios de regulación del flujo de agua, calidad de agua y provisión de alimento, fueron los que presentaron la mayor pérdida económica respectivamente, con USD $ 20 billones, USD $ 18.8 billones y USD $ 2 billones. A nivel departamental, tanto en Cundinamarca como en Antioquia y Cesar, la mayor pérdida económica

estuvo dirigida a daños en la provisión de servicio de regulación del flujo hídrico, mientras que, en Chocó, la calidad de agua fue la de mayor afectación, según su estimado (Figura 1).

Figura 1

Pérdida económica total (USD de 2020) e incidencia de pasivos ambientales sobre los servicios ecosistémicos en los departamentos de a) Chocó, b) Cundinamarca, C) Cesar, d) Antioquia



b) Choco

Servicios ecosistémicos	Incidencia de pasivos ambientales	Pérdida ecónica (USD 2020)
Calidad de aire		NA
Regulación climática	3	36.799.159,99
Muertes	1	822.100,08
Desplazamiento	6	25.095,61
Prevención de erosión	1	4.984,32
Valores de existencia y legado	1	56.926.420,00
Alimento	4	1.723.626.525,90
Salud	3	42.648,17
Mantenimiento de la fertilidad del suelo	NA	NA
Oportunidad de recreación	NA	NA
Regulación del flujo de agua	NA	NA
Actividades de subsistencia	1	12.916.800,00
Agua	13	19.919.212.804,21

c) Cundinamarca

Servicios ecosistémicos	Incidencia de pasivos ambientales	Pérdida ecónica (USD 2020)
Calidad de aire	NA	NA
Regulación climática	2	23.375.360,00
Muertes	NA	NA
Desplazamiento	5	901.623,72
Prevención de erosión	1	121.500,00
Valores de existencia y legado	NA	NA
Alimento	2	16.230.269,00
Salud	3	1.182.766,10
Mantenimiento de la fertilidad del suelo	NA	NA
Oportunidad de recreación	NA	NA
Regulación del flujo de agua	9	15.771.484.116,00
Actividades de subsistencia	NA	NA
Agua	5	257.080.963,40

a) Cesar

Servicios ecosistémicos	Incidencia de pasivos ambientales	Pérdida ecónica (USD 2020)
Calidad del aire	1	27.907,74
Regulación climática	NA	NA
Muerte	2	2.230.727,71
Desplazamiento	3	106.202.582,20
Prevención de erosión	NA	NA
Valores de existencia y legado	NA	NA
Alimento	10	64.355.130,10
Salud	5	28.354.086,26
Mantenimiento de la fertilidad del suelo	1	3.739.116,00
Oportunidad de recreación	1	280.458.556,00
Regulación del flujo de agua	5	1.919.812.160,00
Actividades de subsistencia	NA	NA
Agua	NA	NA

d) Antioquia

Servicios ecosistémicos	Incidencia de pasivos ambientales	Pérdida ecónica (USD 2020)
Calidad del aire	NA	NA
Regulación climática	5	169.325.201,49
Muerte	NA	NA
Desplazamiento	2	2.747.753,52
Prevención de erosión	NA	NA
Valores de existencia y legado	2	6.380.000,00
Alimento	1	161.171.800,00
Salud	2	2.938.815,85
Mantenimiento de la fertilidad del suelo	NA	NA
Oportunidad de recreación	1	10.393.600,00
Regulación del flujo de agua	8	1.199.656.220,00
Actividades de	2	10.433.500,00
Agua	2	340.460.664,00

En total, siete *commodities* estuvieron implicados en la afectación de servicios ecosistémicos y elementos socioculturales; de estos, el carbón (USD $ 16 billones), el oro y platino (USD $ 14 billones), y el oro (USD $ 8 billones), fueron los más representativos, sumando 94,8 % de la pérdida económica total; el petróleo, los materiales de construcción, el hierro y el cobre sumaron los USD $ 3.3 billones restantes (Figura 2b). Considerando el número de servicios ecosistémicos y elementos socioculturales afectados, el oro ocupa el primer lugar, con un total de once elementos afectados; el carbón, el segundo con nueve elementos y, los materiales de construcción, el tercero (Figura 2a).

Figura 2

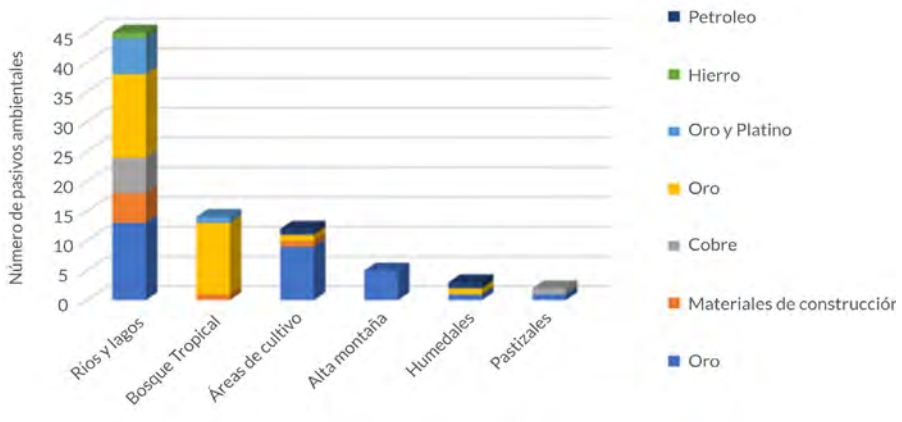
El rol de los diferentes commodities *identificados: a) número de servicios ecosistémicos afectados, b) pérdida económica total (USD de 2020)*



Finalmente, los ecosistemas de ríos y lagos fueron los más afectados, según la pérdida económica estimada, la cual abarca el 54 % de la pérdida total, correspondiente a $ USD 34 billones; aunque solo cinco PA fueron identificados en ecosistemas de alta montaña, correspondiente específicamente a zonas de páramo y subpáramo, la pérdida económica por la afectación a este ecosistema sumó el segundo monto más elevado, siendo de 41 % del total estimado, lo que se traduce en aproximadamente $ USD 7 billones (Figura 3).

Figura 3

Rol de los commodities *en la afectación de servicios ecosistémicos y elementos socioculturales en los ecosistémicos implicados en su afectación*



Análisis de Resultados

El rol social de los pasivos ambientales en Colombia y las limitaciones para su resolución

Al igual que el resto de las especies que habitan la tierra, los seres humanos se han desarrollado a partir del aprovechamiento de los bienes y servicios que los múltiples entornos naturales pueden ofrecer; por ende, desde las actividades más ancestrales, latentes a lo largo de todo el territorio colombiano, como la pesca, el barequeo y la agricultura, hasta aquellas más actuales como la implementaciones de energías alternativas en los procesos manufactureros, requieren la disponibilidad de recursos naturales.

Dasgupta (2021) expone cómo, la pérdida de biodiversidad debida al desarrollo de actividades económicas, genera al final un declive del ingreso de la población local; por lo tanto, reconociendo esta dependencia entre el bienestar social y el ecológico, la conservación de los ecosistemas es la estrategia clave para el aseguramiento de la competitividad de la totalidad de las actividades económicas y, a pesar de que todas estas tendrían entonces un impacto sobre los ecosistemas y la provisión de sus recursos, existen actividades económicas que, de manera predominante, tienen una mayor capacidad de perturbar el equilibrio dinámico de esta relación, siendo una de estas, las actividades extractivas (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Columbia Center of Sustainable Investment, 2016). Aparte de la influencia indirecta que pueden tener las actividades extractivas sobre las dinámicas sociales y el bienestar ambiental, por ejemplo, mediante su significativo aporte al cambio climático, estas ejercen una presión negativa directa sobre las dinámicas socioambientales ya sofocadas, siendo reconocido a nivel mundial que, el 50 % de extracciones de metales es desarrollado cerca de ecosistemas con comunidades vulnerables, debido a un estrés hídrico alto (Delevingne et al., 2020) y, por lo menos el 14 % de las áreas protegidas del mundo se encuentran rodeadas de áreas de extracción minera.

En Colombia, los PA originados por el sector extractivo están afectando en mayor o menor medida a 28 de los 32 departamentos del país (Rodríguez-Zapata y Ruiz-Agudelo, 2021), dejando en evidencia las importantes presiones que las comunidades, a lo largo y ancho del territorio, tienen para desarrollarse. Se encontró que, a pesar de que los PA en Colombia según la definición acogida por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA, 2020), son vistos netamente como daño a los ecosistemas, de los 223 PA identificados, 176 fueron reportados como fuentes de detrimento para el bienestar social, incidiendo principalmente en las economías local/tradicional (80 PA), el desplazamiento y vulneración de comunidades indígenas, campesinas y negras (59 PA), afectaciones en salud (37 PA) y, finalmente, solo 59 PA fueron registrados como afectaciones netamente ecológicas.

Así como a nivel administrativo, los daños considerados de los PA no responden a las implicaciones reales que estos tienen para el país, las políticas enfocadas a este contexto son deficientes y ambiguas, encontrando que existen múltiples casos en

los cuales estos no contaron con un cierre a favor de las comunidades locales y, tampoco a favor del medio ambiente, debido a la declaración de que el Estado es el propietario del subsuelo y de los recursos naturales no renovables (Sentencia SU411/20, Corte Constitucional, 2020), con base en la Sentencia C123/2014 de la Corte Constitucional, mediante la cual se revoca el artículo 37 del Código de minas, el cual otorgaba autonomía a las autoridades ambientales regionales (CAR) sobre el uso de los recursos naturales, evitando así, que se cumpla el propósito de salvaguardar la autodeterminación de las comunidades.

Este comportamiento favoritista por parte de las normas y políticas públicas medioambientales para las industrias extractivas, ha sido documentada ampliamente en la literatura, demostrando la incapacidad de los países ricos en recursos como Colombia, de aprovecharlos de modo que se genere un desarrollo económico del territorio, dada la deficiencia institucional (Auty, 1993; Hilson y Laing, 2016). Más específicamente, se conoce que el mantenimiento del bienestar social general implica la conservación del medio ambiente y, para esto, se requiere la reducción de los patrones contaminantes de las actividades económicas; en este caso, las actividades extractivas.

Este panorama pone los intereses del medio ambiente en desacuerdo con los de la industria; por lo tanto, las actividades económicas contaminantes deben sustentarse en el apoyo político, quienes promulgan reglas que benefician a la industria, como en el caso de Colombia, la eliminación de la licencia ambiental para las actividades de exploración, mediante la Ley 685 de 2001 o, imponen regulaciones ambientales laxas que invalidan y disminuyen las denuncias por degradación ambiental (Ranjan, 2018).

Desde un nuevo orden de complejidad, para el caso particular, los PA afrontan la toma de decisiones por parte de los gobiernos; se requiere que sean tenidos en cuenta los intereses y necesidades de las múltiples partes interesadas. Desde hace cuatro décadas se ha perfeccionado la comprensión acerca de los procesos de toma de decisiones (Kesternich et al., 2017) y, en la actualidad, mediante las ciencias del comportamiento, se reconoce que múltiples factores como la cooperación condicional (Fehr-Duda y Fehr, 2016), el sesgo cognitivo (Weber, 2017), la religiosidad (Ruiz-Agudelo y Cortes-Gómez, 2021) y, las creencias éticas (Curtis, 2002), pueden influir en la toma de decisiones en procesos medioambientales, generando una pérdida de cooperación por un comportamiento oportunista (Vélez y Moros, 2021), por lo que la implementación de herramientas basadas en una incertidumbre científicamente cuantificable como los análisis multicriterio, permiten aprovechar estos sesgos, controlando su influencia y, ampliando de esa forma, la probabilidad de éxito en los procesos de gestión de recursos naturales (Reddy et al., 2017); por consiguiente, incluso a nivel político, la elección de una metodología que guíe la toma de decisiones, debe volverse un requerimiento, para evitar la generación de problemas de justicia ambiental.

La minería informal también representó un rol importante como fuente de contaminación y pérdida de biodiversidad en el país (Chadid et al., 2015); las actividades extractivas relacionadas con las áreas de Minería Artesanal y Pequeña Escala generan más emisiones de mercurio a la atmósfera y los ecosistemas, que las

actividades industriales de extracción de oro. Considerando que Colombia tiene importantes fuentes de contaminación a los ecosistemas, tanto por el desarrollo de prácticas mineras informales como por actividades ilegales y, habiendo encontrado unas altas concentraciones de PA en aquellas áreas en donde se superponen ambas modalidades de explotación, como Antioquia, Cesar y Valle del Cauca (Fundación Ideas para la Paz, FIP, s.f.), se requiere fortalecer la gobernanza de estos territorios, generalmente apartados de los centros poblados, mediante el incremento de la presencia estatal, como alternativa a corto plazo para el control de la contaminación y la conservación de los ecosistemas y, distribuir las prácticas de minería ilegal-criminal.

Con todo lo expuesto, empezar por enmarcar la percepción de los PA tanto a nivel político como administrativo, bajo sus implicaciones reales, reconociendo al país como un territorio megadiverso, pluriétnico y multicultural, puede abarcar el primer paso hacia el desarrollo de mecanismos gubernamentales que se alineen con las problemáticas contextualizadas a nivel nacional, siendo precisamente la falta de una política formal de PA a nivel operativo, la mayor falencia que tiene el país para avanzar en la gestión de este decisivo dilema.

Valoración económica: vínculo de los pasivos ambientales con la política y la economía del país

En la actualidad, los PA han logrado salir de las comunidades locales y de los ambientalistas, para irrumpir en el dominio público, como consecuencia de los enormes montos que logran alcanzar estos deterioros; por ende, un cuerpo esencial de literatura y de organizaciones se ha enfocado en entender formalmente las implicaciones de los PA sobre las economías de las diferentes partes interesadas, como las empresas, los inversores, los gobiernos y las comunidades.

Naidoo y Adamowicz (2001) a nivel internacional, parecen haber estimado una relación directa entre la reducción del número de especies amenazadas con el aumento del desarrollo económico de los países, traducido en su producto interno bruto. Igualmente, Davis y Franks (2011) describen que las empresas transnacionales se esfuerzan por limitar el impacto social y ecológico de sus operaciones, en países con economías desarrolladas, con la finalidad de mantener su reputación y elevar el precio de sus acciones; estos hallazgos permiten observar cómo, si bien esta actividad económica involucra tanto repercusiones en las economías como en el capital natural, el incumplimiento a las regulaciones ambientales en los países desarrollados representa fuertes amenazas e incentivos financieros a las empresas, lo suficientemente importantes como para impulsar a que las operaciones industriales sean desarrolladas con los más altos estándares socioambientales.

En Chocó, Cundinamarca, Antioquia y Cesar, se estimó una pérdida económica por afectación a servicios ecosistémicos y elementos socioculturales de USD $42 billones, equivalente a USD $44 millones por pasivo ambiental. Este valor monetario no ha sido impuesto a ninguno de los 13 casos de PA identificados (de un total de 67 responsables) que fueron configurados mediante la imposición de una multa (Rodríguez-Zapata y Ruiz-Agudelo, 2021). El pasivo ambiental identificado como

caso 'Saint Peter' generó el derrame en la ensenada de Tumaco de 33.000 barriles de petróleo en 1976, cantidad comparable con los 45.000 barriles derramados en el caso Exxon Valdez en el golfo de México, estimando una pérdida económica ambiental de USD $5 billones. Saint Peter, por otra parte, se reconoce como uno de los representantes clave del escenario, en donde se declara que no se generó daños significativos a la biodiversidad y, por ende, no hubo procesos de imputación de responsabilidad enfocados en remediación y compensación.

Con relación al escenario expuesto, a pesar de que en Colombia se reconoce una serie de requisitos que se debe cumplir por parte de las empresas en los procesos de cierre de minas y pozos, además de aquellos en los planes de contingencia de derrame de petróleo, la falta de establecimiento de marcos de acción que involucren objetivos y criterios de planificación y finalización de actividades medibles, impone uno de los principales desafíos para la recuperación de las áreas afectadas, generando procesos que no conllevan una real recuperación de los ecosistemas. Se reconoce diferentes marcos que pueden ser utilizados para la toma de decisiones sobre el futuro de un área afectada por actividades extractivas; por ejemplo, evaluar acerca de cuál debe ser el uso de la tierra, posterior a su explotación o incidente, entre los cuales se aprecia criterios como el análisis costo-beneficio, aquellos basados en la vocación anterior del área, en la preferencia de las comunidades locales, en la capacidad del paisaje, entre otros (Kragt y Manero, 2021). Diferentes gobiernos alrededor del mundo han expuesto cómo la implementación de criterios de recuperación cuantificables ha permitido asegurar una responsabilidad objetiva, evitando el traslado de la responsabilidad ambiental al Estado y a las comunidades (Bluffstone y Panayotou, 2000).

El gobierno alemán, desde 1990 empezó a implementar auditorías ambientales para la generación de información acerca de los deterioros ambientales por las actividades extractivas, tanto por daños finales como por contaminación en curso, logrando que las mismas empresas asumieran los costos de remediación del este del país, las cuales, de manera eficiente, lograron pasar de una estimación por el gobierno de miles de millones de dólares, a un valor de USD $6.4 millones (Bluffstone, 2007). En contraparte, el gobierno húngaro tuvo que aprender a implementar procesos de recolección de información ambiental estandarizada, antes de negociar con empresas e inversores, pues de manera similar al comportamiento del gobierno colombiano, ansioso por captar inversión extranjera, incurrió en costos de remediación sin ninguna auditoría ambiental, habiendo gastado el 60 % del precio de la concesión. Este último escenario posee gran similitud con la situación actual colombiana, con el área de extracción de níquel en Córdoba, donde la concesión del área de explotación ha sido propiedad de Richmond Petroleum Company (*Chevron of Colombia*), Níquel Colombiano S.A. y Cerro Matoso S.A. (*Billiton Overseas*), por lo que, posiblemente, al no haber una recuperación del terreno por parte de la primera empresa (primero conglomerado) y, a partir de allí una insuficiente información ambiental, base que no permite conocer los límites entre los daños ambientales pasados y los provocados por las empresas actuales, estas no están en la obligación de asumir los costos de la recuperación ambiental del área.

A partir de lo anterior, se plantea que se debe cambiar la dinámica actual de intentar evitar y compensar daños ecológicos y sociales a partir de multas, para pasar a un panorama en donde sean las mismas empresas quienes, desde el inicio de sus operaciones, conozcan las consecuencias monetarias del desarrollo de una mala práctica operática que genere un deterioro socioambiental; sin embargo, para lograr esto se requiere que el gobierno colombiano sea quien, enfocado en la recuperación de los ecosistemas, sus bienes y servicios y, las sociedades, asuman gran parte de los costos actuales de daños ambientales en donde no hay forma de establecer otro responsable, con el fin de crear una línea base homogénea de donde surja el resto de las evaluaciones ambientales por parte de las empresas extractivas.

En muchas ocasiones ha surgido la pregunta acerca de qué debe ser prioridad para el país: la conservación de la calidad o la cantidad de agua. Se encontró que, en tres de los cuatro departamentos analizados, la regulación del flujo de agua fue el servicio ecosistémico más afectado por las actividades extractivas, en términos de pérdida económicas; incluso, más que la calidad del recurso; adicionalmente, a pesar de que solo cinco PA ocurrieran dentro de zonas de páramo en los departamentos considerados, las afectaciones generaron la segunda mayor pérdida económica.

Este panorama generaría una tendencia a priorizar la conservación de la cantidad o existencia del agua, por lo menos desde los resultados que las presiones de las actividades extractivas están generando; sin embargo, debido a que los servicios de ecosistemas consisten en los beneficios que los seres humanos obtienen de la naturaleza (Millennium Ecosystem Assessment, 2005), el departamento del Chocó es un claro ejemplo de que, sin importar la riqueza hídrica o la cantidad de agua que se tiene en el territorio, debido a los altos niveles de contaminantes en el recurso, este no podría ser considerado un SE en la región, como consecuencia de su característica poco aprovechable, en donde su uso, ya sea mediante ingestión o contacto tópico, propicia efectos negativos como la generación de cientos de afecciones a la salud (Cano, 2017). A partir de este escenario, se considera que no puede haber forma de cumplir con las normativas y políticas ya existentes sobre la conservación de los recursos hídricos (artículo 79 de la Constitución) y la priorización del uso del recurso por las comunidades antes de las industrias (Ley 99 de 1993), si no se genera un plan de acción que considere la conservación y protección tanto de la calidad como la cantidad de agua.

Las actividades extractivas ilegales constituyen, en muchas ocasiones, una fuga importante de ganancias a los gobiernos estatales locales, al tratarse de áreas con altos índices de pobreza (Robinson, 2016). Estas ganancias podrían constituir una fuente importante para impulsar el desarrollo de los territorios, partiendo de que el 51 % de la pérdida económica total estimada se debió a PA provenientes de actividades ilegales, concentrándose estos USD $21 billones casi en su totalidad en el departamento del Chocó.

Se considera que el desarrollo de esta tipología de minería no solo está generando importantes daños al medio ambiente, sino que, sumado a esto, constituye un limitante directo al crecimiento económico de los departamentos, pues, por un lado, se encuentra acumulando, según lo estimado, una significativa deuda ambiental

para el país; y, por otro lado, evita que los ecosistemas sean aprovechados en actividades económicas más rentables y sostenibles para la sociedad general, como el turismo, la agricultura y la pesca, ancestrales en este territorio; por ende, debido a que esta problemática es especialmente conocida en el país, señalando la configuración de los PA del departamento del Chocó mediante la imputación de responsabilidad a la Corporación Autónoma Regional del Chocó, por parte de la Contraloría General de la República (2017), es posible pensar en que este escenario se acople a la relación deforestación-extracción ilegal-política planteada por Ranjan (2018), quien sostiene que: "la extracción de recursos minerales entraña una deforestación significativa en los países en desarrollo [...] Desarrollamos un modelo de relación político-industrial corrompida para explorar el problema de la minería ilegal de mineral de hierro y su impacto en la deforestación" (p. 1). La falta de requisitos de remediación no tiene ningún incentivo para preservar el medio ambiente, lo que conduce a que este no genere acción en torno al direccionamiento de recursos económicos para frenar las tasas de explotación ilegal.

Conclusiones

El proceso de explotación de los recursos minerales combustibles y no combustibles en Colombia ha provocado un detrimento socioambiental importante, el cual se ve agravado cuando los reguladores, a quienes se les ha confiado la tarea de garantizar el desarrollo de actividades económicas sostenibles, no derivan la toma de decisiones desde políticas estrictas enfocadas a la conservación del capital natural y social. Mediante la recopilación sistemática de registros de PA en Colombia, junto con la valoración económica de aquellos identificados en Chocó, Cundinamarca, Cesar y Antioquia, se evalúa cuáles son las necesidades y la influencia de las actuales políticas en su gestión ambiental en Colombia.

Los resultados obtenidos a través de la actualización del estado de los PA indican que, varios factores estarían determinando la incapacidad de las normativas para avanzar en la gestión de estos daños ambientales que afectan a terceros. El primer identificado consiste en el insuficiente reconocimiento de la dimensión social de los PA dentro de las declaraciones formales por las instituciones gubernamentales encargadas de su regulación. La naturaleza de los impactos de los PA en Colombia demuestra que no hay posibilidad de avanzar en su completa resolución, sin considerar el componente social; por ende, esta situación está generando la pérdida de capital natural, como consecuencia de la invalidez de los alegatos y demandas de las comunidades locales.

Se reconoce que, la falta de herramientas estandarizadas que apoyen la toma de decisiones y que hagan frente a un nuevo orden de complejidad, es un limitante crucial a la gestión de los PA. En primera instancia, partiendo de la existencia del sesgo en la toma de decisiones por parte de los reguladores, establecer metodologías, como la implementación de análisis multicriterio, que reconoce los diferentes intereses de las partes interesadas sobre el desarrollo de actividades extractivas, se considera crucial para llegar a decisiones concertadas.

Finalmente, se plantea que se debe cambiar la dinámica actual de intentar evitar y compensar daños ecológicos y sociales a partir de multas, para pasar a aquella en donde realmente, mediante el conocimiento de información socioambiental base estandarizada y medible, las empresas reconozcan sus daños de manera irrefutable y así, queden obligadas a costear la totalidad de los procesos de remediación y compensación.

Referencias

Alonso, D., Pérez, R., Okio, C., & Castillo, E. (2020). Assessment of mining activity on arsenic contamination in surface water and sediments in the southwestern area of Santurbán paramo, Colombia. *Journal of Environmental Management*, *264*, 110478. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110478

Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). 2020. Subdirección de evaluación y Seguimiento. http://portal.anla.gov.co/subdireccion-evaluacion-y-seguimiento.

Auty, R. (1993). *Sustaining development in mineral economies: the resource curse thesis*. Routledge.

Balistreri, E., & Worley, C. (2009). Mercury: the good, the bad, and the export ban. *Resources Policy*, *34*(4), 195-204. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2009.06.001

Bluffstone, R. & Panayotou, T. (2000). Environmental liability and privatization in Central and Eastern Europe: toward an optimal policy. *Environmental and Resource Economics*, *17*(4), 335-352. https://doi.org/10.1023/A:1026460605963

Bluffstone, R. (2007). Privatization and contaminated site remediation in Central and Eastern Europe: Do environmental liability policies matter? *Ecological Economics*, *63*(1), 31-41. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.08.006

Cano, W. A. (2017). Entre dragas y trasmallos: minería mecanizada y cambios en las actividades de pesca en comunidades negras de la cuenca media del río Atrato, Chocó, Colombia. *Bioetnia*, *14*, 111-130. https://doi.org/10.51641/bioetnia.v14i1.185

Cardoso, A. (2015). Behind the life cycle of coal: Socio-environmental liabilities of coal mining in Cesar, Colombia. *Ecological Economics*, *120*, 71-82. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.10.004

Chadid, A. M., Dávalos, M. L., Molina, J., & Armenteras, D. (2015). A Bayesian Spatial Model Highlights Distinct Dynamics in Deforestation from Coca and Pastures in an Andean Biodiversity Hotspot. *Forests*, *6*(11). https://doi.org/10.3390/f6113828

Columbia Center of Sustainable Investment. (2016). Cartografía de la minería en relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible: un atlas. https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/publications/Mapping_Mining_SDGs_An_Atlas_SP.pdf

Cordy, P., Veiga, M., Salih, I., Al-Saadi, S., Console, S., García, O., Mesa, L., Velásquez, P., López, M., & Roeser, L. (2011). Mercury contamination from artisanal gold mining in Antioquia, Colombia: The world's highest per capita mercury pollution. *Science of the Total Environment*, *410-411*, 154-160. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.09.006

Constitución Política de la República de Colombia [Const.]. (1991). Art. 79. Colombia.

Curtis, J. A. (2002). Ethics in Wildlife Management: What Price? *Environmental Values 11*(2), 145-161. https://doi.org/10.3197/096327102129341028

Dasgupta, P. (2021). El curso natural de la economía. Una buena economía exige un mejor manejo de la naturaleza. *Finanzas y Desarrollo*, 16-19.

Davis, R. & Franks, D. (2014). *Costs of Company-Community Conflict in the Extractive Sector*. Corporate Social Responsibility Initiative at the Harvard Kennedy School.

Delevingne L., Glazener W., Grégoir L., Henderson K. (2020). Climate risk and decarbonization: What every mining CEO needs to know. https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/climate-risk-and-decarbonization-what-every-mining-ceo-needs-to-know

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2018). Censo Nacional de Población y Vivienda. https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018

Ecosystem Services Valuation Database. (2021). Ecosystem Services Valuation Database (ESVD). https://www.esvd.net/

Fehr-Duda, H. y Fehr, E. (2016). Sustainability: game human nature. Nature, 350, 413-415. https://doi.org/10.1038/530413a

Figueroa, B. y Tello, A. (2018). Estimaciones de pasivos ambientales para acrecentar la contabilidad tridimensional y la sostenibilidad integral en las empresas mineras. *Investigación Valdizana*, *12*(4), 193-204. https://doi.org/10.33554/riv.12.4.155

Fundación Ideas para la Paz (FIP). (s.f.). FARC en las periferias: Tumaco, un caso más. http://cdn.ideaspaz.org/media/website/document/5293ba43d1fa7.pdf

Hilson, G., & Laing, T. (2016). Guyana gold: a unique resource curse? The Journal of Development Studies, 53(2), 229-248. https://doi.org/10.1080/00220388.2016.1160066

Human Rights Everywhere. (s.f.). Analysis of mining in indigenous territories in Colombia. https://www.podion.org/apc-aa-files/3ae8193eec5593e17a1b4bd8d2f13fbb/Analysis_of_mining_TP2__1__1_.pdf

International Council on Mining and Metals. (2013). Los pueblos indígenas y la minería. Declaración de posición. https://www.icmm.com/website/publications/es/principios-786 mineros/declaraciones-de-posicion_indigenous-peoples_es.pdf

Instituto de Estudios Ambientales (IDEAM). (2018). Mapa de Ecosistemas generales de Colombia. http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas

Kesternich, K., Reif, D., & Rübbelke, R. (2017). Recent trends in behavioral environmental economics. *Environmental and Resources Economics*, *67*, 403-411. https://doi.org/10.1007/s10640-017-0162-3

Kragt, M. & Manero, A. (2021). A survey dataset to identify industry practices and challenges for mine rehabilitation completion criteria in Western Australia. Data in Brief, 36, 106973. https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.106973

Ley 99 de 1993. (1993, 22 de diciembre). Congreso de la República de Colombia. https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/ley-99-1993.pdf

Ley 685 de 2001. (2001, 15 de agosto). Congreso de la República de Colombia. https://www.anm.gov.co/sites/default/files/ley_685_2001_0.pdf

Liao, Z. (2018). Environmental policy instruments, environmental innovation and the reputation of enterprises. *Journal of Cleaner Production*, 171, 1111–1117. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.126

López-Sánchez, L., López-Sánchez, M. y Medina-Salazar, G. (2017). La prevención y mitigación de los riesgos de los pasivos ambientales mineros (PAM) en Colombia: una propuesta metodológica. *Entramado. 13*(1). http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2017v13n1.25138

Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press.

Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (s.f.). Política de turismo sostenible: unidos por la naturaleza. https://www.mincit.gov.co/minturismo/calidad-y-desarrollo-sostenible/politicas-del-sector-turismo/politica-de-turismo-sostenible/politica-de-turismo-sostenible-9.aspx

Moreno, J. A. y Ussa, J. E. (2008). Valoración Económica de Pasivos Ambientales Estudio de Caso: Pasivos Generados por el Campo Petrolero Cicuci-Boquete, Mompós, Colombia. *Colombia Forestal*, *11*(1), 93-112. https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2008.1.a07

Naidoo, R & Adamowicz, W. L. (2001). Effects of economic prosperity on numbers of threatened species. *Conservation Biology*, *15*(4), 1021-1029. https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2001.0150041021.x

Palacios-Torres, Y., De la Rosa, J., & Olivero-Verbel, J. (2020). Trace elements in sediments and fish from Atrato River: an ecosystem with legal rights impacted by gold mining at the Colombian Pacific. *Environmental Pollution*, *256*, 113290. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113290

Polzin, F., von Flotow, P., & Klerkx, L. (2016). Addressing barriers to eco-innovation: Exploring the finance mobilisation functions of institutional innovation intermediaries. *Technological Forecasting and Social Change*, *103*, 34-46. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.10.001

Prior, T., Giurco, D., Mudd, G., Mason, L., & Behrisch, J. (2012). Resource depletion, peak minerals and the implications for sustainable resource management. *Global Environmental Change*, *22*(3), 577-587. http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.08.009

Ranjan, R. (2018). The role of political-industry nexus in promoting illegal extraction of mineral resources and deforestation: A case of iron ore mining in Goa. *Resources Policy*, *57*, 122-136. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.02.010

Reddy, S., Montambault, J., Masuda, Y., Keenan, E., Butler, W., Fisher, J., Asah, S., Gneezy, A. (2017). Advancing conservation by understanding and influencing human behavior. *Conservation Letters*, *10*, 248-256. https://doi.org/10.1111/conl.12252

Robinson, J. (2016). ¿Un típico país latinoamericano? Una perspectiva sobre el desarrollo. En J. A. Robinson y U. Urrutia (Ed.). *Economía Colombiana del siglo XX: un análisis cualitativo* (pp. 678-697). Fondo de Cultura Económica.

Rodríguez-Zapata, M. A. y Ruiz-Agudelo, C. A. (2021). Environmental liabilities in Colombia: A critical review of current status and challenges for a megadiverse country. *Environmental Challenges*, *5*. https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100377

Rose, D. C., Mukherjee, N., Simmons, B. I., Tew, E. R., Robertson, R. J., Vadrot, A., Doubleday, R., & Sutherland, W. J. (2017). Policy windows for the environment: Tips for improving the uptake of scientific knowledge. *Environmental Science & Policy*, (113). https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.07.013

Ruiz-Agudelo, C. A. & Cortes-Gómez, A. M. (2021). Sustainable behaviors, prosocial behaviors, and religiosity in Colombia. A first empirical assessment. *Environmental Challenges*, *4*, 100088. https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100088

Sentencia C-123/14. (2014, 5 de marzo). Corte Constitucional. (Alberto Rojas Ríos. M.P.). https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/1992/T-536-92.htm

Sentencia SU411/20. (2020, 17 de septiembre). Corte Constitucional (Alberto Rojas Ríos. M.P.). https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2020/SU411-20.htm

Torres, J. I., Pinzón, M., Esquivia, M., Parra, A. y Esquivia, E. H. (s.f.). *La explotación ilícita de recursos minerales en Colombia: Casos Valle del Cauca (Río Dagua) - Chocó (Río San Juan). Efectos sociales y ambientales*. Contraloría General de la República.

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2014). Manejo de áreas devueltas con pasivos ambientales. Informe final elaborado por la Universidad Nacional de Colombia. En *Estrategia Regulatoria para la intervención de áreas afectadas por actividades mineras en estado de abandono* (pp. 51-53). Guerrero Ruiz & Asociados.

Vásquez, A. & Prialé, Z. (2021). Country competitiveness and investment allocation in the mining industry: A survey of the literature and new empirical evidence. *Resources Policy*, (73), 102136. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102136

Vélez, M. A. & Moros, L. (2021). Have behavioral sciences delivered on their promise to influence environmental policy and conservation practice? *Current Opinion in Behavioral Sciences*, *42*, 132-138. https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2021.06.008

Weber, E. (2017). Breaking cognitive barriers to a sustainable future. *Nature Human Behaviour*, *1*(1), 1-2. https://doi.org/10.1038/s41562-016-0013

Yu, X., y Li, Y. (2020). Effect of environmental regulation policy tools on the quality of foreign direct investment: An empirical study of China. *Journal of Cleaner Production*, 122346. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122346



Estimación de caudales medios mensuales mediante la generación estocástica y transformación lluvia-escorrentía

Francisco Mafla Chamorro[1]

Facundo Ganancias[2]

Andrés Rosero Legarda[3]

Resumen

Este estudio se basa en estimaciones hidrológicas en cuencas no aforadas y con poca información disponible, a través de la aplicación de un modelo estocástico para la generación de precipitación mensual; estas fueron transformadas a caudal mediante el método conceptual IPHII-MEN en las cuencas Chico y Las Tunas, provincia de Catamarca, Argentina. Las estaciones utilizadas fueron Motegasto y El Alto; para el ajuste de los modelos fueron utilizados 18 y 12 años, mientras que, para la validación, fueron empleados registros de 4 y 9 años, respectivamente. Para la precipitación mensual se utilizó el modelo estocástico de Thomas Fiering, el cual genera secuencias sintéticas con estructuras correlaciones de mes a mes; asimismo, se tuvo en cuenta el método de IPH-II MEN que se basa en el algoritmo de separación de escurrimiento. Los resultados obtenidos indicaron que existe confiabilidad, pues los valores de coeficientes de correlación estuvieron entre 0.6 y 0.7 para el modelo estocástico y 0.95 y 0.87 para el modelo IPHII-MEN. Con esto se puede decir que, estas metodologías son de gran importancia y tienen certeza al momento de predecir escenarios futuros que permitan un buen ordenamiento territorial y gestión del riesgo en el entorno del recurso hídrico.

Palabras clave: modelo matemático; estocástico; lluvia-escorrentía; caudales medios; lluvias sintéticas.

[1] Universidad Mariana, Programa de Ingeniería Ambiental. Pasto, Colombia. fmaffla@umariana.edu.co

[2] Universidad Católica de Córdoba, Programa de Ingeniería Civil. Córdoba, Argentina. facundoganancias@gmail.com

[3] Universidad Mariana, Programa de Ingeniería Ambiental. Pasto, Colombia. andresroserolegarda@gmail.com

Introducción

Frecuentemente, los proyectos de planificación de cuencas hidrográficas requieren una información que permita tomar decisiones acertadas para su manejo. Dentro de la información por generar, están los caudales de las fuentes principales y sus afluentes, bien sean máximos, medios o mínimos y, para diferentes intervalos de tiempo (horario, diario, mensual, anual, entre otros.)

En numerosas ocasiones se presenta la ausencia de estos datos y, por consiguiente, la falta de información. En casos como estos, la transformación lluvia-caudal se muestra como una alternativa para generar los caudales de las fuentes en puntos específicos, a partir de información básica como: series de lluvia, suelos y morfología de las cuencas (Carvajal et al., 2007).

Varios de los estudios en la ingeniería hidrológica se basan en caudales en intervalos mensuales; la escasez de esta información hace que se utilice los modelos de balance hídrico para su obtención, resaltando su uso en aplicaciones como: reconstrucción de hidrología de las cuencas, cambio climático, evaluación de los patrones estacionales y geográficos de suministro y demanda (Roldán, 2009).

Por ello, para cuantificar la disponibilidad hídrica en cuencas sin información hidrométrica se requiere proponer metodologías para la estimación de datos tanto pluviométricos como de caudales mensuales, que permitirán una correcta toma de decisiones frente a su uso y manejo. Ante esta ausencia de datos que ocurre no solo en el territorio argentino sino a lo largo de Sudamérica, se ve la necesidad de implementar métodos estocásticos que permitan generar lluvias sintéticas para series incompletas o, predecir posibles comportamientos futuros, los cuales harán posible mejorar la planificación de cuencas, diseños ingenieriles, proyectos de razonamiento o prevención ante desastres.

Las metodologías propuestas para su desarrollo se basan en la generación de lluvias mensuales mediante el modelo Thomas Fiering (estocástico) y su transformación con el modelo precipitación-escorrentía IPH-II Men, teniendo como objetivo, generar series de 100 años de caudales mensuales para las cuencas Río Chico y Arroyo Las Tunas, provincia de Catamarca, Argentina, a partir de información pluviométrica disponible en la zona de estudio de 20 y 30 años.

Desarrollo

Zona de Estudio

- **Cuenca del río Chico**

La cuenca del río Chico se desarrolla en la parte media de la pendiente oriental de la Sierra de Ancasti, entre los 28° 52´ y 28° 58´ de latitud sur y, entre los 65° 25´ y 65° 32´ de longitud oeste. A la salida del macizo montañoso, el curso de agua ingresa a la planicie oriental de la provincia de Catamarca, en las proximidades de la localidad de Icaño.

El sistema hidrográfico de la cuenca es de carácter endorreico, con pérdida de caudales por infiltración en el piedemonte asociado, tras un corto recorrido a partir del frente de sierra. La red de drenaje es de alta densidad, provocada por la baja permeabilidad del basamento rocoso cristalino que domina la cuenca, variando según el tipo litológico en el que tiene desarrollo. Se observa permeabilidad secundaria por fracturación de las rocas.

Figura 1

Ubicación esquemática de las cuencas de los ríos Chico (elipse inferior) y Las Tunas (elipse superior) en la provincia de Catamarca, Argentina



- **Cuenca del Arroyo Las Tunas**

La cuenca del Arroyo Las Tunas se desarrolla en la pendiente oriental de la Sierra de Ancasti en su extremo norte, entre los 28° 14´ y 28° 22´ de latitud sur y los 65°

31´ y 65° 23´ de longitud oeste, con dirección de escurrimiento sur-norte e ingreso a la planicie oriental de la provincia de Catamarca.

El sistema hidrográfico es de carácter endorreico, con pérdida de caudales por infiltración en el piedemonte asociado. Ello ocurre tras un corto recorrido a partir del frente de sierra, explayando inmediatamente al oeste de la población de Bañado de Ovanta en la cuenca media sobre la divisoria; este se localiza en la población de Villa El Alto.

En respuesta a las condiciones geológicas, la red de drenaje es densa, como resultado al bajo grado de permeabilidad secundaria por fracturación del material rocoso. Se observa variaciones en bajo grado, según los distintos tipos litológicos, siendo algo menor cuando existe pérdida de masividad por foliación por esquistosidad. En la Tabla 1 se presenta un resumen de las características fisiográficas más importantes de las cuencas mencionadas.

Tabla 1

Características fisiográficas de las cuencas Río Chico y Las Tunas

Parámetro	Río Chico	Las Tunas
Área (Km^2)	126.3	65.9
Extensión del curso principal (Km)	39.5	22.75
Altura máxima (m)	1350	1680
Altura mínima (m)	450	910
Diferencia de Alturas (m)	900	770
Pendiente media cauce ppal (%)	2.28	3.85
Pendiente media cuenca (%)	16	14.5

Identificación de información pluviométrica disponible

Para el desarrollo del presente estudio, se contó con informaciones de precipitaciones diarias de las estaciones pluviométricas El Alto y Motegasta. La primera de ellas está ubicada en proximidades de la cuenca del río Las Tunas, mientras que la siguiente corresponde a la cuenca del río Motegasta, vecino del río Chico. Cabe destacar que todas estas estaciones se sitúan en la provincia de Catamarca.

La serie de valores diarios de la estación El Alto correspondió al período 1977-2004, de los cuales solamente 20 años estuvieron en condiciones de ser procesados estadísticamente. Por su parte, la estación pluviométrica Motegasta presentó registros en el período 1970-2004, de los cuales únicamente 30 años presentaron condiciones de ser analizables estadísticamente.

Determinación de caudales medios mensuales

La situación imperante en las cuencas de los ríos Chico y Las Tunas se caracteriza por falta de informaciones hidrológicas. Sin embargo, la necesidad de dimensionamiento de los embalses de ambas presas, así como también la conveniencia de analizar su manejo de manera eficiente, tornan indispensable disponer de estimaciones correspondientes a los caudales medios mensuales. Por lo tanto, para tal fin fueron aplicados modelos matemáticos estocásticos y determinísticos-conceptuales, que se describe a continuación:

Modelos matemáticos empleados

- Modelo Thomas-Fiering

El método de Thomas-Fiering (Clarke, 1973) es un modelo de generación de secuencias sintéticas con una estructura correlacional mes a mes no estacionaria. Este método consiste en el uso de doce ecuaciones de regresión lineal, de las cuales cada una corresponde a un mes del año. Así, por ejemplo, se tiene valores de los diferentes eneros que estarán correlacionados con los valores de los respectivos diciembres y esto, similarmente, para cada mes del año. Ello es representado mediante la ecuación (1).

$$p_{i+1} = \underline{p}_{j+1} + b_j(p_i - \underline{p}_j) + z_i S_{j+1}\sqrt{(1 - r_j^2} \qquad (1)$$

…donde:

p_i y p_{i+1}: son las precipitaciones durante el i^{th} y $(i+1)^{th}$ mes respectivamente (la nomenclatura th corresponde a la literatura de lengua inglesa e indica el orden de aparición del mes); y son las precipitaciones medias mensuales durante el j^{th} y $(j+1)^{th}$ mes respectivamente, dentro de un ciclo anual respectivo de 12 meses; bj: es el coeficiente de regresión que estima precipitaciones en el $(j+1)^{th}$ mes desde el j^{th} mes; Zi: es una desviación normal aleatoria con media 0 y varianza unitaria; S_{j+1}: es la desviación estándar de las precipitaciones mensuales en el $(j+1)^{th}$ mes y rj: es el coeficiente de correlación entre las precipitaciones en el j^{th} y $(j+1)^{th}$ meses.

El empleo de este modelo para la generación de serie de lluvias mensuales supone la toma de doce años de registro, los cuales son el número mínimo que necesita el modelo para representar aproximadamente la realidad.

- Balance Hídrico

El modelo de balance hídrico aplicado en la cuenca Motegasta tuvo como fin, la estimación de caudales medios mensuales generados en la cuenca, con fines de

ser empleados en las etapas de ajuste y verificación del modelo de transformación lluvia-caudal mensual propuesto.

Para efectuar la evaluación de dichos caudales, se contó con:

- Curvas del Embalse Cota – Volúmenes
- Cota – Superficies
- Registros Diarios de Niveles de Embalse
- Registros Diarios de Lecturas de Escala en Canal de Salida del Embalse
- Geometría Conforme a Obra del Perfil de la Cresta del Vertedero
- Evaporación Media Mensual de la Estación Bella Vista, y
- Precipitaciones Pluviométricas en la Cuenca.

La metodología de cálculo de los aportes tuvo en cuenta que los niveles del embalse varían a lo largo del tiempo, como resultado del balance entre caudales afluentes, descargas controladas, descargas por vertedero, pérdidas por evaporación y por infiltración.

La ecuación de continuidad del embalse, en un cierto período de tiempo, fue representada mediante la ecuación (2).

$$V_F = V_I + V_{AP} - V_{DES} - V_{VERT} - V_{EVAP} - V_{FILT} \qquad (2)$$

...donde: VF = Volumen del Embalse al final del período; VI = Volumen del Embalse al principio del período; VAP = Volumen aportado por el río Motegasta; VDES = Volumen descargado por la Toma; VVERT = Volumen descargado por Vertedero; VEVAP = Volumen perdido por Evaporación; VFILTR = Volumen perdido por Filtraciones del Embalse.

A partir de la información disponible, se puede conocer día a día, cuáles son los volúmenes y superficies iniciales y finales del embalse. Los volúmenes entregados por la toma están registrados y, los volúmenes entregados por el vertedero, son calculables a partir del registro de niveles diarios, cuando el embalse se encuentra por encima del nivel de la cresta vertedora y, con un conocimiento adecuado de su geometría.

Por otra parte, las pérdidas por evaporación son proporcionales a la superficie media de embalse en cada momento, valor que se conoce en cada periodo. Las pérdidas por filtraciones no pudieron ser estimadas con los elementos de juicio disponibles, pero teniendo en consideración la naturaleza de la roca que conforma el vaso, se concluyó que serían de un orden de magnitud inferior, es decir, despreciables.

- Modelo IPH-II Mensual

Este modelo propuesto por Tucci (1998) se basa en el algoritmo de separación de escurrimiento desarrollado por Berthelot (1970). El referido autor utilizó la ecuación de continuidad en combinación con la ecuación de Horton y una función empírica para la percolación. Tucci amplió el algoritmo de infiltración y presentó un análisis de sensibilidad de dichos parámetros. Este modelo está compuesto por los siguientes algoritmos de pérdidas por evaporación e intercepción; separación de los escurrimientos; propagación del escurrimiento superficial, propagación subterránea y, optimización de parámetros.

- Evaporación e Intercepción

De la precipitación que llega a la superficie, parte es perdida por evaporación y parte es retenida por la intercepción. El total interceptado es representado por un reservorio que tiene la capacidad Rmáx y una variable de estado Rt. La precipitación restante es la entrada al algoritmo de separación de escurrimiento.

Cuando la precipitación no es suficiente para atender la evapotranspiración potencial, parte es atendida por el reservorio de las pérdidas y, el restante puede ser retirado del suelo, de acuerdo con su estado de humedad. La salida de agua del suelo es obtenida por una relación lineal entre el porcentaje de la evapotranspiración potencial y la humedad del suelo, según la ecuación (3).

$$Es(t) = \frac{EP(t) \cdot S(t)}{S_{máx}} \qquad (3)$$

...donde: Es(t) es la evapotranspiración de la superficie en el tiempo t; EP(t) es la evapotranspiración potencial; S(t) es el estado de humedad en la parte superior del suelo; Smáx es la capacidad de humedad máxima del suelo, y t es el tiempo.

- Separación de los volúmenes

La parte de la precipitación resultante puede generar escurrimiento superficial o, infiltrarse en el subsuelo. La parte de agua que se precipita sobre las áreas impermeables genera escurrimiento superficial, sin que ocurra infiltración y viceversa. Por lo tanto, es necesario diferenciar las partes de la cuenca con superficies impermeables de aquellas con superficies permeables; para ello se utilizó un parámetro denominado AINP, el cual varía entre 0 y 1.

De la parte que precipita sobre las áreas permeables, es necesario establecer el volumen infiltrado, el percolado para el acuífero y, el que genera escurrimiento superficial. Considerando la parte superior del suelo donde el mismo puede quedar saturado o no saturado y siendo S(t) el estado de humedad de esta parte, I(t) la infiltración y T(t) la percolación en el tiempo t, la continuidad de flujo puede ser representada por la ecuación (4).

$$\frac{dS}{dt} = I(t) - T(t) \quad (4)$$

La infiltración puede ser obtenida por la ecuación (5) de Horton y, la percolación, por la ecuación (6).

$$I(t) = Ib + (Io - Ib) \cdot h^t \quad (5)$$

$$T(t) = Ib \cdot (1 - h^t) \quad (6)$$

...donde: Ib es la capacidad de infiltración cuando el suelo está saturado; Io es la capacidad de infiltración del suelo cuando la humedad es So; $h = e^{-k}$, y k es un parámetro que caracteriza el decaimiento de la curva exponencial de infiltración y, depende de las características del suelo.

De las ecuaciones (4), (5) y (6) e integrando en el intervalo t = 0 hasta t, resulta la ecuación (7).

$$S = So + \frac{Io \cdot (h^t - 1)}{lnln\,(h)} \quad (7)$$

...donde So es la capacidad de campo (este modelo adopta un valor igual a 0).

Igualando el término h^t en las ecuaciones (5) y (6) y sustituyendo en la ecuación (7) resultan las ecuaciones que relacionan el almacenamiento con la infiltración y la percolación, ecuaciones (8) y (9).

$$S(t) = a_i + b_i \cdot I(t) \quad (8)$$

$$S(t) = bt \cdot T(t) \quad (9)$$

...donde ai, bi y bt dependen de Io, Ib y h.

- Escurrimiento superficial

El escurrimiento es calculado con base en el método de Clark, que utiliza el histograma tiempo área para tener en cuenta la traslación y el modelo de reservorio lineal simple para el amortiguamiento. Por otra parte, el Reservorio Lineal Simple es representado por las ecuaciones (10) y (11).

$$dS = \frac{Vs}{dt} - Qs \quad (10)$$

$$S = Ks - Qs \quad (11)$$

…donde, Ks es el tiempo medio de traslado dentro del reservorio.

- Escurrimiento subterráneo

La propagación del escurrimiento subterráneo es obtenida con base en la ecuación (10), donde Ks es substituido por Kb y Vs por Vp.

- Algoritmos de Optimización

El modelo utiliza opcionalmente la optimización de Rosembrock.

- Condiciones Iniciales

Como condición inicial indispensable del modelo, es la entrada de valores de V(t = 0), Qsubt(t = 0), Qs(t = 0). Considerando que la cuenca está en estiaje y el escurrimiento superficial no existe, Qs(t = 0) = 0, y Qsubt(t = 0) = Qobs, donde Qobs es el caudal observado en el inicio de la simulación. Qobs es conocido en el período de ajuste. Para otros intervalos se puede informar el valor del caudal inicial deseable para simular el hidrograma. Aún dentro de la consideración de estiaje, se puede admitir que el flujo subterráneo es de la parte superior del suelo estando en régimen permanente, y T = Qsubt(t = 0). Con base en la ecuación (9) se puede estimar S(t) = 0.

- Parámetros

Los parámetros utilizados por el modelo son los siguientes: Algoritmos de las pérdidas y evaporación; Separación del escurrimiento.

Dentro de los algoritmos de Pérdidas y Evaporación, el parámetro Rmáx varía con las características de las cuencas hidrográficas. Crawford y Linsley (1966) presentaron valores de retención en razón de la intercepción vegetal. En este parámetro se engloba otras pérdidas, pudiéndose asumir valores mayores.

El valor Smáx es obtenido por el uso de la ecuación (8) para I = Ib, o sea cuando el suelo alcanza el grado de saturación, resultando la ecuación (12).

$$S_{máx} = \frac{-Io}{lnln\,(h)} \quad (12)$$

En la separación de escurrimientos, los parámetros son Io, Ib, y h. Estos parámetros son los más sensibles en el control de volúmenes de los hidrogramas.

Por otra parte, dentro de los parámetros de escurrimiento superficial, el parámetro AINP de áreas impermeables debe ser estimado con base en informaciones existentes en la cuenca hidrográfica. Cuando la distribución espacial de las áreas impermeables dentro de la cuenca es considerada, estos valores pueden ser estimados por subcuencas o isócronas. Los parámetros del modelo de escurrimiento superficial son el tiempo de concentración y el histograma tiempo–área.

Finalmente, en el escurrimiento subterráneo y, considerando el modelo de reservorio lineal simple, Kb es el parámetro que caracteriza el traslado dentro del reservorio. Para estimar este valor a partir de los datos observados locales de cuencas vecinas se debe utilizar la misma técnica para la determinación del coeficiente de recesión.

Generación de lluvias mensuales

La determinación de caudales medios mensuales en las cuencas del río Chico y Las Tunas se inició con la generación de serie de lluvias mensuales a partir de series diarias existentes de 23 y 29 años, respectivamente. Dicha generación fue realizada para periodos más extensos a aquellos de los datos disponibles en las estaciones pluviométricas correspondientes (Motegasta y El Alto, correspondientemente). Para esta tarea se empleó el modelo empírico estocástico de Thomas-Fiering (Clarke, 1973) previamente descrito.

Para el ajuste del modelo fueron empleados, en cada caso, períodos de 18 años y 12 años respectivamente (correspondientes a los períodos 1983-2000 y 1977-1988) en las estaciones Motegasta y El Alto. Para la verificación del modelo fueron empleados los registros de 4 y 9 años, correspondientes a los períodos 2001-2004 y 1997-2005.

Posteriormente a dicha verificación y corroborando la aceptabilidad de la misma, se procedió a generar dos series para cada una de las estaciones. Para la estación Motegasta se generó una serie de 78 años que, adicionada a los 22 años de registros existentes, completó una serie de 100 años. De igual forma se procedió para la estación El Alto, con la salvedad de que esta generación tuvo una extensión de 88 años para que, con los doce años de registro existente, se conformara una serie total de 100 años de precipitación.

Transformación lluvia-escorrentía

Una vez obtenidas las precipitaciones mensuales correspondientes a las cuencas del río Chico y Las Tunas, se procedió a realizar una simulación de la transformación de tipo Lluvia-Caudal utilizando el modelo de Transformación mensual IPHII-Men (Tucci, 1998) descrito con anterioridad.

Como fase inicial del proceso de transformación lluvia-caudal, fue considerado el ajuste y verificación del modelo. Para la fase de ajuste de parámetros se utilizó información correspondiente a doce años (período 1983-1994), en los cuales se dispuso estimaciones de lluvias medias mensuales y caudales medios mensuales, estos últimos obtenidos con base en un balance hidrológico efectuado sobre el Dique Motegasta. Para la verificación fueron contemplados diez años (período 1995-2004).

Una vez verificada la aceptabilidad de los resultados alcanzados, se procedió a la generación de caudales medios mensuales, utilizando como datos de entrada, las precipitaciones generadas por el modelo de Thomas Fiering y la evaporación promedio anual de las estaciones Ipizca y Júmeal, la cual fue distribuida anualmente, considerando el comportamiento temporal verificado en la estación Bella Vista.

Series de precipitaciones medias consideradas

Como ya se mencionó, las precipitaciones medias consideradas fueron generadas por medio de un modelo estocástico empírico basado en las series de precipitaciones de las estaciones Motegasta (1982 a 2004) y El Alto (1977 a 2005); cabe destacar que, la última estación, no registró datos en seis años (1989, 1990, 1991, 1993, 1994 y 1995), mientras que, en los años 1992 y 2000, presentó datos solo en algunos meses.

Resultados

Generación de lluvias sintéticas

Las precipitaciones medias consideradas fueron generadas por medio de un modelo estocástico empírico basado en las series de precipitaciones de las estaciones Motegasta y El Alto. Los diferentes parámetros del modelo de generación fueron ajustados con dicha información, obteniendo los valores de caudal medio mensual, desviación estándar, correlación y bj.

La verificación fue realizada como ya se describió, encontrando un coeficiente de correlación entre los valores generados y los observados, de 0.7 para la estación de Motegasta y, 0.6 para El Alto.

Figura 2

Verificación Modelo Thomas Fiering- Lluvias Río Chico

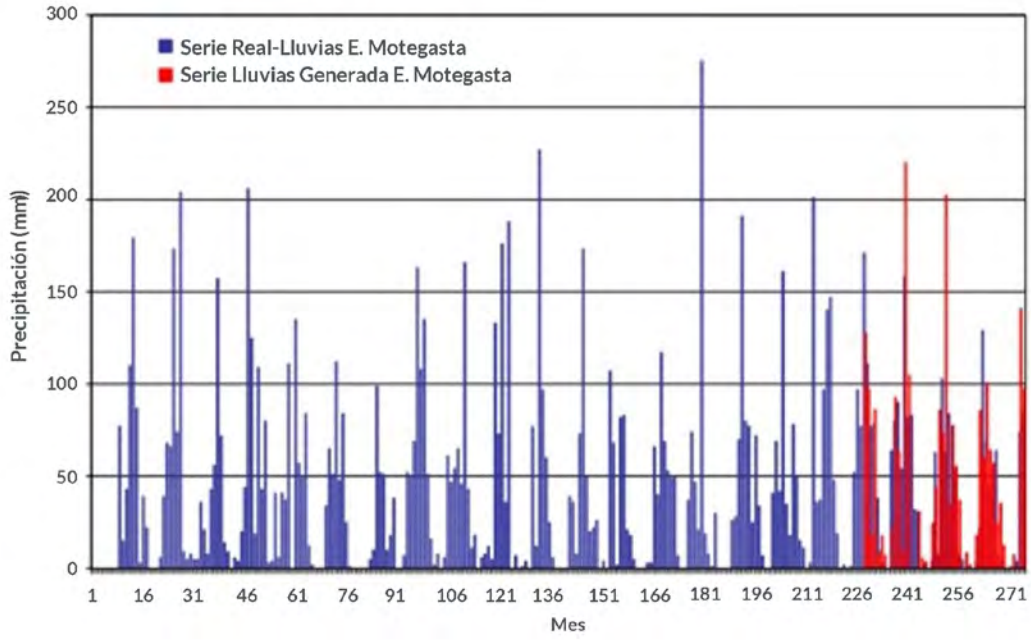
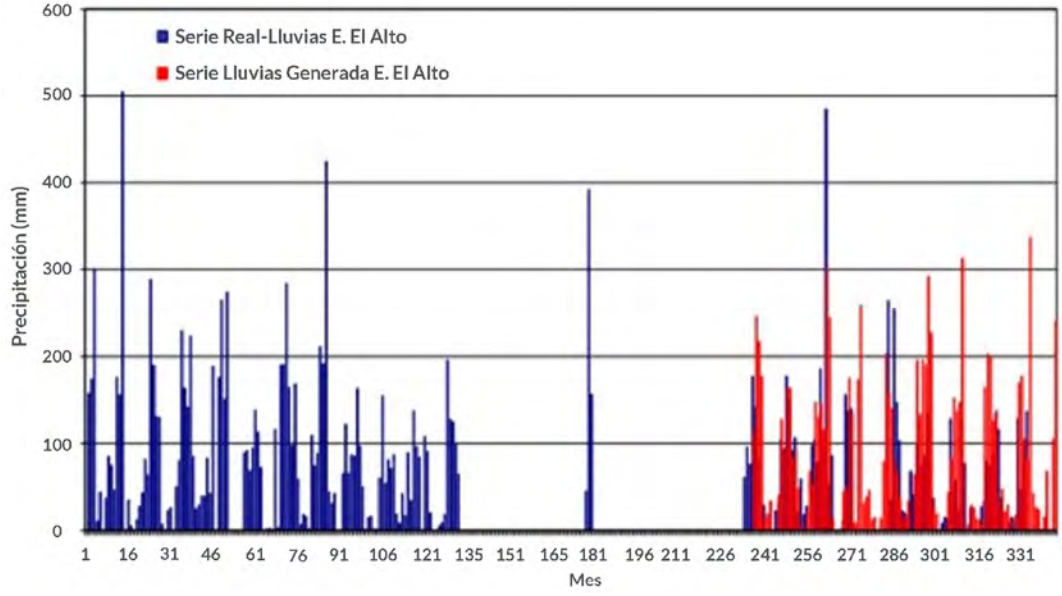


Figura 3

Verificación Modelo Thomas Fiering- Lluvias Las Tunas



Una vez ajustado el modelo, se procedió a generar las respectivas series de precipitaciones para un periodo de 100 años. Estos registros generados fueron utilizados como información de entrada en el modelo de transformación lluvia-caudal mensual, con el fin de generar las series de caudales medios mensuales necesarias para el análisis de manejo de embalse.

Ajuste y verificación del modelo Thomas Fiering

- Cuenca Río Motegasta

La determinación de caudales se realizó por balance hídrico, teniendo en cuenta el modelo matemático de balance hídrico planteado. Con base en la información descrita, a continuación, se procedió a generar la serie de caudales medios mensuales. Estos valores fueron utilizados en conjunto con las precipitaciones y evaporaciones de la misma cuenca, para ajustar el modelo de transformación mensual IPHII-Men.

- Curva Volúmenes – Superficie – Cota de Embalse

De la construcción de la obra del dique de Motegasta se dispuso la curva de Volumen-Superficie-Cota del embalse, así como también algunos parámetros de operación.

- Vertedero

De los planos de diseño se obtuvo la geometría del proyecto. De este se desprende que la cresta del vertedero tiene una longitud de 136.80 m, con una cota de 416.50 uniforme. Conforme a la geometría, se dedujo que se trata de un perfil USBR. Ello fue considerado para encontrar la altura de la carga de diseño, punto de partida para el cálculo de la ley de gasto. Luego de sucesivas aproximaciones se obtuvo que la carga de diseño de la cresta es de 1.15m.

Posteriormente, se efectuó dos relevamientos del perfil longitudinal del vertedero obteniéndose cada 5 m el nivel de la cresta y la profundidad de aguas arriba; los resultados obtenidos en ambos relevamientos fueron, a los efectos prácticos, coincidentes.

De acuerdo con los registros, el inicio de trabajo del vertedero es cuando el embalse supera la cota 416.41 m s.n.m. De esta manera, se adjudicó al punto más bajo de la cresta relevada esa cota y se asoció el resto del relevamiento al mismo plano de referencia.

Con posterioridad a ello, la totalidad de la estructura fue dividida en tramos de vertedero, en cuyo centro se encontró el punto de cresta relevado, determinando así, en cada punto de relevamiento de la cresta, la ley de gasto en función de la carga sobre la cresta y la profundidad de aproximación. Integrando luego para un mismo nivel de embalse el caudal que eroga cada uno de los tramos de vertedero, se obtuvo la ley de gasto.

- Pérdidas por Evaporación:

Al no existir datos de evaporación en el embalse, se tomó valores de alturas de evaporación correspondiente a la estación Bella Vista, a los efectos de contar con un patrón de distribución anual con una serie de cinco años (1977-1981).

Para el valor de evaporación total del embalse se tomó como referencia, la evaporación del Embalse de Ipizca, con un valor 1962 mm/año y la evaporación en el Jumeal de 2333 mm/año.

En resumen, para el cálculo de las pérdidas (evaporación + infiltración) en Motegasta se adoptó un valor intermedio entre los registros de Ipizca y Jumeal de 2150 mm/año, distribuido anualmente mediante el patrón de la estación Bella Vista, el cual fue el insumo para el modelo IPHII-Men.

- Determinación de los caudales aportados por el río Motegasta

Para las determinaciones de los caudales aportados, se utilizó un modelo de paso diario en una hoja de cálculo en el cual se aplica la expresión enunciada de balance hídrico.

En un primer momento, los cálculos se efectuaron con una pérdida por evaporación de 1088 mm/año, valor de la Estación Bella Vista. Los primeros resultados verificaban una cantidad relativamente importante de valores de caudales negativos. Estos valores negativos fueron verificados tanto en los caudales diarios como en los mensuales y, en algunos casos, anuales.

Los valores negativos diarios son el reflejo de la unidad de lectura, ya que un descenso de 1 centímetro corresponde a una disminución de volumen relativamente importante que se produce en un lapso de tiempo mayor y, por lo tanto, el resultado es falsamente un valor negativo.

Cuando el valor negativo corresponde a un caudal medio mensual o medio anual, seguramente el error cometido está en no considerar correctamente las pérdidas o las descargas. Como estas últimas son el resultado de un registro, queda como única variable de ajuste, las pérdidas por evaporación, por lo cual se asumió una evaporación anual de 2150 mm/año correspondiente a un valor intermedio a los registrados en las estaciones Ipizca y Júmeal ubicadas próximas al área del proyecto. De esta manera, se logró corregir los resultados negativos de aportes que no tienen significación física más que pérdidas no consideradas. Los valores de los caudales medios mensuales obtenidos mediante balance hídrico en el río Motegasta son presentados en la Tabla 2.

Tabla 2

Caudales generados por balance hídrico, cuenca río Motegasca

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1983	1.70	2.03	1.10	1.59	1.06	0.28	0.22	0.14	0.14	0.08	0.20	0.09
1984	0.29	0.14	2.22	2.25	0.50	0.39	0.41	0.25	0.23	0.13	0.09	0.06
1985	0.24	5.11	1.89	0.42	0.38	0.32	0.21	0.14	0.13	0.09	3.29	2.79
1986	0.52	0.83	0.61	1.89	0.23	0.08	0.10	0.65	0.14	0.15	0.15	0.12
1987	0.19	0.12	0.11	0.14	0.06	0.06	0.08	0.08	0.07	0.03	0.23	0.17
1988	0.30	0.11	0.18	0.07	0.07	0.07	0.04	0.04	0.04	0.01	0.01	0.01
1989	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.04	0.03	0.01	0.05	0.01	0.03
1990	0.21	0.61	1.73	0.83	0.59	0.34	0.35	0.17	0.10	0.12	0.10	0.11
1991	0.12	0.02	0.21	0.13	0.07	0.05	0.07	0.08	0.07	0.00	0.01	0.09
1992	0.58	7.47	0.40	11.48	2.78	0.39	0.40	0.29	0.23	0.10	0.16	0.40
1993	1.57	0.76	0.47	0.25	0.17	0.04	0.07	0.09	0.08	0.05	0.00	0.00
1994	0.05	0.19	0.14	0.10	0.10	0.06	0.05	0.07	0.06	0.18	0.18	0.03
1995	0.01	0.06	0.11	0.05	0.04	0.03	0.05	0.04	0.04	0.01	0.14	0.01
1996	0.10	0.05	0.06	0.06	0.33	0.10	0.08	0.07	0.08	0.08	0.07	0.01
1997	1.12	0.25	0.15	0.07	0.08	0.05	0.04	0.07	0.06	0.00	0.05	0.03
1998	1.09	0.92	1.20	0.88	0.61	0.41	0.32	0.28	0.16	0.14	0.14	0.13
1999	0.20	0.18	2.15	3.64	2.84	2.05	1.13	0.44	0.27	3.99	7.41	1.39
2000	1.64	1.49	16.82	2.91	1.51	0.48	0.40	0.28	0.16	0.17	0.31	0.81
2001	0.22	0.75	0.45	2.23	3.08	0.89	0.44	0.42	0.62	1.00	0.62	0.58
2002	0.81	1.02	0.98	0.60	0.45	0.35	0.23	0.12	0.13	0.16	0.12	0.19
2003	0.19	0.14	0.15	0.15	0.10	0.10	0.09	0.12	0.12	0.05	0.00	0.03
2004	0.00	0.00	0.05	0.15	0.02	0.08	0.07	0.04	0.01	0.00	0.04	0.18

Ajuste y verificación del modelo IPHII-MEN

Con la precipitación de la estación Motegasta, la evaporación anual distribuida mensualmente y los caudales obtenidos por balance hídrico en la misma cuenca, se procedió a realizar el ajuste y la verificación del modelo. Para ello se utilizó la metodología descrita anteriormente.

Los valores de los parámetros obtenidos mediante dicho ajuste fueron: a = 200; b = -0.85; c = 0.01; Ks = 0.01; Ksubt = 0.1; Cr = 0.4; "α=8 y el coeficiente de correlación" (R^2) entre la serie real utilizada para el ajuste y la generada mediante los parámetros ajustados fue de, 0.95.

Posterior al ajuste, se procedió a la verificación del modelo; para ello se comparó los caudales generados por este, con los caudales obtenidos por balance hídrico correspondiente a un nuevo periodo de la serie, obteniendo un coeficiente de correlación relativo (R^2) de 0.87. Los resultados son representados en la Figura 4.

Figura 4

Ajuste Modelo de Transformación Lluvia-Caudal IPHII Men – Cuenca río Motegasta

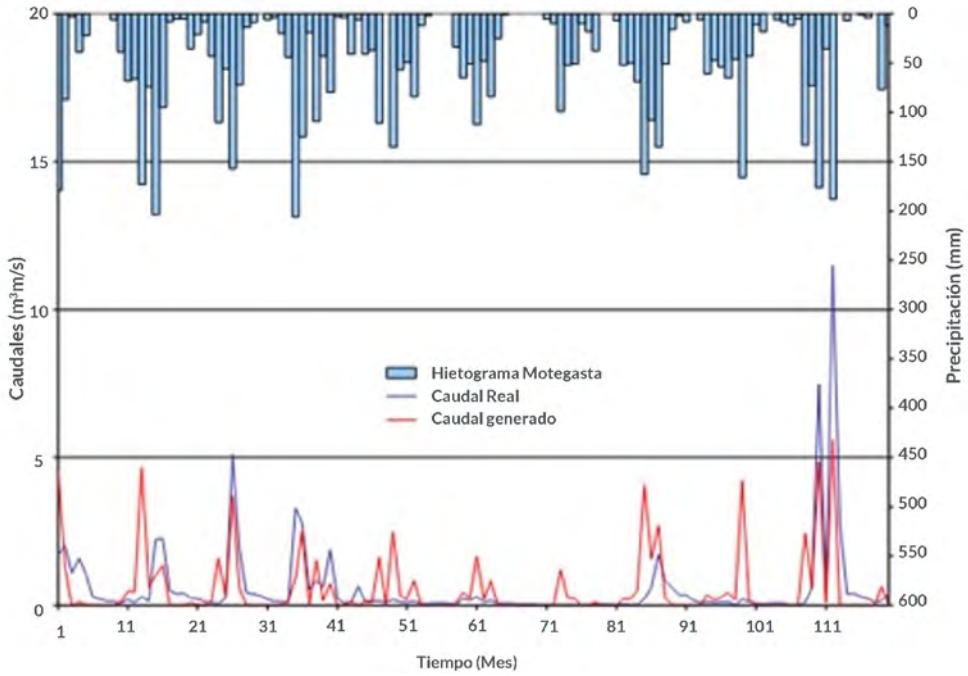
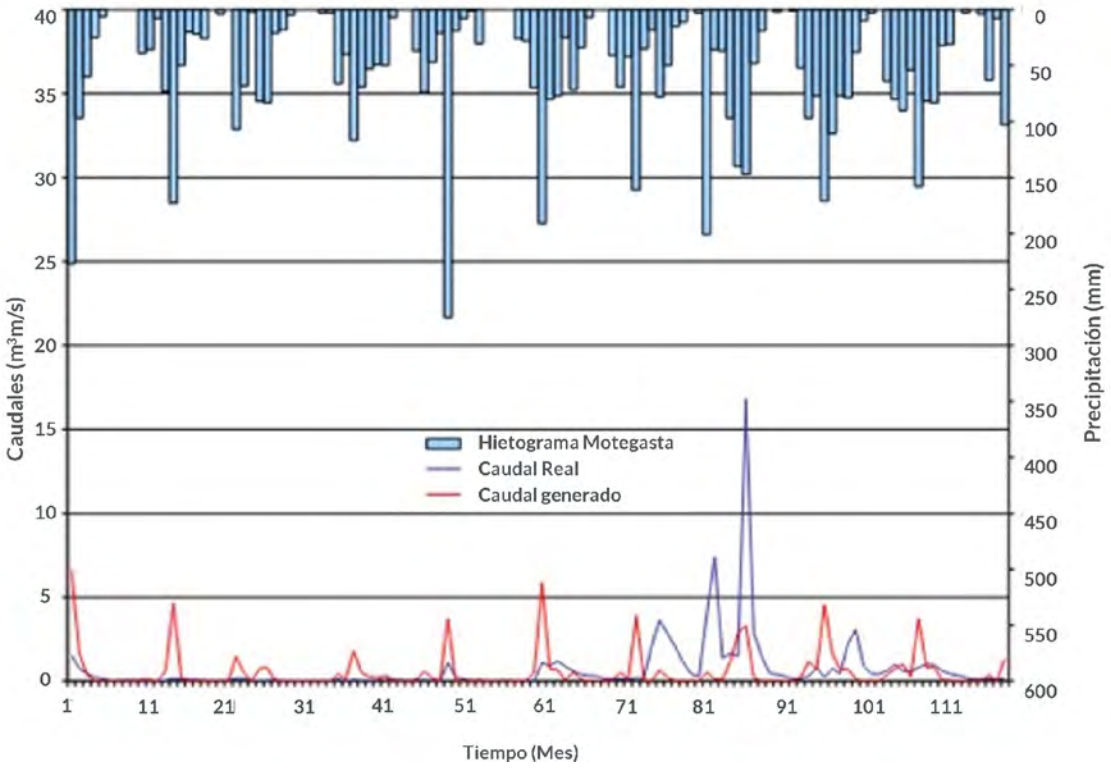


Figura 5

Verificación Modelo de Transformación Lluvia-Caudal IPHII Men Cuenca río Motegasta



La generación de precipitaciones fue realizada por medio del modelo empírico estocástico de Thomas Fiering, el cual fue previamente verificado mediante la comparación de valores calculados y observados, obteniendo coeficientes de correlación de 0.7 y 0.6 para las series de las estaciones Motegasta y El Alto, respectivamente. Entre las razones más relevantes que influyeron en estos resultados estuvieron: la corta extensión de las series utilizadas como base en la generación y, la débil relación de información mes a mes, especialmente para los registros de la estación El Alto. A pesar de que los coeficientes de correlación del proceso de verificación no brindaron una mayor confiabilidad en la generación, su estructura puede considerarse aceptable a los fines y condiciones del trabajo, resultados que concuerdan con estudios similares como los de Moraes y Pinho (2000); Upper Colorado River Commission y Morris E. Garnsey (1961); Julian (1961); y Herrera-Quispe (2013).

Con relación al ajuste y verificación del modelo de transformación lluvia-caudal IPHII Men, los coeficientes de correlación relativos (ponderados con relación a los caudales observados) fueron de 0.95 y 0.87, respectivamente, mostrando un razonable grado de correspondencia entre los datos calculados y los datos observados, lo cual se puede contrarrestar en trabajos similares como el de Alonso y Bertoni (2007) y Ganancias y Fontana (2004, citados por Alonso y Bertoni, 2007).

Conclusiones

Los modelos matemáticos empleados para la estimación de caudales medios mensuales fueron simples y apropiados, en función de la cantidad y calidad de la información disponible, así como también, de los fines requeridos. La disminución de la incertidumbre que encierra a las estimaciones realizadas solo podrá ser disminuida de manera considerable, con base en una mayor disponibilidad de datos.

Los modelos matemáticos empleados dentro de la metodología de estimación de caudales medios mensuales fueron oportunos, puesto que permitieron realizar aproximaciones razonables en las diferentes estimaciones, las cuales son necesarias cuando no hay disponibilidad de información de campo adecuada para la cuantificación de las diferentes variables hidrológicas.

La generación de precipitaciones fue realizada por medio del modelo estocástico de Thomas Fiering, el cual fue previamente verificado mediante la comparación de valores calculados y observados, obteniendo coeficientes de correlación de 0.7 y 0.6 para las series de las estaciones Motegasta y El Alto, respectivamente. Entre las razones más relevantes que influyeron en estos resultados están: la corta extensión de las series utilizadas como base en la generación y, la débil relación de información mes a mes, especialmente para los registros de la estación El Alto.

Con relación al ajuste y verificación del modelo de transformación lluvia-caudal IPH-IImen, los coeficientes de correlación relativos encontrados fueron de 0.95 y

0.87 respectivamente, mostrando un adecuado grado de correspondencia entre los datos calculados y los datos observados, siendo lógico de esperar, una diferencia entre uno y otro, pues el primero compara la serie calculada con la utilizada, para ajustar los diferentes parámetros, mientras que el otro es relacionado, teniendo en cuenta un nuevo periodo de la serie utilizada.

Referencias

Alonso, F. J. y Bertoni, J. C. (2007). Calibración automática del modelo hidrológico IPH-II en dos cuencas típicas argentinas. https://acortar.link/OnIDrl

Carvajal, Y., Arango, D. y Jiménez, H. (2007). *Estimación de caudales promedios mensuales por subcuencas hidrológicas mediante modelación con HEC-HMS*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Clarke, R. (1973). *Mathematical models in hydrology*. Institute of Hydrology Wallingford.

Crawford, H. H. y Linsley, R. K. (1966). Digital simulation in Hydrology: Stanford Watershed Model IV. Technical Report No. 39. https://www.scirp.org/(S(lz5mqp453edsnp55rrgjct55))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1477339

Herrera-Quispe, J. A. (2013). *Modelo Estocástico a partir de Razonamiento Basado en Casos para la Generación de Series Temporales* [Tesis doctoral, Universidad Nacional de San Agustín]. https://repositorio.concytec.gob.pe/handle/20.500.12390/346

Julian, P. R. (1961). *Study of the statistical predictability of stream-runoff in the upper Colorado River Basin A*. University of Colorado.

Moraes, R. y Pinho, S. (2000). Thomas-Fiering hydrologic model to the management of two experimental drainage basins [1997]. *Energia na Agricultura*, 12(1), 5-12.

Roldán, E. (2009). *Reconstrucción histórica de los caudales mensuales a lo largo de la red de drenaje de Colombia*. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

Tucci, C. E. (1998). *Modelos Hidrológicos*. Asociación Brasileña de Recursos Hídricos.

Upper Colorado River Commission & Garnsey, M. E. (1961). *Past and Probable Future Variations in Stream Flow in the Upper Colorado River: Probability analysis applied to the development of synthetic hydrology for the Colorado River, M.R. Brittan*. Bureau of Economic Research, University of Colorado.

Importancia ecológica de la apicultura en el mantenimiento y conservación de la biodiversidad y los agroecosistemas

Natalia Cardona Reyes

Laura Alejandra Cuellar Botello

Luis Alexander Carvajal Pinilla[1]

Resumen

La apicultura es una actividad agrícola que proporciona protección y equilibrio a ecosistemas, mediante la polinización. No obstante, la expansión agrícola puede desequilibrar sistemas naturales, alterar ciclos bioecológicos y ambientales. El objetivo planteado es determinar la importancia ecológica de la apicultura en mantener y conservar la biodiversidad y agroecosistemas en el municipio de Algeciras, Huila; para ello fueron desarrolladas dos fases: primera, un diagnóstico ambiental, mediante caracterización, listas de chequeo, matriz ambiental EPM y DOFA; segunda, el diseño de herramientas de manejo ambiental. Las unidades apícolas producen de dos a cuatro productos; se destaca: miel, polen y propóleos. Un total de 16 impactos fueron registrados; siete positivos y nueve negativos; los primeros, con las mayores calificaciones. El mayor número de impactos, 4, se evidenció en los aspectos 'Uso de materia prima' e 'Incremento de fauna y flora'. Las medidas de manejo planteadas estuvieron enfocadas hacia las actividades registradas como 'construcción material apícola', 'instalación de apiarios', 'manejo y mantenimiento del apiario', 'recolección de productos apícolas' y, 'control de plagas'. La actividad apícola demuestra ser una alternativa productiva, convirtiéndose en una fuente segura y constante para generar ingresos a comunidades rurales.

Palabras clave: calidad de vida; medio ambiente; rentabilidad.

Introducción

La apicultura es la ciencia aplicada que estudia a las abejas y su técnica de cultivo, cría y explotación de sus productos; las abejas contribuyen al mantenimiento de la biodiversidad en los ecosistemas (Cadena y Souza-Esquerdo, 2017; Velasco et

[1] Corporación Universitaria del Huila CORHUILA, Programa Ingeniería Ambiental, Neiva, Colombia. Correo: luis.carvajal@corhuila.edu.co

al., 2019). La actividad apícola es considerada favorable para la naturaleza, dado el reducido número de impactos negativos que puede causar al ambiente y, por el aporte en la conservación de la flora natural y en agroecosistemas mediante la polinización y el control biológico (Satizabal et al., 1986; Alpuche-Álvarez et al., 2019; González, 2019).

Debido al aumento de la apicultura a nivel rural, se hace necesario valorar su efecto en el ambiente, mediante la implementación de una evaluación de impactos ambientales que permita identificar, evaluar y generar información en detalle para determinar afectaciones o no en el ambiente (Álvarez, 2001; Alpuche-Álvarez et al., 2019). Complementariamente, la incorporación de un instrumento que permita tomar medidas de carácter preventivo, correctivo, de mitigación o compensación, potencialmente mejoraría el desarrollo de las actividades apícolas (López-Hernández y Rodríguez, 2007; López et al., 2016; González, 2019).

Entre las apuestas productivas del departamento del Huila, la agroindustrial es considerada importante para fortalecer e incrementar la transformación de todos los renglones productivos regionales (Zapata, 2007; Vinasco, 2011). El desarrollo del presente proyecto se convierte en una oportunidad para brindar a la comunidad, una herramienta de manejo, como una alternativa de mejora ambiental y económica, a la producción apícola, beneficiando la calidad de vida de las familias que se abastecen de la actividad apícola (Sánchez et al., 2010).

De esta manera, el presente proyecto tiene como objetivo global, determinar la importancia ecológica de la apicultura en mantener y conservar la biodiversidad y los agroecosistemas en el municipio de Algeciras, Huila; y, como objetivos específicos, evaluar el estado de la actividad apícola y diseñar herramientas socio-ambientales que potencien la estabilidad ambiental de unidades productivas apícolas y sus alrededores de suerte que, con una amplia difusión en otros apiarios con patrones de producción similar, puedan facilitar procesos de carácter ambiental (Varea, 2006).

Metodología

Área de influencia

La comunidad apícola se encuentra ubicada en el municipio de Algeciras, al oriente del departamento del Huila, enmarcada entre la cordillera oriental y un ramal de la misma; se caracteriza por una serie de accidentes orográficos que le confieren el carácter de montañas, con pendientes moderadas a fuertes, sobre las que son desarrolladas diferentes actividades agropecuarias y extractivas.

Fase 1: Diagnóstico Ambiental

Se realizó una caracterización del recurso humano y de las unidades productivas apícolas de la Asociación de Apicultores del Sur Colombiano (APISURCO), mediante encuestas, así: i) perfil demográfico de propietarios y trabajadores; ii) nivel de estudios y participación en grupos o asociaciones; iii) valoración de los componentes ambientales suelo, flora y fauna, con el registro de las condiciones ecológicas en las unidades productivas mediante listas de chequeo, matriz de evaluación de impacto ambiental EPM y matriz DOFA.

La matriz EPM se basa en una calificación de importancia ambiental; se evalúa los impactos mediante una calificación que contiene cuatro criterios: Presencia, Duración, Evolución y Magnitud, según el manejo dado a los recursos naturales, uso del agua y suelo y, disposición final de residuos de origen productivo, en todos los procesos del apiario (Tabla 1).

Tabla 1

Escala de importancia ambiental y su respectiva valoración

Importancia Ambiental	Color
Muy significativo	> 7,5
Significativo	> 5,0 y ≤ 7,5
Moderadamente significativo	> 2,5 y ≤ 5,0
Poco significativo	≤ 2,5

Fuente: Zapata (2007).

Fase 2: Herramientas de Manejo Ambiental

Con base en lo obtenido en la Fase 1, se hizo el planteamiento de diferentes medidas de manejo ambiental a corto, mediano y largo plazo, de acuerdo con el estado de las prácticas agrícolas de las unidades productivas. Posteriormente, la retroalimentación de las medidas con la comunidad apícola, para la construcción colectiva y participativa de las herramientas. Finalmente, la entrega de medidas de manejo consolidadas, a los propietarios de cada una de las unidades productivas participantes en el estudio.

Resultados y Discusión

Fase 1: Diagnóstico Ambiental

En cuanto al perfil demográfico y nivel de estudio de los apicultores, se destaca: el rango de edad: entre 51 y 70 años; el 50 % de los apicultores tiene educación primaria; dedican cinco horas semanales a la apicultura; reciben capacitaciones constantes; obtienen de dos a cuatro productos entre los que sobresale la miel,

el polen y los propóleos; por último, la mayor parte de la producción derivada, es vendida localmente.

De forma general, la lista de chequeo registró seis actividades con siete aspectos relacionados: i) uso inadecuado de protección personal; ii) generación de desechos residuales; iii) uso de materia prima; iv) emisión de gases; v) incremento de fauna y flora; vi) aprovechamiento de productos apícolas y, vii) uso de agroquímicos. El mayor número de impactos, cuatro, se evidenció en el aspecto 'Uso de materia prima', actividad 'Instalación de apiarios' y, en el aspecto 'Incremento de fauna y flora', actividad 'Polinización'. La matriz de EPM arrojó un total de 16 impactos, siete positivos y nueve negativos. Cabe resaltar que, aunque son menores los positivos, éstos tienen las mayores calificaciones (Tabla 2).

Tabla 2

Actividades, aspectos e impactos - Matriz EPM de la Apicultura de APISURCO, Algeciras, Huila

Actividad	Aspecto	Impacto	Ca*	Importancia ambiental
Construcción de material apícola	Uso inadecuado de protección personal	Generación de enfermedades al apicultor	3,0	Moderadamente significativo
Instalación de apiarios	Generación de desechos residuales	Contaminación del suelo	2,0	Poco significante
	Uso de materia prima	Cambios del uso de suelo	3,4	Moderadamente significativo
		Erosión del suelo	0,1	Poco significante
		Afectación del paisaje	6,6	Significativo
		Pérdida de recursos vegetales	2,1	Poco significante
Manejo y mantenimiento del apiario	Emisión de gases	Contaminación del aire por gases (ahumador)	2,8	Moderadamente significativo
		Generación de enfermedades al apicultor	1,4	Poco significante

Polinización	Incremento de fauna y flora	Preservación de la diversidad biológica	7,7	Muy significativo
		Regulación de servicios eco sistémicos	1,9	Poco significante
		Embellecimiento paisajístico	4,0	Moderadamente significativo
		Alta biodiversidad (fauna y flora)	4,1	Moderadamente significativo
Recolección de productos apícolas	Aprovechamiento de productos apícolas	Generación de empleo	7,5	Significativo
		Generación de ingresos económicos	10,0	Muy significativo
		Mejoramiento en la calidad de vida de los apicultores	2,0	Poco significante
Control de plagas	Uso de agroquímicos	Pérdida de colmenas por aspersión de agroquímicos	0,7	Poco significante

Ca*: Calificación

Fuente: elaboración propia

Listas de Chequeo

Entre las seis actividades desarrolladas en los apiarios de APISURCO, tres son las de mayor frecuencia: Polinización, Recolección de productos apícolas y, Manejo y mantenimiento de colmenas (Figura 1) con 21 %, puesto que, para una revisión constante, por lo menos de cada 15 días, el apicultor asegura el estado de la colmena y los ataques de plagas; complementariamente, puede realizar actividades de limpieza, para que las abejas tengan una buena polinización y no se vea afectada la fructificación de los productos apícolas (Chown y Gaston, 2010; Martínez-Puc et al., 2015: Velasco et al., 2019).

Seguidamente, se destaca de forma positiva, la actividad 'Instalación de los apiarios', con un 19 %, que incluye acciones adicionales como: adecuación, limpieza, arreglo e instalación de colmenas. Finalmente, las actividades 'Construcción de material apícola' y 'Control de plagas', con frecuencias de 10 % y 8 %, respectivamente,

fueron las de menor porcentaje; esto se debe a que, en pocos apiarios se adecúa el material a emplear en las colmenas y, por el contrario, se adquiere a proveedores locales; de igual manera, no necesitan hacer un control de plagas, debido a que sus colmenas no se ven afectadas por la aspersión de agroquímicos, al no estar en cercanías a cultivos y, por no tener presencia de plagas.

Figura 1

Manejo y mantenimiento de colmenas en apiarios APISURCO, Algeciras, Huila



Fuente: elaboración propia

Matriz EPM

En Importancia ambiental, la categoría 'Muy significativo', se ubicó: 'Mejoramiento en la calidad de vida de los apicultores', con 8,85 % y, 'Regulación de servicios ecosistémicos', con 7,7 %, contribuyendo así, a la conservación de la flora polinífera, aportando grandes beneficios a los agroecosistemas mediante la polinización y el control biológico realizado por las abejas y, dando un mejoramiento a los sectores productivos y a la calidad de vida de las comunidades residentes (Sánchez et al., 2010; González, 2019).

En la categoría 'Significativa', se encuentran los siguientes impactos positivos: 'Mejoramiento en la calidad de vida de los apicultores', con 6,5 % de ocurrencia, 'Regulación de servicios ecosistémicos', con 5,18 % y 'Alta biodiversidad fauna y flora', con 5,17 %, lo que sugiere la implementación de medidas de manejo que ayuden a mantenerlos o, medidas que impliquen un mejoramiento continuo para su potencialización (Alpuche-Álvarez et al., 2019).

Posteriormente, en 'Moderadamente significativo', se observa impactos positivos como: 'Embellecimiento paisajístico', con 3,41 %, 'Generación de ingresos económicos' con 4,43 % y 'Generación de empleo', con 3,05 %. En cuanto a los impactos negativos, se registró 'Afectación del paisaje', con 4,03 % y 'Contaminación del aire por gases', con 2,79 %, evidenciando la necesidad de proponer medidas

de manejo que ayuden a mitigar estas afectaciones ambientales y, así, mejorar el ecosistema (Zapata, 2007).

Finalmente, la importancia ambiental 'Poco significativo', registró un impacto positivo en: 'Preservación de la diversidad biológica', con 2,11 % (Figura 2); los impactos negativos fueron: 'Pérdida de recursos vegetales', con 2,06 %, 'Cambios del uso de suelo', con 2,0 %, 'Generación de enfermedades al apicultor', con 1,93 %, 'Contaminación del suelo', con 1,4 %, 'Erosión del suelo', con 0,92 %, 'Pérdida de colmenas por aspersión de agroquímicos', con 0,84 %.

Figura 2

Preservación de la diversidad biológica y alta biodiversidad (flora y fauna), apiarios de APISURCO



Fuente: elaboración propia

Matriz DOFA

El análisis interno de las unidades apiarios mostró, tanto fortalezas como debilidades, destacando entre las primeras, la venta segura de la miel y, entre las segundas, la falta de cultura empresarial; el análisis externo señala que la oportunidad a destacar es la presencia de varias floraciones al año y, una amenaza importante, la presencia de fenómenos climáticos que afectan las colmenas (Tabla 3). Dado esto, se plantea estrategias que pueden ser implementadas para potencializar las unidades productivas participantes en el estudio y, para que aquellas que inician el emprendimiento de la apicultura, puedan ser tenidas en cuenta para su adecuación e implementación (Tabla 4).

Tabla 3

Matriz DOFA para unidades apiarios APISURCO, Algeciras, Huila

Matriz DOFA	Fortalezas	Debilidades
Análisis interno	• Venta segura de miel. • Existe poder adquisitivo para compra de equipos. • Áreas de extensión geográfica productiva.	• No existe suficiente financiamiento para el sector apícola. • No existe coordinación entre los apicultores. • Falta de cultura empresarial.
	Oportunidades	**Amenazas**
Análisis externo	• Existen insumos disponibles. • Presencia de varias floraciones al año. • Existe tendencia al consumo de productos naturales.	• Inadecuado uso de agroquímicos en la agricultura, que afectan a las colmenas. • Afectación a los apiarios, por fenómenos naturales como lluvia y sequía. • Prácticas de extracción de la miel al aire libre.

Tabla 4

Estrategias para unidades productivas apiarios APISURCO, Algeciras, Huila

Fortaleza - Oportunidad	Debilidad - Oportunidad
➢ Obtención de equipos necesarios para una mejor extracción de miel. ➢ Conformación de alianzas comerciales incentivando a todos los consumidores hacia la compra de productos 100 % naturales.	➢ Capacitación en estrategias empresariales. ➢ Gestión con entes gubernamentales, sobre la destinación de partidas presupuestales que beneficien al apicultor. ➢ Implementación de acciones que generen mayor productividad y publicidad.
Fortaleza - Amenaza	**Debilidad - Amenaza**

➢ Asegurar que la extracción de miel sea segura, limpia y con garantías alimentarias plenas. ➢ Ubicar geográficamente, los apiarios en lugares donde los fenómenos naturales no afecten en gran medida esta actividad.	➢ Seguimiento a los expendios de agroquímicos, por parte del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), con el fin de implementar un adecuado manejo a la utilización de los plaguicidas.

Fase 2: Herramientas de Manejo Ambiental

La apicultura es una actividad agrícola productiva que causa pocos impactos de clase negativa en el medio ambiente (Satizabal et al., 1986; González, 2019). En Colombia, la actividad apícola no está reglamentada ni es inspeccionada o controlada por ningún ente ambiental; no obstante, en el marco normativo cursa el Proyecto de Ley 103 de 2019 del Congreso de la República de Colombia, por el cual se crea mecanismos para defensa de los polinizadores, fomento de cría de abejas y desarrollo de la apicultura; aun así, es prudente tomar algunas medidas de manejo ambiental para prevenir y/o mitigar los posibles impactos ambientales que surjan durante el proceso de producción apícola.

A continuación, se presenta las diferentes actividades del proceso productivo apícola con los impactos ambientales que estas generan y las diversas medidas de manejo ambiental que se debe tomar para cada caso.

Tabla 5

Medidas de manejo para la actividad 'Construcción de material apícola', APISURCO, Algeciras, Huila

Impacto: Generación de enfermedades al apicultor
Medidas de manejo:
❖ Debida utilización de elementos de protección personal facial (gafas, mascarilla); evitar la exposición directa y, permitir una buena ventilación. ❖ Aprovisionamiento de equipamiento de protección personal a todos los apicultores. ❖ Controles de verificación de uso debido y mantenimiento preventivo a los equipos. ❖ Centralización de la producción de materiales para las colmenas, a una sola entidad o persona.
Impacto: Pérdida de recursos vegetales

Medidas de manejo:
❖ Identificar que el tipo de madera de colmenas fabricadas por proveedores se suministre de zonas de producción forestal sostenible o de áreas de producción de madera ecológica. ❖ Contar con el permiso de aprovechamiento forestal para extraer la madera con la que se construye los apiarios, a la autoridad ambiental competente. ❖ Emplear árboles como el achapo, nogal, eucalipto, laureles amarillos, cedro rosado y balso, que tienen resistencia natural a la putrefacción y al ataque de insectos.

Tabla 6

Medidas de manejo para la actividad 'Instalación de apiarios', APISURCO, Algeciras, Huila

Impactos: Contaminación del suelo y cambios del uso del suelo
Medidas de manejo:
❖ Capacitación en separación de residuos en la fuente a todos los apicultores. ❖ Disposición final de los residuos o, desarrollo de un plan de manejo de residuos sólidos que garantice una producción poco contaminante.
Impactos: Erosión del suelo, Afectación del paisaje y pérdida de recursos vegetales.
Medidas de manejo:
❖ Seleccionar espacios descubiertos, con poca cobertura vegetal o, establecer los apiarios sin destruir las coberturas presentes. ❖ Realizar medidas de compensación, con el fin de enriquecer la capa superficial del suelo que será utilizada posteriormente en la recuperación paisajística del ecosistema. ❖ Sembrar especies nativas de flora apícola nectaríferas, poliníferas y productoras de propóleos: gualanday, chilco, roble, falso girasol, árboles cítricos, igua y papayuela.

Tabla 7

Medidas de manejo para la actividad 'Manejo y mantenimiento del apiario', APISURCO, Algeciras, Huila

Impactos: Contaminación del aire por gases (ahumador) y generación de enfermedades al apicultor
Medidas de manejo:

- ❖ Utilizar combustibles de origen vegetal como pasilla de café, cascarilla de arroz o residuos de madera.
- ❖ Construir bodega de almacenamiento de la madera, conocer su procedencia y no incurrir en accidentes en la utilización del ahumador.
- ❖ Usar adecuadamente los implementos de protección personal, como el tapabocas y las gafas protectoras.

Tabla 8

Medidas de manejo para la actividad 'Polinización', APISURCO, Algeciras, Huila

Impactos: Regulación de servicios ecosistémicos, embellecimiento paisajístico, alta biodiversidad (fauna y flora) y pérdida de diversidad biológica.
Medidas de manejo:
❖ Siembra de especies circundantes a la zona de instalación del apiario y según los usos forestales: arrayán, chilco, roble, falso girasol, cordoncillo, arboloco, amapolas, maíz, cedro y papayuela. ❖ Capacitaciones en sensibilización y educación ambiental, periódicamente, con ayuda de recursos tecnológicos y sociales. ❖ Desarrollo de políticas públicas para el impulso y fomento de la actividad apícola, que promueva la gestión de recursos y partidas presupuestales para el sector apícola.

Tabla 9

Medidas de manejo para la actividad 'Recolección de productos apícolas', APISURCO, Algeciras, Huila

Impactos: Generación de ingresos económicos, mejoramiento en la calidad de vida de los apicultores y creación de empleo.
Medidas de manejo: generar articulaciones con entes gubernamentales para:
❖ Capacitar a los apicultores en buenas prácticas apícolas y emprendimiento en el sector de las abejas y la apicultura. ❖ Generar programas de ciencia, tecnología e innovación, para el fortalecimiento de la producción, transformación y comercialización de los productos de las abejas. ❖ Implementar buenas prácticas de manufactura, que pueden proporcionar al pequeño productor, un incremento en la producción y la obtención de una miel de mejor calidad. ❖ Impulsar la asociatividad y el emprendimiento. ❖ Estandarizar los procesos productivos y así, reducir las pérdidas de recolección. ❖ Fortalecer el requerimiento de mano de obra calificada para las actividades de almacenamiento, empaque y distribución.

Tabla 10

Medidas de manejo para la actividad 'Control de plagas', APISURCO, Algeciras, Huila

Impactos: Pérdidas de colmenas por aspersión de agroquímicos
Medidas de manejo:
❖ Instalación de barreras naturales, cercas vivas o muros verdes alrededor del apiario, utilizando flora apícola: eucalipto, girasol, romero. ❖ Estimulación, en el apicultor, de la producción orgánica y un manejo integrado de plagas, implementando conocimientos técnicos apropiados que le permitan mejorar la calidad del producto final. ❖ Educación ante la presencia de plagas: emplear eucalipto y romero en el ahumador, con el fin de evitar la muerte de las abejas dentro o fuera de las colmenas. ❖ Ubicación de las colmenas lo más lejos posible de centros poblados, cultivos manejados con plaguicidas y fertilizantes. ❖ Implementación, por los entes territoriales y gubernamentales competentes, del control y seguimiento a los expendios de agroquímicos, con el fin de ejecutar un adecuado control a la utilización de los plaguicidas químicos de uso agrícola.

Conclusiones

La actividad apícola en el municipio de Algeciras evidencia un buen desarrollo socioambiental, debido a la disponibilidad de recursos naturales aprovechables; sin embargo, se encontró que esta actividad es desarrollada por pequeños productores y campesinos, los cuales cuentan con muy pocas herramientas para la obtención de productos de buena calidad.

La apicultura es una actividad que produce impactos negativos de magnitud mínima en el medio ambiente; entre los recursos más afectados está el suelo, por la adecuación del terreno, y el aire, por la generación de gases del ahumador.

Se resalta los impactos positivos en las zonas donde son instalados los apiarios dado que, la polinización es un indicador de la buena calidad del medio; esto señala que la actividad apícola demuestra ser una alternativa productiva, convirtiéndose en una fuente segura y constante para generar ingresos a comunidades rurales del municipio de Algeciras.

Referencias

Alpuche-Álvarez, Y. A., Ochoa-Ganoa, S., Monzón-Alvarado, C. y Cortina-Villar, S. (2019). Modernización agrícola y valoración sociocultural de los servicios ecosistémicos en paisajes Mayas del sureste de México. *Ecologia Austral*, *29*(2), 223-238. https://doi.org/10.25260/EA.19.29.2.0.774

Álvarez, A. (2001). De la herencia cotidiana al tesoro perdido: nuevos desafíos en la educación ambiental para la conservación de la biodiversidad. *Interciencia*, *26*(10), 429-433.

Cadena, D. C. y Souza-Esquerdo, V. F. (2017). O processo histórico da atividade apícola entre os camponeses do Macizo Colombiano: um estudo de caso no sul da Colômbia, La Vega, Cauca. *Retratos de Assentamentos*, *20*(1), 232-245. 10.25059/2527-2594/retratosdeassentamentos/2017.v20i1.264.

Chown, S. L. & Gaston, K. (2010). Body size variation in insects: a macroecological perspective. *Biological Reviews*, *85*(1), 139-169. https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2009.00097.x

González, C. J. (2019). Uso y aprovechamiento de la biodiversidad para mejoramiento de cultivos: la polinización con abejas *Apis Mellifera* en café como biotecnología. *Libros Universidad Nacional Abierta y a Distancia*, 349-365. https://doi.org/10.22490/9789586516389.16

López-Hernández, E. S. y Rodríguez, A. R. (2007). Educación ambiental con agricultores para un plan de conservación de la biodiversidad: "Los Pochitoques". *Horizonte Sanitario*, *6*(3), 25-33. https://doi.org/10.19136/hs.a6n3.215

López, M., Reyes, N. M. y Pinkus, M. (2016). Patrimonio biocultural y participación comunitaria en Yucatán: una propuesta para la evaluación de políticas públicas. *Elohi*, *9*, 123-160. https://doi.org/10.4000/elohi.1154

Martínez-Puc, J. F., Medina-Medina, L. A., Leal-Hernaández, M. y Merlo-Maydana, F. E. (2015). Frecuencia de *Varroa destructor* y *Acarapis woodi* en colonias comerciales de abejas (*Apis mellifera*) en Yucatán, México. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, *2*(1), 2-12. https://doi.org/10.36610/j.jsaas.2015.020100002

Sánchez, M. A., Burbano, D. M., Bonilla, B. L. y Montoya, B. (2010). Calendarios florales apícolas a partir de la identificación de la oferta floral para los municipios de Caldono y Santander de Quilichao, departamento del Cauca, Colombia. *Investigación, Tecnología y Ciencia*, *1*(4), 54-59.

Satizabal, M. C., García, J. M., Bernal, G. y Escobar, J. A. (1986). Caracterización de la apicultura en el Valle del Cauca y su futuro desarrollo. *Acta Agronómica*, *36*(1), 98-117.

Varea, A. (2006). Iniciativas para conservar la biodiversidad. *Universitas: Revista de Ciencias Sociales y Humanas*, *4*, 7-43. https://doi.org/10.17163/uni.n4.2004.01

Velasco, D. S., Barreda, C. y Ordoñez, D. A. (2019). Desarrollo productivo apícola como fuente de mejoramiento socioeconómico vereda Corralejas, Sotará, Cauca. *Revista Científica Profundidad Construyendo Futuro*, *11*(11), 44-52. https://doi.org/10.22463/24221783.2570

Vinasco, M. C. (2011). Determinación y evaluación de productos de la biodiversidad con potencial comercial en un grupo organizado de productores en la zona de influencia del Corredor Ecoarqueológico del sur del Huila. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, *2*(2), 65-75. https://doi.org/10.22490/21456453.918

Zapata, A. (2007). La gestión ambiental en el sector empresarial, una visión bajo el enfoque empresa-entorno como estrategia de competitividad [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2763.

Diseño de dos humedales artificiales a escala de laboratorio para el tratamiento del lodo proveniente de una planta de tratamiento de agua residual doméstica

Betty Nayely España Bolaños[1]

Tatiana Mañunga[2]

Paola Ortega Guerrero[3]

Resumen

Los humedales artificiales para tratamiento de lodos, conocidos como lechos de secado plantados, consisten en zanjas poco profundas, rellenas de grava y plantadas con macrófitas, las cuales representan una alternativa para plantas de tratamiento de agua residual que no tienen un tratamiento de lodos, como el caso de la vereda La Floresta, en Gualmatán, Nariño y, aunque han sido usados por más de 20 años, no existen guías estandarizadas para su diseño. Por lo descrito, a través de una búsqueda bibliográfica se identificó las variables para diseñar un humedal a escala laboratorio para el tratamiento del lodo generado en esta planta. Los resultados mostraron que este tipo de humedales se dimensiona a partir de la tasa de carga expresada en sólidos (30 - 250 kg ST/m^2. año) o área per cápita (1.5 - 4.0 hab/m^2). Finalmente, adoptando el criterio de área per cápita se estableció que, a escala real, se requiere un área de 1059 m^2 para tratar el lodo generado por la población de la cabecera municipal (2117 habitantes) que, llevado a escala laboratorio, es 0.50 m^2 (Población = 1.0 habitante).

Palabras clave: humedales; lodos de PTAR; totora; medio filtrante.

[1] Programa de Ingeniería ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Mariana, Colombia. Correo. bespana@umariana.edu.co

[2] Docente, Universidad Mariana, Colombia. Correo tmanunga@umariana.edu.co

[3] Programa de Ingeniería ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Mariana. Correo electrónico: portega@umariana.edu.co

Introducción

La gestión de lodos provenientes de aguas residuales (AR) es importante debido a que estos subproductos representan del 1 % al 2 % del caudal de agua residual. Además, constituyen del 20 % al 60 % de los costos operativos de las plantas de tratamiento de aguas residuales convencionales (PTAR) (Uggetti et al., 2010).

Los lodos generados en una PTAR deben ser estabilizados antes de su disposición o uso final dado que, sí son vertidos de forma directa en fuentes hídricas, pueden consumir gran cantidad de oxígeno disponible para la vida acuática en las aguas receptoras. Además, por su contenido de fósforo y nitrógeno, pueden generar un crecimiento excesivo de plantas acuáticas, conllevando la eutrofización de las fuentes hídricas receptoras (Brix, 2017). Por otro lado, si son entregados al relleno sanitario para su disposición final, incrementan los costos de mantenimiento de las PTAR y, además, se acelerará la colmatación del relleno sanitario, reduciendo su vida útil (Mancipe-Arias y Triviño-Restrepo, 2018).

A partir del tratamiento de lodos residuales, se promueve su aprovechamiento y uso eficiente ya que, al estar estabilizados, pueden ser empleados en actividades como agricultura, relleno de tierra, fertilizantes y silvicultura (Rojas y Espinosa, 2012).

Según Magloire y Tilley (2009), los lechos de secado plantados (LSP), conocidos como humedales artificiales para tratamiento de lodos, han sido empleados en Europa, África y Estados Unidos, como alternativa muy buena para secar y estabilizar los lodos en pequeñas comunidades; logran reducir entre el 30 y el 90 % de sólidos y agua y, de 59 a 99 % los nutrientes orgánicos; permiten el manejo de cargas elevadas, especialmente en climas de zonas tropicales. Además, el costo de inversión es bajo para plantas pequeñas y la operación es simple; solo requiere atención esporádica; pueden ser construidos y reparados con materiales disponibles localmente; no demandan energía eléctrica y presentan baja sensibilidad a la variación de los lodos.

Adicionalmente, los humedales artificiales proporcionan ventajas tales como el espesamiento y reducción del volumen del lodo, proceso que se da gracias a la presencia de plantas macrófitas en el humedal, las cuales absorben un porcentaje del agua y evapotranspiran otro porcentaje (Smart Water Summit, 2022). A esto se añade que, el movimiento natural de las plantas, generado por el viento, junto con el crecimiento de las raíces, provoca el drenaje del agua alrededor de los tallos; a medida que las plantas crecen, rompen y aflojan los lodos que se acumulan. Además, por la presencia de microorganismos benéficos, se produce la estabilización de la materia orgánica del lodo. Para el crecimiento de estos microorganismos, los rizomas son muy importantes, ya que la rizosfera es el área alrededor de las raíces, donde existe una mayor concentración de oxígeno; es un espacio amplio para el crecimiento de bacterias benéficas (Brix, 2017). En los humedales artificiales también se genera procesos de recuperación de nitrógeno

y fósforo, función de las plantas como la totora, ya que ellas facilitan el reciclaje de este tipo de macronutrientes (Magloire y Tilley, 2009).

Por sus características, los humedales artificiales representan una alternativa viable para el tratamiento de lodos generados en la PTAR ubicada en la vereda La Floresta en el municipio de San Francisco del Líbano de Gualmatán (Nariño). Esta PTAR inició su operación en el año 2018 y, actualmente, reporta eficiencias del 90 % en reducción de carga orgánica (Alcaldía Municipal de Gualmatán - Nariño, 2020). Sin embargo, los lodos son entregados a la Empresa Metropolitana de Aseo de Pasto SA ESP (EMAS) para su disposición final, dado que la planta no cuenta con una unidad o componente para su tratamiento y/o estabilización. Las actividades de operación indican que es necesaria una extracción periódica de lodos, dos veces al año o cuando se presenta un exceso; no hacerlo ha provocado que, en ocasiones, se haga una disposición incorrecta de este residuo en el suelo, generando un lixiviado altamente contaminante, que no solo emite malos olores, sino que incrementa la presencia de vectores y roedores, lo que puede ser nocivo para los ecosistemas y la salud de la población cercana a la PTAR (Alcaldía Municipio de Gualmatán, 2018).

En concordancia con lo anterior, el objetivo de esta investigación fue diseñar un humedal artificial a escala laboratorio, para ser evaluado como alternativa para la reducción de humedad, coliformes fecales y totales, conductividad, sólidos volátiles, sólidos totales, sólidos disueltos, nitrógeno total, nitritos, nitratos y, aumento del pH en lodo generado por la PTAR.

Materiales y Métodos

Descripción de la Zona de Estudio

La PTAR de la quebrada Philisipi (Figura 1), se localiza en la vereda La Floresta, municipio de Gualmatán; tiene un área aproximada de 1600 metros cuadrados. Dada su ubicación en lo alto de los Andes, se puede distinguir dos tipos de clima: el frío, entre los 2.450 y 3.000 m s.n.m., con temperaturas de entre 10 °C y 11,6 °C y con un régimen de lluvias de entre 500 mm y 1000 mm anuales; y el páramo, de más de 3.000 m s.n.m., con una temperatura de entre 6 °C y 10 °C y lluvias que van desde los 1000 mm hasta los 1100 mm anuales; la población de la cabecera municipal de Gualmatán es de 2257 habitantes (Alcaldía Municipal de Gualmatán – Nariño, 2020).

Figura 1

Fotografía de la PTAR de Gualmatán



La PTAR es de tipo convencional; funciona por gravedad; recibe las AR provenientes de un alcantarillado combinado, producto del 87 % de la totalidad de aguas servidas del municipio de Gualmatán; el caudal de ingreso es de 7.6 l/s. La PTAR presenta diferentes procesos químicos, físicos y biológicos, para eliminar los contaminantes presentes en el agua efluente del uso humano (Alcaldía Municipio de Gualmatán, 2018).

El tren de tratamiento es un sistema de tratamiento preliminar y primario compuesto por unas rejillas, un desarenador y un tanque séptico; y, como tratamiento secundario, un filtro anaerobio de flujo ascendente; posee unos lechos de secado, como se aprecia en la Figura 2. Sin embargo, actualmente no están en funcionamiento de forma eficiente, debido a que el medio filtrante se encuentra colmatado.

Figura 2

Lechos de secado



En cuanto a su estructura, sus dimensiones son: 2.10 m de ancho, 3.70 m de largo y 1,70 m de profundidad. La extracción de lodos se realiza dos veces en el año, para evitar su colmatación y dar paso a que el porcentaje de lodo tratado sea mayor.

Descripción del muestreo del lodo de la PTAR de Gualmatán

Para el desarrollo del proyecto, se hizo una caracterización inicial, donde se dividió el lecho en tres secciones; se tomó tres muestras superficiales y otras tres muestras a una profundidad de 50 cm (Figuras 3 y 4). Luego fueron homogenizados los tres puntos tomados en superficie y, depositados en un recipiente que ya había sido purgado; lo mismo se hizo para los tres puntos tomados a profundidad. Para la determinación de los parámetros fisicoquímicos en laboratorio se tomó tres muestras: una, correspondiente a la superficie, otra de profundidad y una tercera muestra de mezcla entre profundidad y superficie.

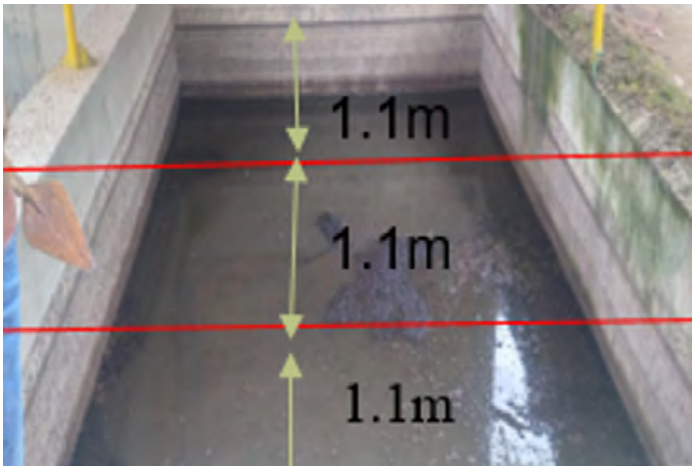
Figura 3

Lodo proveniente de la PTAR de Gualmatán



Figura 4

Muestreo del lodo



Caracterización del lodo

Posteriormente, se realizó la determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del lodo (Figuras 5 y 6) en el campus Alvernia de la Universidad Mariana, ubicado a 1 km de la ciudad de Pasto, en el corregimiento de Mapachico. Con los resultados obtenidos se llevó a cabo la caracterización del lodo, teniendo en cuenta el Decreto 1287 de 2014, en cuanto al manejo de biosólidos.

Para la determinación de estos parámetros se siguió la metodología estándar de métodos sobre calidad del agua; los parámetros fueron: porcentaje de humedad, coliformes fecales y totales, conductividad, sólidos volátiles, sólidos totales, sólidos suspendidos, nitrógeno total, nitritos, nitratos y el pH.

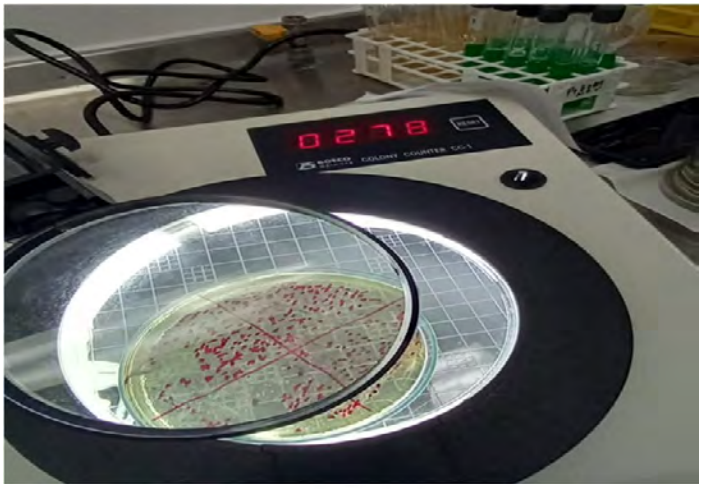
Figura 5

Caracterización fisicoquímica del lodo



Figura 6

Caracterización microbiológica del lodo



Metodología para la identificación de variables de diseño

La identificación de las principales variables de diseño para el lecho plantado se realizó a través de las bases de datos de Redalyc, Scopus, Science direct; las frases clave de búsqueda fueron: *drying beds for sludge with plants* y *wetlands for sludge treatment*. Posteriormente, para el dimensionamiento de los lechos plantados, se tuvo en cuenta los resultados obtenidos en la identificación de las principales variables de diseño, en donde se encontró el valor del área de los lechos plantados mediante la ecuación tasa de carga basada en el área per cápita.

La construcción del humedal a escala laboratorio se realizó en el campamento de suelos en la Universidad Mariana, Campus Alvernia, el cual tiene una extensión aproximada de ocho hectáreas y consta de cinco bloques y diez espacios deportivos.

Resultados y análisis sobre la caracterización del lodo

Con relación a la caracterización fisicoquímica y microbiológica del lodo, se obtuvo los siguientes resultados:

- **Conductividad y pH**

La conductividad indica la cantidad de sales solubles; si hay demasiadas sales en los suelos, las plantas no pueden absorber el agua o nutrientes. El estudio es de suma importancia para las plantas de totora dado que, si existen grandes cantidades de sales a estas se les dificultará la asimilación de nutrientes y de agua; además, si se quiere utilizar el lodo tratado en cultivos, esta variable puede ser un limitante. En algunas caracterizaciones de lodo, la conductividad va desde los 0.88-6.7 mS/cm, (Castellanos-Rozo et al., 2018); si se sobrepasa los 4 mS/cm, se puede limitar el desarrollo de algunas plantas (Intagri, 2018). La conductividad en la Figura 7 no presenta grandes variaciones; los rangos oscilan entre los 3 a 4 mS/cm; sin embargo, en los tres puntos de muestreo hubo diferencias significativas, según el análisis de Tukey: los puntos de profundidad y superficie no evidenciaron diferencias significativas, pero, el punto de mezcla sí, debido a que la muestra de mezcla se tuvo almacenada en un recipiente con mayor volumen y hermeticidad, respecto al recipiente de profundidad y superficie.

El pH del lodo es la medida de la acidez o basicidad del mismo; afecta directamente la disponibilidad de nutrientes en el lodo (Kluepfel et al., 2012). La determinación del pH es esencial en este estudio, debido a que, generalmente, los lodos provenientes de las PTAR presentan valores de pH muy ácidos que deben ser estabilizados, incrementado el valor del pH (Galvis y Rivera, 2013); los rangos de pH del lodo van de 5.5 a 9 (Castellanos-Rozo et al., 2018). En la Figura 8 se observa que hay diferencias significativas en los tres puntos de muestreo; considerando el análisis de Tukey, se presentó un rango de pH de 5 a 5.2. El valor más alto de pH estuvo en la muestra de mezcla; es decir, que el lodo presenta un pH ácido, el cual, según Ruiz y Quevedo (2017) debe encontrarse entre 6.5 y 8.

Figura 7

Conductividad de los lodos provenientes de la PTAR

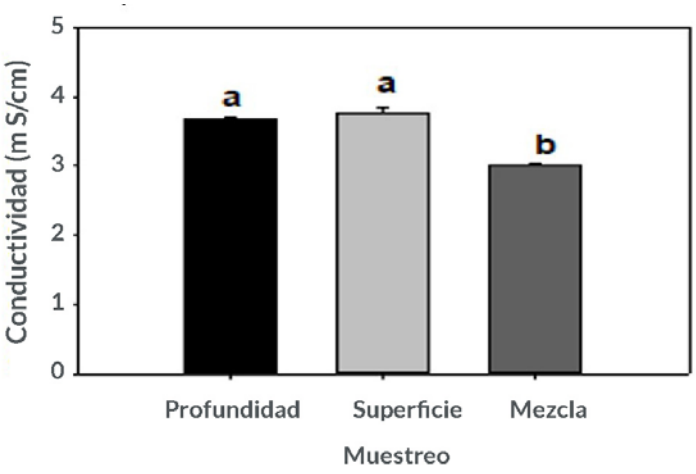
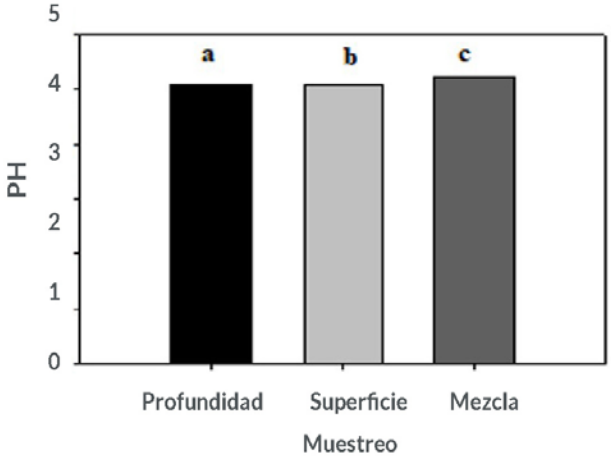


Figura 8

pH de los lodos provenientes de la PTAR

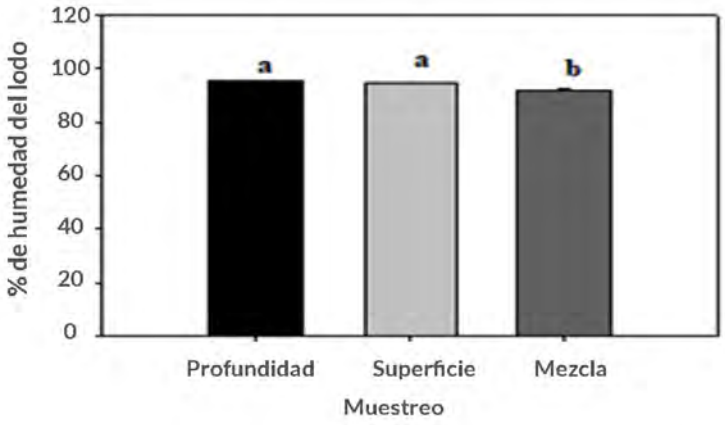


- **Humedad**

Cualquier materia está compuesta por dos fracciones primarias: materia seca y, cierta cantidad de agua. En los lodos, la cantidad de agua es fundamental para la determinación de la reducción del volumen de los mismos, debido al espacio que ocupan en el tratamiento; y, sirven para la determinación de la eficiencia del lecho de secado en presencia de plantas (Galvis y Rivera, 2013). Los rangos de porcentaje de humedad van del 72 al 97 % (Torres-Lozada et al., 2015; Castellanos-Rozo et al., 2018).

Figura 9

Humedad de los lodos provenientes de la PTAR



El parámetro de humedad es significativo ya que, al reducir la humedad, se reduce el volumen del lodo, ya que este tiene un coste/ m^3; por lo tanto, se generaría una reducción de costos significativos (Martínez, 2008).

En la Figura 9 se observa que el porcentaje de humedad en el lodo es mayor al 90 %, lo que concuerda con los estudios de Torres-Lozada et al. (2015) y Castellanos-Rozo et al. (2018) sobre los rangos de humedad. Según el análisis de Tukey, en los puntos de superficie y profundidad no hubo diferencias significativas en el porcentaje de humedad.

- **Coliformes totales y fecales**

Son bacterias aerobias y anaerobias facultativas; tienen forma de bacilos cortos; son patógenas; están presentes en los lodos provenientes de AR; pueden ser dispersadas por la acción del viento y vectores; pueden habitar en el intestino de los humanos y otros mamíferos, razón por la cual, en varias oportunidades han desatado brotes de infecciones a nivel mundial (Galvis y Rivera, 2013). Su determinación en laboratorio se realizó según el estándar de métodos: se tomó 10 ml de muestra de superficie y 10 ml de muestra del lodo a profundidad; para efectuar el conteo en cajas Petri se hizo cinco diluciones de la muestra, que fueron sembradas en dos medios y con dos técnicas de siembra. La determinación del número más probable de colonias se ejecutó en tubos de ensayo. La presencia de organismos patógenos en este estudio, las coliformes fecales, implica que se dificultó el aprovechamiento y disposición final de los lodos (Mancipe-Arias y Triviño-Restrepo, 2018).

Figura 10

Coliformes fecales de los lodos provenientes de la PTAR

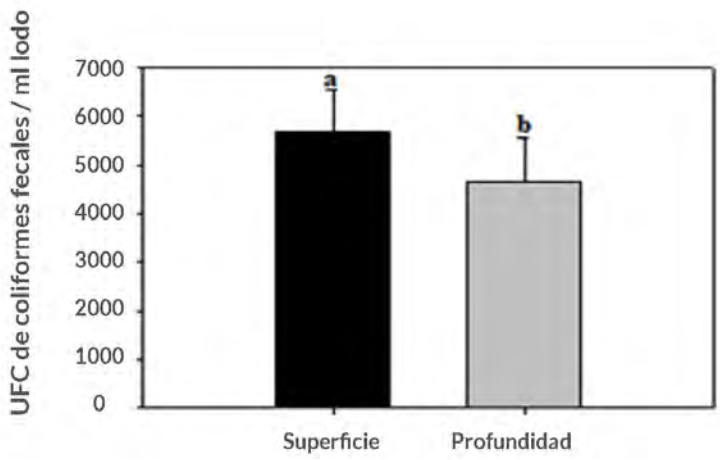
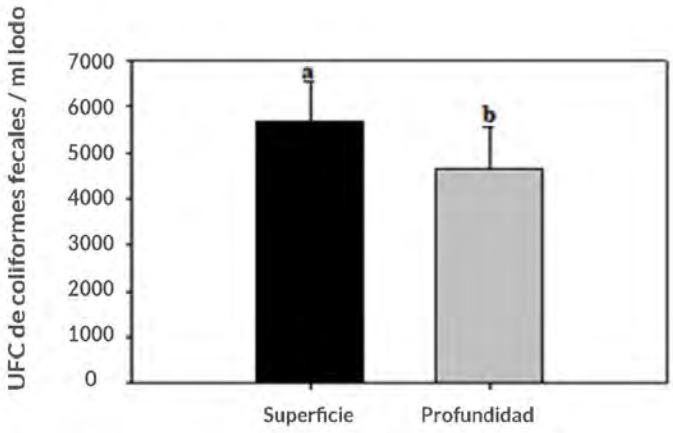


Figura 11

Coliformes totales de los lodos provenientes de la PTAR



En el parámetro de coliformes fecales (Figura 10) se evidencia que las unidades formadoras de colonias sobrepasan el límite máximo permisible que es de, 2000 UFC/g, según el Decreto 1287 de 2014. También se observa que, la cantidad de coliformes fecales fue mayor en el punto de superficie.

En cuanto a coliformes totales (Figura 11), se aprecia que hubo una menor cantidad de UFC/ml en el muestreo de la superficie del lodo, respecto al muestreo de profundidad; esto se debe a que puede haber mayor acumulación de sustrato en la profundidad del lodo, lo que genera mejores condiciones para las bacterias.

- **Sólidos totales y volátiles**

Los sólidos totales (Figura 12) son los que quedan como residuos después de una evaporación de 103 a 105 °C; es la cantidad de fracción sólida que sale de cada tratamiento en la PTAR.

Por otra parte, los sólidos volátiles, como son presentados en la Figura 13, indican la fracción orgánica de los sólidos contenidos en los lodos y el grado de digestión que estos ostentan; su medición es importante debido a que la materia orgánica es un sustrato para el crecimiento de microorganismos y la proliferación de fauna nociva (Mancipe-Arias y Triviño-Restrepo, 2018).

Figura 12

Sólidos totales de los lodos provenientes de la PTAR

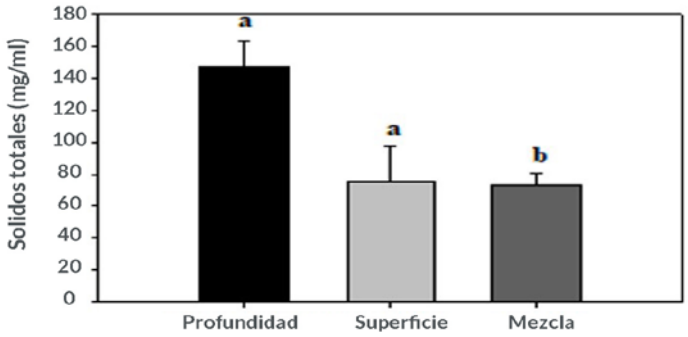
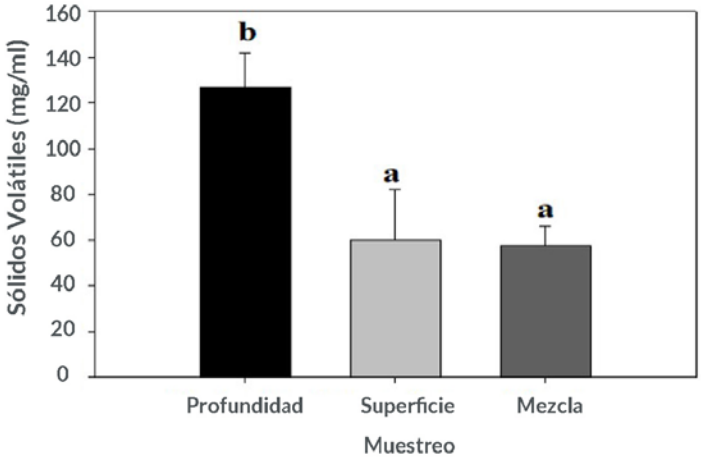


Figura 13

Sólidos volátiles de los lodos provenientes de la PTAR



En la Figura 13 se evidencia que, la concentración de sólidos volátiles en las muestras de superficie y de mezcla, contienen una menor concentración con respecto a la muestra de profundidad dado que, en la parte superficial del lecho de secado hay una menor concentración de sólidos.

Igualmente, se evidencia que la concentración de sólidos totales con respecto a un litro de muestra de lodo (Figura 12), fue mayor en la muestra de profundidad, debido a que en la profundidad del lecho hay mayor acumulación de sólidos.

- **Nitrógeno total Kjeldahl y nitratos**

Los lodos pueden contener materia orgánica biodegradable, nitrógeno, fósforo y otros micronutrientes, que lo convierten en enmienda orgánica, con un debido tratamiento. El nitrógeno total determina las oportunidades del uso final de los lodos y el tratamiento necesario para el efluente. Es factible recuperar el nitrógeno (N) y el fósforo (P) para usos benéficos, pero si son descargados de forma desordenada al ambiente, pueden causar daños al suelo y al agua. No obstante, en el estudio son fundamentales, ya que son nutrientes que ayudan al crecimiento de las plantas en el humedal artificial (Hanna Instruments, 2020).

Referente a los nitratos, aproximadamente el 90 % del nitrógeno que absorben las plantas está en forma de ellos. Estos pueden llegar al suelo de tres formas: a través de fertilizantes, por descomposición de materia orgánica y, por estiércol animal; en el caso del estudio, fue por el estiércol de humanos (Grupo Sacsa, 2015). Generalmente, en los lodos, los nitratos van de rangos de 0.18 a 4.81 mg/l. (Bari et al., 2012).

Figura 14

Nitrógeno total Kjeldahl de los lodos provenientes de la PTAR

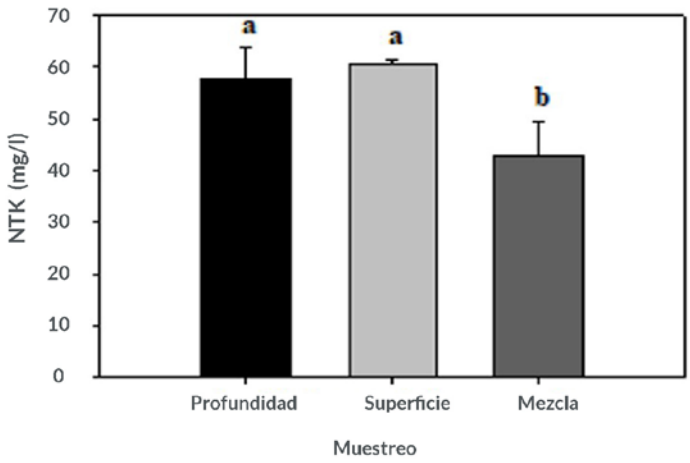
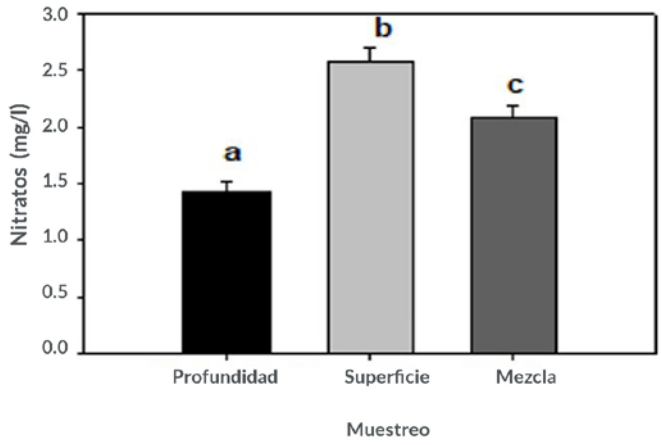


Figura 15

Nitratos en (mg/l) de los lodos provenientes de la PTAR



Según el análisis de Tukey, no hubo diferencias significativas en los tres puntos de muestreo en cuanto a la concentración del nitrógeno total Kjeldahl; es decir, que los dos puntos de superficie y profundidad tuvieron una buena concentración, la cual fue de 42 a 60 mg/l.

Los nitratos son necesarios para el crecimiento de las plantas. En el caso del estudio, para el crecimiento de las plantas de totora, el rango de nitratos fue de 1.4 a 2.5 mg/l; la mayor concentración de los mismos se presentó en la muestra de superficie.

- **Nitritos y sólidos suspendidos**

Generalmente, los nitritos no se acumulan, pues varios microorganismos los transforman rápidamente a nitratos (Grupo Sacsa, 2015); estos van de rangos de 0 a 0.82 mg/l (Bari et al., 2012).

Figura 16

Nitritos en (mg/l) de los lodos provenientes de la PTAR

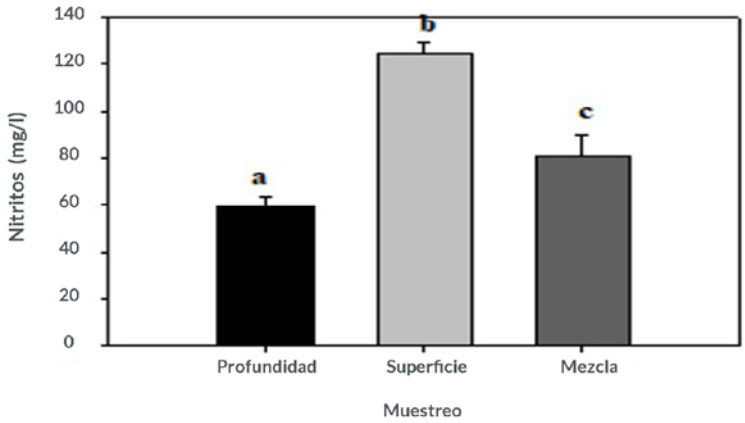
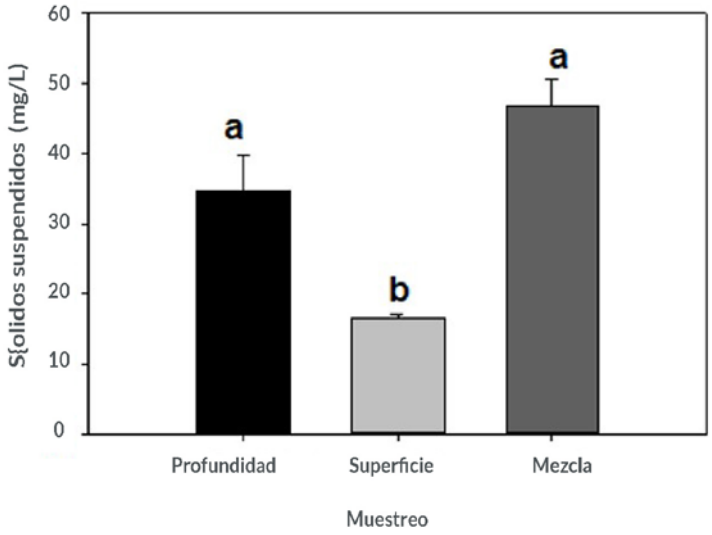


Figura 17

Sólidos suspendidos (mg/l) de los lodos provenientes de la PTAR



Los nitritos son compuestos del nitrógeno que es usado por las plantas. En el caso de estudio, por las plantas de totora, las cuales lo absorben y, posteriormente, lo devuelven en forma de gas al aire; el rango de nitritos fue de (mg/l); los rangos van de 59 a 124 mg/l.

En cuanto a los sólidos suspendidos, se evidencia que hubo una mayor concentración en la muestra de mezcla; se aprecia diferencias significativas en las muestras de profundidad y superficie, con respecto a la muestra de mezcla.

Resultados y análisis de la caracterización del lodo

Como se evidencia en el Decreto 1287 de 2014 en cuanto a coliformes fecales, los lodos caracterizados no se ubican en ninguna categoría, ya que sobrepasan las 2000 UFC/g en base seca de biosólido; el objetivo de la implementación del lecho plantado es llevar a estos lodos a una categoría B, en la cual pueden ser empleados: en agricultura, plantaciones forestales, en la recuperación, restauración o mejoramiento de suelos degradados, como insumos en procesos de elaboración de abonos o fertilizantes orgánicos o productos acondicionadores para suelos a través de tratamientos físicos, químicos y biológicos que modifiquen su calidad original. Sin embargo, para utilizarlos en estas actividades se debe reducir la cantidad de UFC de coliformes fecales, para que su valor esté entre el rango de lo que exige la norma, como se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1

Valores máximos permisibles, categoría A y B en cuanto a coliformes fecales

Parámetro	Unidad de medida	Valores Máximos permisibles
Coliformes fecales	UFC/g biosólido en base seca	Categoría A.<1*10^3
		Categoría B <2*10^3

Nota: Manejo de biosólidos a raíz de la nueva normatividad en la PTAR río Frío, Bucaramanga (Santander).

Fuente: López (2015)

El tipo de lodo generado en la PTAR de Gualmatán es un lodo digerido, pues presentó un color negro, con olor a tierra; este se da en los procesos de digestión anaerobia y, en la PTAR se encuentra un filtro anaerobio de flujo ascendente. En cuanto a la cantidad de materia orgánica de los lodos digeridos, está entre un 45 y un 60 % (Lenntech, s.f.). En el estudio se observó valores de materia orgánica del 50 al 70 %. Estos resultados evidencian que los lodos contienen un buen porcentaje de materia orgánica; además, los parámetros de humedad cumplen con los valores típicos, que van por encima del 90 % (Metcalf y Eddy, 2014).

Resultados y análisis del diseño de los dos humedales artificiales a escala laboratorio

Con los resultados obtenidos en la identificación de las principales variables de diseño se encontró el valor del área de los humedales artificiales mediante la ecuación tasa de carga basada en el área per cápita (Tabla 2).

Tabla 2

Principales variables para el lecho plantado

Variables de diseño	Autor				
	Dotro et al. (2017)	**Magri et al. (2016)**	**Panvatvarich et al. (2009)**	**Peruzzi et al. (2008)**	**Tshrinitzis y Stefanakis (2012)**
Tasa de carga basada en área	200 a 250 kg ST/ m2*año	150 kg de sólidos totales/ m2*año	250 kg/m2 *año	30,60,75 kg/m2*año	30, 60 y 75 kg dm/m2/ año

Tasa de carga basada en área per cápita	1.5 a 4 hab-eq/ m2	0.8 m2	0.6 m2	75 m2	Tanques cilíndricos plásticos de 1.5 m de altura, diámetro de 0.82 m
Profundidad aproximada	2.5 m				
Medio filtrante	0.6 a 0.7 m	0.75 m			
Acumulación de lodos	1.7 a 1.8 m	50 cm			
Periodo de vaciado	8 a 10 años				
Reducción de sólidos luego de tratamiento	20 a 40 %				
Reducción de volátiles	25 a 30 %				

Finalmente, se realizó el dimensionamiento del lecho plantado a escala real, teniendo en cuenta la población de la cabecera municipal de Gualmatán, obteniendo el área requerida del lecho plantado, mediante el parámetro de tasa de carga basada en área per cápita.

Tabla 3

Criterios de diseño para el lecho planteado a escala real.

Criterio		Rango recomendado
Área equivalente	4	1.5 a 4 hab-eq/m^2
Población (Cabecera)	2257	Habitantes
Población (Laboratorio)	0,15	
Área requerida a escala real	564	m^2
Área requerida (laboratorio)	0,0375	m^2
Diámetro	0,22	M

Para el dimensionamiento del medio filtrante a escala laboratorio, se tuvo en cuenta una relación entre la altura total del lecho plantado a escala piloto, en torno al medio filtrante y, la altura de la capa de acumulación de lodos, en donde la capa de lodos representa un 70 % de la altura total del lecho plantado y el medio filtrante, el 30 %, como se presenta en la Tabla 4. Posteriormente, se aplicó esta relación a escala laboratorio, en donde se obtuvo que, la altura total del lecho a escala laboratorio, la acumulación de lodos y la capa filtrante, obtuvieron las dimensiones presentadas en la Tabla 5.

Tabla 4

Relación altura total del lecho plantado a escala piloto con la altura del medio filtrante y la altura de la capa de acumulación de lodos.

H (altura típica total del lecho plantado)	2,5	m
h1 medio filtrante	0,8	m
h2 acumulación de lodos	1,7	m
Relación h1/H	0,3	
Relación h2/H	0,7	

Tabla 5

Dimensiones lechos plantados a escala laboratorio

Dimensiones de los lechos plantados a escala laboratorio	Dimensiones	Unidades
Altura lechos plantados	0,4	m
Altura lechos plantados		
Diámetro	0,27	m
Área	0,06	m2
Altura capa de acumulación de lodos (h2)	0.24	m
Altura medio filtrante (h1)	0.12	m
Altura total del lecho plantado(H)	0.36	m
Borde libre	0.04	m

Después, se hizo una relación de las capas de medio filtrante a escala piloto, considerando fuentes bibliográficas en donde se determinó que la capa de grava gruesa tenía un porcentaje aproximado del 57 % del espesor total del medio filtrante, un 29 % para el espesor de grava media y, un 14 % de grava fina, lo que a escala laboratorio representa unas dimensiones para el medio filtrante de 7 cm de grava gruesa, 3 cm de grava media y 2 cm de grava fina, como se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6

Capas de medio filtrante, porcentaje espesor capa filtrante y diámetro de la granulometría y dimensiones a escala laboratorio del lecho plantado

Tipo de capa filtrante y diámetro de la granulometría	Escala piloto	Unidades	Porcentaje del espesor de la capa del medio filtrante	Dimensiones a escala laboratorio
Capa de drenaje, adoquín o piedras, diámetro 30 mm	40	cm	57 %	0.07 m
Grava mediana, diámetro 15 mm	20	cm	29 %	0.03 m
Grava fina, diámetro 6 mm	10	cm	14 %	0.02 m
h1 (Altura total medio filtrante)	70	cm	100 %	0.12 m
PVC de aireación	50	mm	Diámetro	0,00635

Con las dimensiones calculadas se realizó los planos del humedal a escala laboratorio en la herramienta AutoCAD. La implementación de los humedales se hizo en el campus de la Universidad Mariana, como se evidencia en la Figura 18.

Figura 18

Planos de los humedales en el software AutoCAD. Vista lateral del humedal

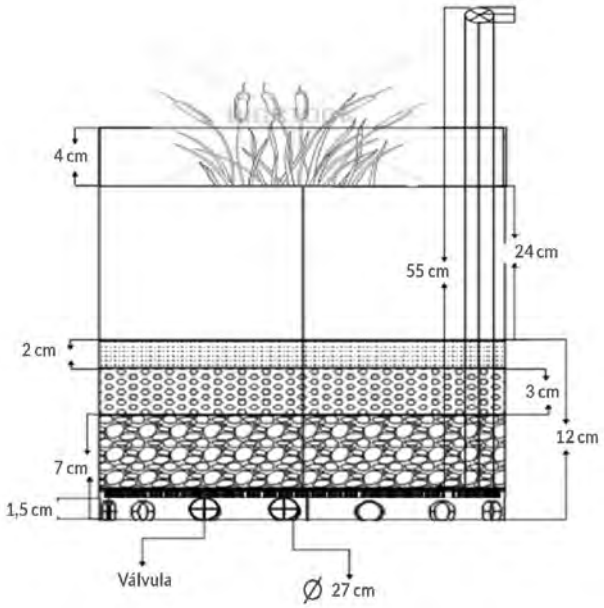


Figura 19

Humedales plantados a escala laboratorio



Conclusiones

El lodo proveniente de la PTAR del municipio de Gualmatán no cumple con los límites máximos permisibles, según el Decreto 1287 de 2014, en cuanto a coliformes fecales, por lo cual es necesario aplicar el tratamiento propuesto. La tasa de carga basada en área per cápita permite el dimensionamiento del lecho plantado. La construcción y funcionamiento del lecho es sencilla; no requiere gran inversión; se puede encontrar los materiales de forma fácil dentro del entorno local y, se puede ser utilizar en comunidades pequeñas.

Referencias

Alcaldía Municipio de Gualmatán. (2018). Aguas residuales PTAR Floresta. https://colombialicita.com/licitacion/84241547

Alcaldía Municipal de Gualmatán - Nariño. (2020). Plan de Desarrollo 2020-2023. http://www.gualmatan-narino.gov.co/normatividad/plan-de-desarrollo-20202013

Bari, M., Shipon, A., Shuvo, B., Tathun, F., & Rasel, H. (2012). Characterization of septic tank sludge for using as a potential substrate for bio-products. *1st International Conference on Advances in Civil Engineering*. https://www.researchgate.net/publication/308306387_CHARACTERIZATION_OF_SEPTIC_TANK_SLUDGE_FOR_USING_AS_POTENTIAL_SUBSTRATE_FOR_BIO-PRODUCTS

Brix, H. (2017). Sludge dewatering and mineralization in sludge treatment reed beds. *Water 9*(3), 2-9. https://doi.org/10.3390/w9030160

Castellanos-Rozo, J., Merchán, N. A., Galvis, J. y Manjarres, E. H. (2018). Deshidratación de los lodos en lecho de secado y su influencia sobre la actividad biológica de los microorganismos. *Gestión y Ambiente*, *21*(2), 242-251. https://doi.org/10.15446/ga.v21n2.75876

Decreto 1287 de 2014. (2014, 10 de julio). Presidencia de la República de Colombia. https://minvivienda.gov.co/normativa/decreto-1287-2014

Galvis, J. y Rivera, X. (2013). *Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lodos presentes en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales (PTARI) de la empresa Jugos Hit de la ciudad de Pereira* [Tesis de Pregrado, Universidad Tecnológica de Pereira]. https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/2157dcb6-205c-44ae-abfc-90b4c65d53e3/content

Grupo Sacsa. (2015). *Importancia de los nitratos y fosfatos*. https://www.gruposacsa.com.mx/importancia-de-los-nitratos-y-fosfatos-en-las-plantas/

Hanna Instruments. (2020). Determinación de nitrógeno total Kjeldahl. https://www.hannacolombia.com/blog/post/85/determinacion-nitrogeno-total-kjeldahl

Intagri. (2018). La conductividad eléctrica del suelo en el desarrollo de los cultivos. https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-conductividad-electrica-del-suelo-en-el-desarrollo-de-los-cultivos

Kluepfel, M., Lippert, B., y Williamson, J. (2012). Cambiando el pH del Suelo. https://hgic.clemson.edu/factsheet/cambiando-el-ph-del-suelo/

Lenntech. (s.f.). Tratamiento biológico. https://www.lenntech.es/tratamiento-biologico.htm

López, A. (2015). *Manejo de biosólidos a raíz de la nueva normatividad en la PTAR río Frío, Bucaramanga (Santander)*. [Tesis de Especialización, Universidad Militar Nueva Granada]. https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/6296/Trabajo%20final%20UMNG.pdf;jsessionid=8F04F89022A7E7769E51AA37FC31C567?sequence=1

Magloire, I. y Tilley, E. (2009). Lechos de secado con plantas. https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/EWM/FSM_Libro_low_res/manejo_fsm_cap8_120ppi.pdf

Mancipe-Arias, L. M. y Triviño-Restrepo, M. P. (2018). Valoración de lodos de planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) como materia prima para la extracción de lípidos en la obtención de biodiesel. *Revista ION*, *31*(1), 74-75 http://dx.doi.org/10.18273/revion.v31n1-2018012

Martínez, A. (2008). *Reducción de volumen de lodos de planta de tratamiento de aguas urbanas vía filtración* [Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso]. http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-8500/UCI8575_01.pdf

Metcalf & Eddy. (2014). *Solutions Manual. Wastewater engineering: Treatment and Resource* (5th ed.). McGraw-Hill Education.

Rojas, R. y Espinosa, L. (2012). Utilización de biosólidos para la recuperación energética en México. *Producción Más Limpia*, *7*(2), 74-94.

Ruiz, A. P. y Quevedo, L. A. (2017). *Análisis de los lodos provenientes del proceso de tratamiento de aguas residuales del municipio de Guatavita* [Tesis de Pregrado, Universidad Católica de Colombia]. https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/14811

Smart Water Summit. (2022). Los humedales artificiales, un potencial para el tratamiento de lodos en pequeñas poblaciones. https://www.iagua.es/noticias/dam-aguas/humedales-artificiales-potencial-tratamiento-lodos-pequenas-poblaciones

Torres-Lozada, P., Silva-Leal, J. A., Parra-Orobio, B. A., Cerón-Castro, V. y Madera-Parra, C. A. (2015). Influencia de la aplicación de biosólidos sobre el suelo, la morfología y productividad del cultivo de caña de azúcar. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, *18*(1), 69-79. https://doi.org/10.31910/rudca.v18.n1.2015.455

Uggetti, E., Ferrer, I., Llorens, E., & Garcia, J. (2010). Sludge treatment wetlands: A review on the state of the art. *Bioresource Technology*, *101*(9), 2905-2912. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.11.102

Remediación de suelos degradados con glifosato a partir de enmiendas orgánicas a escala laboratorio

Dayana Vanesa Abahonza de la Cruz[1]

Oswal Andrés Benavides Mejía[2]

Cristian Polo Fajardo Escobar[3]

Jenny Lucía Huertas Delgado[4]

Resumen

El uso de agroquímicos constituye una problemática ambiental en cuanto al deterioro del suelo, debido a procesos erosivos resultantes de la afectación de la matriz. En la presente investigación se evaluó el proceso de remediación de las propiedades fisicoquímicas de un suelo contaminado por el agente químico glifosato, a partir de diferentes enmiendas orgánicas y así, encontrar cuál es la enmienda más eficaz en cuanto a la recuperación de sus componentes. Para ello se tomó muestras de un suelo al que se le aplicó el herbicida y la enmienda; se realizó las mediciones de parámetros como materia orgánica, densidad aparente, capacidad de intercambio catiónico y pH a los 7, 15, 30 y 60 días. Los datos fueron analizados con los programas SPSS y Sigma Plot. Los resultados determinaron que, el abono orgánico presentó mejor comportamiento frente al proceso de remediación, debido a la diferencia en los valores de densidad aparente, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico. Se logró determinar que, la eficiencia de las enmiendas orgánicas está ligada a su composición; asimismo, se debe considerar factores como tiempo de maduración, carga de elementos o nutrientes, dosis y tiempo de dosificación.

Palabras clave: glifosato; enmiendas orgánicas; remediación de suelo; SPSS.

[1] Universidad Mariana, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Ambiental, Colombia. Correo: daabahonza@umariana.edu.co

[2] Universidad Mariana, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Ambiental, Colombia. Correo: oswabenavides@umariana.edu.co

[3] Universidad Mariana, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Ambiental, Colombia. Correo: crisfajardo@umariana.edu.co

[4] Universidad Mariana, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Ambiental, Colombia. Correo: jlhuertas@umariana.edu.co

Introducción

El suelo es uno de los recursos más importantes considerados para la vida, por lo que un suelo contaminado o, que ha sufrido un cambio en sus características físicas, químicas o biológicas, podría resultar incompatible con sus propiedades funcionales de uso en cuanto al desarrollo ecológico; por lo tanto, supondría una amenaza grave para la salud de los seres vivos y el ambiente en donde se desarrolla, puesto que les brinda a las especies vegetales y animales, un espacio para su subsistencia y, de manera directa, un beneficio a los humanos (Vargas et al., 2020). En consecuencia, la alteración del suelo debido a la incorporación antropogénica de sustancias ajenas, es uno de los temas de estudio con más énfasis en la actualidad por los diferentes problemas ambientales y la amenaza real a la salud pública que ha causado (Vargas et al., 2020). Entre los agentes contaminantes que impactan negativamente al suelo están los herbicidas, fungicidas y plaguicidas.

Actualmente, existen diversas técnicas de remediación de suelos, como las enmiendas orgánicas. Segura y Agüero-Alvarado (1997) afirman que

> las enmiendas orgánicas son el resultado de la composta (degradación u oxidación) de materiales de origen animal o vegetal y tienen la capacidad de reducir los productos químicos que son agregados al suelo; además, tienen como objetivo, estimular la vida microbiana y la nutrición de las plantas; estas varían en su composición química de acuerdo al proceso de elaboración, duración del proceso, actividad biológica y tipos de materiales que se utilice. (p. 104)

…con la finalidad de evaluar la recuperación de las propiedades fisicoquímicas del suelo a escala laboratorio y, de la misma manera, lograr disminuir los costos de la propuesta.

La presente investigación se basa en el estudio de tres enmiendas orgánicas para la remediación de suelos contaminados por la fumigación, implementando el uso de herbicidas como el glifosato y así, encontrar la más beneficiosa para este tipo de casos. Para ello, se plantea extraer muestras de un suelo correspondiente a la zona altoandina del municipio de Pasto, en inmediaciones del río Bobo, Nariño. Con ello se pretende desarrollar un proceso de contaminación controlada, adicionando glifosato a las muestras de suelo recolectadas; seguido a esto, se incorpora tres tipos de enmiendas diferentes; una se obtiene a partir de lodos provenientes de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR); otra tiene origen del estiércol de cuy y abono orgánico y, la última, mediante un proceso denominado como vermicompostaje (bio-oxidación y estabilización de la MO por la acción combinada de lombrices), todas ellas, estabilizadas previamente. Este proceso se realiza para determinar qué tipo de enmienda orgánica obtiene mejor rendimiento respecto a la restauración de las muestras contaminadas.

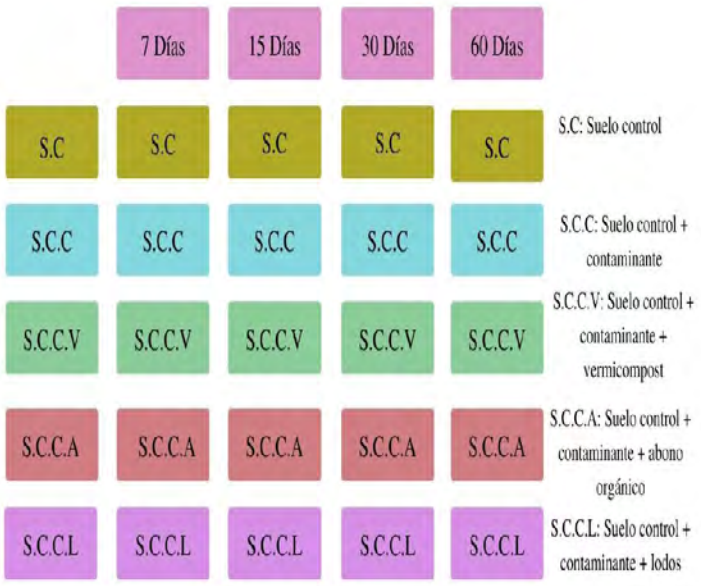
Metodología

Se hizo 25 muestras con cuatro repeticiones cada una, en tiempos determinados, los cuales fueron: 7, 15, 30 y 60 días; las muestras fueron tomadas de un suelo que se encontraba en buenas condiciones, en los cuales se pudo realizar los análisis necesarios para verificar la variación de la MO, pH, CIC y densidad aparente (DA). Estas muestras fueron ubicadas en recipientes de plástico, teniendo en cuenta las diferentes variables de respuesta de los parámetros del suelo.

El muestreo de suelo se llevó a cabo en el corregimiento del río Bobo, en el departamento de Nariño, en un terreno dedicado principalmente a la agricultura, intercambiando siembras de papa, maíz y arveja. El terreno posee un área de 3.750 m^2; el muestreo consistió en realizar un recorrido en zigzag haciendo un muestreo sistemático, tomando una muestra de suelo por cada punto especificado. Se trabajó el muestreo realizado con pala y haciendo un corte en V en el suelo, extrayendo 4 kg del mismo que, posteriormente, fueron guardados en una bolsa hermética, para trasladarlos al laboratorio, efectuar la respectiva contaminación con glifosato y, agregar las diferentes enmiendas orgánicas para comenzar el proceso de remediación propuesto en esta investigación. Este trabajo se realizó *ex situ*, en el laboratorio.

Figura 1

Diseño de experimentos (Presente estudio)



En el laboratorio se hizo tres repeticiones por cada parámetro medido en cada uno de los días de análisis, como se aprecia en la Tabla 1.

Tabla 1

Repeticiones por parámetro en cada uno de los días (presente estudio)

Parámetro	Días de muestreo	Repeticiones	Total de repeticiones
pH	7	3	12
	15	3	
	30	3	
	60	3	
Materia orgánica (%)	7	3	12
	15	3	
	30	3	
	60	3	
Capacidad de intercambio catiónico	7	3	12
	15	3	
	30	3	
	60	3	
Densidad aparente	7	3	12
	15	3	
	30	3	
	60	3	

Para cada uno de los parámetros medidos se empleó técnicas específicas que se describe a continuación:

Tabla 2

Pruebas de laboratorio usadas para medir los parámetros fisicoquímicos (presente estudio)

PARÁMETRO FISICOQUÍMICO	PRUEBA DE LABORATORIO
Materia orgánica	Método de Walkley y Black
Potencial de hidrogeno (pH)	Empleando potenciómetro (pH metro)
Densidad aparente	Método del cilindro graduado.
Capacidad de intercambio catiónico	Titulación con NaOH

Para la determinación de propiedades químicas, las muestras fueron secadas y homogeneizadas para su posterior trituración y tamizado, en malla de 2mm, de tal manera que fuera posible eliminar gránulos de gran tamaño y, su análisis, más eficiente.

Resultados y Discusión

Para la caracterización inicial del suelo se procedió a realizar una calicata, como se muestra en la Figura 2.

Figura 2

Calicata realizada en el lugar de extracción del suelo (presente estudio)



De suerte que sea posible evidenciar los horizontes de la misma y realizar extracción de muestras; se evidencia los resultados en la Tabla 3:

Tabla 3

Caracterización del perfil de suelo (estudio actual)

Horizonte	Profundidad (cm)	Textura	Estructura	Munsell color	Color	Moteados	Raíces
H1	0-15	Franco Arcilloso	Granular	10YR2/2	Marrón muy oscuro	10YR7/1 Gris claro	Finas
H2	15-27	Franco Limoso	Granular	7.5YR3/4	Marrón oscuro	10Y2/2 Amarillo muy oscuro	Finas
H3	27-43	Franco	Granular	10YR3/4	Marrón amarillento oscuro	5YR6/8 Amarillo rojizo	Finas
H4	43-57	Franco Arcilloso	Granular	7.5YR4/2	Marrón	Sin moteados	Finas
H5	57-69	Limoso	Granular	5Y2/2	Gris oliva oscuro	Sin moteados	Finas
H6	69-100	Franco Arcilloso	Granular	5Y2/2	Gris oliva oscuro	Sin moteados	Finas

Ya en laboratorio, se procedió a analizar las muestras y determinar parámetros fisicoquímicos del suelo control (suelo sin la enmienda y sin el agente contaminante), como seaprecia en la Tabla 4

Tabla 4

Propiedades fisicoquímicas del suelo control (estudio actual)

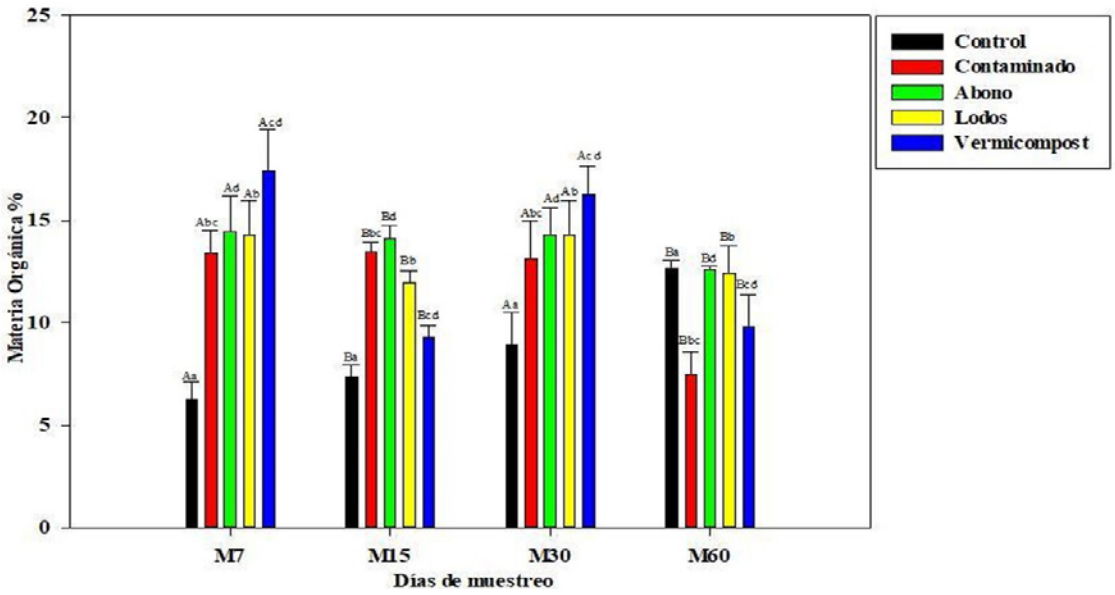
Repeticiones	**Suelo control**			
	Materia orgánica (%)	H	Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g)	Densidad aparente (g/cm^3)
Repetición 1	7.43	.9	3.06	0.7622
Repetición 2	7.51	.9	3.07	1.473
Repetición 3	7.59	.9	3.06	1.351
Promedio	7.51	.9	0.003	0.9815
Error estándar	0.046			0.11
Desviación estándar	0.08		0.005	0.19

Con relación a la caracterización del suelo control, se procedió a analizar las muestras de suelo con el agente contaminante y las enmiendas orgánicas (Abono orgánico, lodos residuales y vermicompost). Los resultados de las pruebas fueron analizados con el programa estadístico SPSS y SigmaPlot, con lo cual se obtuvo las siguientes figuras y análisis correspondientes:

Materia orgánica

Figura 3

Contenido de materia orgánica en los diferentes tratamientos (estudio actual)



Nota: Letras mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas (p ≤ 0.05) entre los periodos (días) de muestreo (M7, M15, M30 y M60). Letras minúsculas indican diferencias estadísticamente significativas (p ≤ 0.05) entre tratamientos de un mismo periodo de muestreo. Barras indican ± error estándar.

Los datos de MO muestran que existen diferencias significativas entre tratamientos (p ≤ 0,05) y por días de muestreo de 7 y 30 días, con respecto al muestreo de 15 y 60 días, comparando el suelo contaminado y la incorporación de enmiendas orgánicas ya que, según Rubenacker et al. (2011), la adición de enmiendas orgánicas puede influir positivamente en las propiedades fisicoquímicas del suelo, mejorando la CIC y MO, entre muchas otras propiedades del suelo. También se debe a que, el suelo remediado contiene incorporación de la enmienda orgánica, la cual estimula el crecimiento de los organismos vegetales como resultado del aporte de nutrientes al suelo (Cuevas et al., 2006).

Se sabe que, el glifosato adsorbe fuertemente los componentes del suelo (Cuervo y Fuentes, 2014) con relación a la MO. Según estudios realizados por Gerritse et al. (1996), la MO del suelo tiene un alto efecto sobre la absorción del glifosato,

herbicida organofosforado que tiene enlaces C-P. Así como Morillo et al. (2000) y Yu y Zhou (2005) afirman, la interacción entre el glifosato y el suelo está fuertemente relacionada con el contenido de MO, razón por la cual, existe un aumento de MO respecto al suelo contaminado.

Teniendo en cuenta la incorporación de las enmiendas orgánicas respecto al suelo, Restrepo (2007) menciona que este incremento se debe a la variedad de insumos orgánicos utilizados en la enmienda orgánica, como las cáscaras de frutas, verduras, estiércol del cuy, compuestos ricos en carbono y nitrógeno, ya que esto permite el incremento de los nutrientes en el suelo y, por ende, su fertilidad.

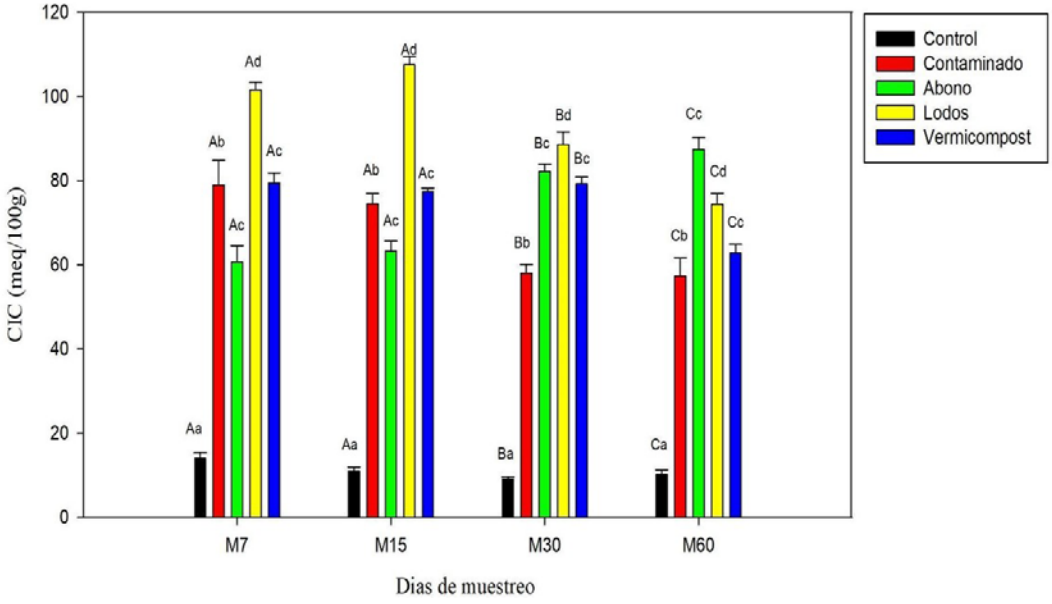
Según Rubenacker et al. (2011) y Restrepo (2007), este incremento se debe a la variedad de insumos orgánicos utilizados en las enmiendas, que son compuestos ricos en carbono, nitrógeno, azúcares, almidón y celulosa, los cuales, eventualmente, proporcionan la energía necesaria para el crecimiento y desarrollo microbiano. En el caso del tratamiento con agente contaminante sin enmienda, se evidencia el aumento en la captación de MO, debido a la disociación de las cadenas carbonadas que componen el agente herbicida, el cual es C3H8NO5P. No obstante, se ve un declive en el porcentaje de MO en el muestreo de 60 días; esto se refuerza con el estudio de Morillo et al. (2000), quienes concluyen que, el efecto del agroquímico puede deteriorar la cobertura vegetal en tiempos prolongados, como resultado de la inhibición de una enzima, sumado a la metabolización del glifosato por acción de microorganismos, el cual da origen a diversos productos de degradación, entre ellos, el ácido aminometilfosfónico o, mejor conocido, como AMPA.

Capacidad de intercambio catiónico

De acuerdo con la Figura 4, se evidencia que no existen diferencias significativas entre las pruebas de 7 y 15 días (M7 y M15); estas, a su vez, muestran diferencias significativas entre los 30 (M30) y 60 días (M60). De acuerdo con Arrieta (2017), esto se debe a la diferencia de nutrientes sintetizados en diferentes periodos y que intervienen en la interacción de iones positivos, como resultados de la retención y liberación de estos, ya sea como acción remediadora, en el caso de las enmiendas y, de degradación en el caso del herbicida (Goya-Castro, 2020). En cuanto a los diferentes tratamientos, es clara la diferencia significativa frente al suelo control y los demás tratamientos; esta es causada por la dinámica microbiológica que se origina a raíz de la captación, degradación, síntesis y sedimentación de los nutrientes y demás elementos orgánicos provenientes de las enmiendas orgánicas; esto es confirmado por Tarapuez (2016), quien encontró que los microorganismos descomponen carbohidratos, proteínas y monosacáridos existentes en el proceso de compostaje en el que se usa residuos sólidos orgánicos.

Figura 4

Capacidad de intercambio catiónico en diferentes tratamientos (estudio actual)



En cuanto a los tratamiento individuales, la enmienda con lodos ostentó la mayor CIC durante las primeras tres pruebas de laboratorio (M7, M15 y M30); esto se debe a la interacción microbiana de la enmienda, la cual, de acuerdo con Sandoval-Estrada et al. (2010), se fortalece debido a la sedimentación y estabilización de bacterias, helmintos y parásitos concentrados en los lodos, según su tiempo de retención hidráulica y procedencia de las aguas residuales (AR), ya sea de origen doméstico o industrial. No obstante, la baja CIC en la última prueba de laboratorio (M60) indica una disminución en la interacción iónica, la cual marca una tendencia respecto a los resultados de la prueba anterior (M30). Por su parte, Torres et al. (2005) pudieron evidenciar que las enmiendas orgánicas a base de lodos residuales presentan mayor actividad sintetizadora durante los primeros 25 días de aplicación; al no existir un aporte de alimento para los microrganismos, la curva dinámica de actividad microbiológica tendrá un declive, lo cual explica el comportamiento del tratamiento con el agente contaminante, ya que los microorganismos no tienen disponibilidad de insumos para degradar y, por lo tanto, no hay mayor presencia de interacción catiónica.

Con relación a la enmienda de abono y vermicompost, se determina que no existen diferencias significativas entre estos tratamientos ($p \geq 0,05$). Para Vázquez y Loli (2018), la velocidad de la descomposición orgánica por acción microbiológica la determinan los componentes celulares del agente proveedor de nutrientes; y, la condición térmica del área de tratamiento, es decir, algunos alimentos y demás, serán degradados con mayor facilidad que otros. A su vez, se debe considerar que el lugar en donde se llevó a cabo las pruebas presenta una baja temperatura, por lo que la dinámica de trabajo de los microorganismos se ve ligeramente reducida; esto

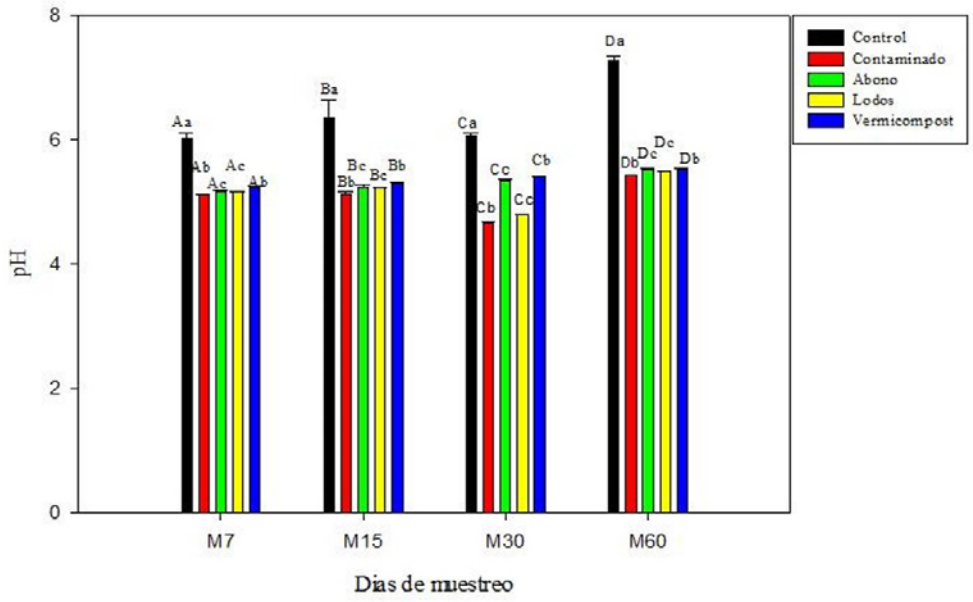
se corrobora con el estudio de Sánchez-Chávez et al. (2015), quienes concluyen que la cinética de degradación de vitaminas, carbohidratos, grasas y aminoácidos se ve influenciada de manera proporcional a la temperatura ambiental; las temperaturas entre 24 y 32 °C son ideales por el aporte energético que generan; potencializan el flujo de movimiento a los microbios y, la demanda de nutrientes para estos.

pH

La Figura 5 muestra que, en pH se obtiene diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en los cuatro tiempos de muestreo (7, 15, 30 y 60 días). Referente a los tratamientos, no hay diferencias significativas entre los suelos contaminado y vermicompost, al igual que el abono y lodos. Todos los suelos presentan un pH ácido, pero el que presentó un mejoramiento con respecto al pH es el suelo con abono y vermicompost, ya que se acercan más a un pH neutro.

Figura 5

Potencial de hidrógeno en los diferentes tratamientos (estudio actual)



En cuanto al abono, de acuerdo con Tortosa (2013), el pH aumentará debido a la degradación de compuestos de naturaleza ácida y a la mineralización de compuestos nitrogenados hasta la forma de amoníaco, actuando también el proceso de amonificación como un importante sumidero de protones y, por tanto, favoreciendo al aumento del pH. Debido a esta conducta y a su variación durante el proceso de compostaje, el pH se ha tomado como parámetro indicativo de la buena evolución del proceso.

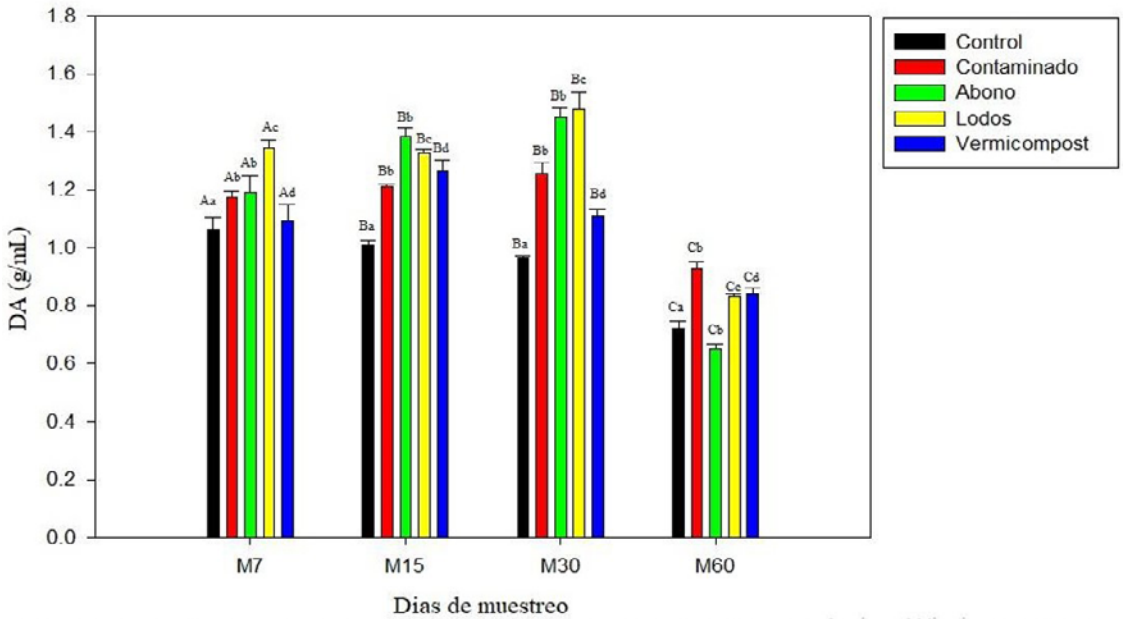
Densidad aparente

Como se puede evidenciar en la Figura 6, la DA como propiedad física, se ve influenciada por los elementos que entren en contacto con las fracciones de suelo; en este caso, los resultados indican que entre los muestreos de 15 y 30 días (M15 y M30) no existen diferencias significativas; sí las hay, tanto para el muestreo de 7 días (M7) como con el de 60 días (M60); esto se debe principalmente a que, a mayor tiempo, mayor proporción en la degradación de los nutrientes. Según Carrasco (2017), esto explica los resultados finales frente a los iniciales. Cabe resaltar que las enmiendas, en general, lograron reducir la DA respecto al tratamiento sin la enmienda orgánica y con el agente contaminante.

Casas (2007) encontró que, la actividad microbiológica con los nutrientes favorece la formación de polisacáridos, que son materiales sedimentables que contribuyen a la unión de las arcillas presentes en el suelo, mejorando notoriamente la formación de agregados, dando paso a un aumento en la porosidad. Por otra parte, se puede evidenciar un aumento en la DA durante los primeros tres muestreos; en parte, esto se debe a la incorporación del contaminante, el cual tiene una densidad mayor (1.69 g/mL) a la DA del suelo control (0.98 g/mL), considerando que no existe aporte de enmienda. La integridad estructural tiende a decaer debido a la reducción de actividad microbiológica, erosión del suelo y bajo intercambio de nutrientes (Puricelli, 2005).

Figura 6

Densidad aparente en los diferentes tratamientos (estudio actual)



Por otra parte, Matheus et al. (2007) encontraron que, la cantidad de abono orgánico es un factor limitante en el aporte de elementos esenciales, lo que contribuye significativamente con la biodisponibilidad de nutrientes a largo plazo, mejorando la permanencia de microorganismos y, al mismo tiempo, el sistema estructural del suelo, dando lugar a una mayor aireación y retención de humedad (Joya, 2019); esto concuerda con el presente estudio, puesto que en el M60, el tratamiento de abono orgánico ostentó la menor DA, reafirmando la viabilidad de aumentar la cantidad de insumos orgánicos para su posterior degradación.

La enmienda con vermicompost mejoró significativamente el valor de DA frente al suelo contaminado durante los últimos dos periodos de muestreo (M30 y M60), aunque, no logró estar en mejores o iguales condiciones respecto al suelo control, difiriendo con la tendencia de disminuir esta propiedad por presencia de la enmienda. No obstante, Vázquez y Loli (2018) evidenciaron que el vermicompost puede presentar "estructuras masivas, como consecuencia de la disociación de fluidos acuosos remanentes del proceso de digestión durante la estabilización de la enmienda" (p. 19), dando paso a procesos erosivos que pueden variar el grado, según el tiempo y las condiciones del compostaje, aunque es posible que los resultados de DA mejoren si se realiza un análisis durante periodos de tiempo más largos, como sostienen Sánchez-Hernández et al. (2006), cuyo estudio determinó la efectividad del vermicompost como agente capaz de restaurar la estructura de un suelo arcilloso en periodos de 60 días, considerando variables como: dosificación e insumos orgánicos ofertados en el proceso.

En el caso de la enmienda con lodos, se evidencia un incremento significativo frente a los otros tratamientos, ostentando el valor más alto de DA en el periodo de los 30 días (M30), debido principalmente, a que los depósitos de lodos tienden a reafirmarse con el trascurso del tiempo, de modo que logran equilibrar un estado sólido (duro) que les permite obtener mayor compactación, la cual varía en función de las condiciones ambientales presentes (Cuevas et al., 2006); es decir, al entrar en contacto con la fracción de suelo, se obtiene una mezcla de suelo semi-compactado (lodos) y suelo poroso (Aravena et al., 2007); por otro lado, López-Colonia y Mendoza-Ríos (2018) determinaron que, es factible utilizar lodos secos durante la aplicación de la enmienda, puesto que facilitaría la sedimentación de partículas más pequeñas y su agrupación, a causa de la actividad microbiológica o por disgregación.

Conclusiones

Las enmiendas demostraron ser efectivas en la remoción del agente contaminante al finalizar el periodo de análisis fisicoquímico, pero, la enmienda con abono orgánico logró optimizar de mejor forma parámetros como MO, DA, CIC, entre otros.

La morfología del lugar de extracción de las muestras empleadas en el presente trabajo, tiene relación con sus propiedades físicas y químicas y su variación,

respecto al tiempo, aun en ausencia de actividad antrópica, considerando que los procesos de formación del suelo varían, dependiendo de las condiciones ambientales presentes en el espacio de estudio.

Los suelos de origen andisol presentan condiciones físico-químicas que se encuentran en un rango de puntuación considerado como óptimo para la estructura del suelo y el desarrollo de las diferentes actividades biológicas y microbiológicas.

Referencias

Aravena, C., Valentín, C., Diez, M. C., Mora, M. L. y Gallardo, F. (2007). Aplicación de lodos de planta de tratamiento de celulosa: efecto en algunas propiedades físicas y químicas de suelos volcánicos. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*, *7*(1), 1-14. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912007000100001

Arrieta, C. (2017). *Síntesis de Nano partículas de Plata (AgNP), mediada por metabolitos secundarios presentes en el fermento Moringa oleífera. Estudio de actividad antimicrobiana* [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Baja California]. https://repositorioinstitucional.uabc.mx/handle/20.500.12930/2622

Carrasco, C. M. (2017). *Evaluación de las propiedades físicas e hidráulicas de suelo en líneas de piedras con aplicación de estiércol de caprino* [Tesis de Pregrado, Universidad de Chile]. https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/152744

Casas, R. R. (2007). Principales efectos de la intensificación y expansión de la agricultura sobre la salud de los suelos. http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/27741

Cuervo, J. L. y Fuentes, C. L. (2014). Mineralización y adsorción del 14C-glifosato en muestras de tres tipos de suelo provenientes de El Espinal, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, *38*(148), 287-297. https://doi.org/10.18257/raccefyn.129

Cuevas, J., Seguel, O., Ellies, A. y Dörner, J. (2006). Efectos de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas del suelo con especial referencia a la adición de lodos urbanos. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*, *6*(2), 1-12. https://doi.org/10.4067/S0718-27912006000200001

Gerritse, R., Beltrán, J., & Hernández, F. (1996). Adsorption of atrazine, simazine, and glyphosate in soils of the Gnangara Mound, Western Australia. *Australian Journal of Soil Research* 34(4) 599-607. https://doi.org/10.1071/SR9960599

Goya-Castro, N. I. (2020). *Análisis de las estrategias para la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos totales de petróleo (TPH)* [Tesis de Maestría, Universidad de Guayaquil]. http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/51387

Joya, C. Y. (2019). *Enmiendas retentivas de humedad en el cultivo de acelga (Beta vulgaris var. Cycla) cv. Fordhook Giant* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3013255

López-Colonia, A. G. y Mendoza-Ríos, C. N. (2018). *Efecto de las diferentes concentraciones de lodos secos del PTAR - COVICORTI para el mejoramiento de suelos áridos* [Tesis de Pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3236847?show=full.

Matheus, J. E., Caracas, J., Montilla, F. y Fernández, O. (2007). Eficiencia agronómica relativa de tres abonos orgánicos (vermicompost, compost y gallinaza) en plantas de maíz (Zea mays L). *Agricultura Andina*, *13*, 27-38.

Morillo, E., Undabeytia, T., Maqueda, C., & Ramos, A. (2000) Glyphosate adsorption on soils of different characteristics. Influence of copper addition. *Chemosphere*, *40*(1), 103-107. https://doi.org/10.1016/S0045-6535(99)00255-6

Puricelli, E., Tuesca, D., Faccini, D., Nisensohn, L. y Vitta, J. I. (2005). Análisis en los cambios de la densidad y diversidad de malezas en rotaciones con cultivos resistentes a glifosato en Argentina. http://www.inia.org.uy/estaciones/la_estanzuela/webseminariomalezas/articulos/puricellienrique.pdf

Restrepo, J. (2007). *Manual práctico. El ABC de la agricultura orgánica y harina de rocas*. Servicio de Información Mesoamericano sobre Agricultura Sostenible (SIMAS).

Rubenacker, A., Campitelli, P., Sereno, R. y Ceppi, S. (2011). Recuperación química de un suelo degradado mediante la utilización de un vermicomposto. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, *2*(2), 83-95.

Sánchez-Chávez, W., Cortez-Arredondo, J., Solano-Cornejo, M., & Vidaurre-Ruiz, J. (2015). Cinética de degradación térmica de betacianinas, betaxantinas y vitamina C en una bebida a base de jugo de remolacha (*Beta vulgaris L.*) y miel de abejas. *Scientia Agropecuaria*, *6*(2), 111-118. http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.02.03

Sánchez-Hernández, R., Ordaz-Chaparro, V. M., Benedicto-Valdés, G. S., Hidalgo-Moreno, C. I. y Palma-López, D. J. (2006). Regeneración estructural de un suelo arcilloso por aportes de vermicompost en la Chontalpa, Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 22(1), 13-26. http://dx.doi.org/10.19136/era.a22n1.323

Sandoval-Estrada, M., Celis-Hidalgo, J., Stolpe-Lau, N. y Capulín-Grande, J. (2010). Efecto de enmiendas con lodos urbanos y de salmonicultura en la estructura de un Entisol y un Alfisol en Chile. *Agrociencia*, *44*(5), 503-515.

Segura, C. y Agüero-Alvarado, R. (1997). Combate de coyolillo (*Cyperus rotundus*) en caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*) hacia un manejo integral. *Agronomía Mesoamericana*, *8*(2), 101-106.

Tarapuez, A. (2016). *Aprovechamiento de los residuos sólidos de la cadena productiva del cuy (Cavia porcellus) mediante compostaje para el uso en cultivos de forraje en la zona altoandina del departamento de Nariño* [Tesis de Maestría, Universidad de Manizales]. https://es.slideshare.net/anatarapuez/aprovechamiento-de-los-residuos-slidos-de-la-cadena-productiva-del-cuy

Torres, P., Escobar, J. C., Pérez, A., Imery, V., Nates, R., Sánchez, G., Sánchez, M. y Bermúdez, A. (2005). Influencia del material de enmienda en el compostaje de lodos de Plantas de Tratamiento de Agua Residuales - PTAR. *Ingeniería e Investigación*, *25*(2), 54-61.

Tortosa, G. (2013). Criterios para obtener compost de calidad para la producción industrial de abonos y enmiendas orgánicas. http://www.compostandociencia.com/2013/05/criterio-calidad-composts-como-abonos-html/

Vargas, B., Escobar, Y., Rodríguez, R., Ramos, Y. M., Rodríguez, E. J. y Fuentes, O. (2020). Propiedades químicas del suelo en cuatro fincas de la agricultura suburbana en Santiago de Cuba. *Agrisost*, *26*(3), 1-10.

Vázquez, J. y Loli, O. (2018). Compost y vermicompost como enmiendas en la recuperación de un suelo degradado por el manejo de Gypsophila paniculata. *Scientia Agropecuaria*, *9*(1), 43-52. https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.05

Yu, Y. & Zhou, Q-X. (2005). Adsorption characteristics of pesticides methamidophos and glyphosate by two soils. *Chemosphere*, *58*(6), 811-816. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.08.064

Efectos de una enmienda orgánica a base de porquinaza sobre las propiedades fisicoquímicas y erosión del suelo

Paula Andrea Araujo Goyes[1]

Karen Eliana Coral Pepinosa[2]

Jenny Lucía Huertas Delgado[3]

Resumen

En el Resguardo Santa Clara, en el municipio de Ricaurte, la plantación de coca (*Erythroxylum coca*) constituye una de las actividades económicas más importantes, que genera un impacto negativo en el suelo, aumenta el transporte de sedimentos, causa pérdida de cobertura vegetal, al igual que una baja concentración de nutrientes esenciales, por lo cual se aplicó una enmienda orgánica a base de porquinaza, con el propósito de estudiar sus efectos hacia los procesos erosivos causados por estos cultivos, en aras de lograr un mejoramiento de las propiedades fisicoquímicas del suelo.

La aplicación de la enmienda se realizó teniendo en cuenta dos usos de suelo con condiciones de pendiente alta; se ejecutó un muestreo cada mes durante tres meses; además, se tuvo en cuenta la metodología de parcelas de escorrentía para el control de la erosión; a raíz de esto, se determinó que el suelo control presentó mejores condiciones en comparación al suelo degradado; sin embargo, cabe resaltar que este último no mostró unas condiciones fisicoquímicas totalmente degradadas.

Lo anterior se logró determinar a partir del estudio de diferentes parámetros fisicoquímicos que permitieron evidenciar que el suelo control presenta contenidos de materia orgánica con un promedio de 11,43 %, considerado como un suelo con alto porcentaje de esta; del mismo modo, se obtuvo pH menores a 7, por lo que se toma como suelo ácido y no salino. Los resultados obtenidos de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) demostraron que el suelo degradado presentó un mayor valor de CIC, (29,44 meq/100g) en comparación con el suelo control (29,20 meq/100g), por la relación que existe entre la CIC y las partículas que conforman

[1] Universidad Mariana, Colombia. Correo: paraujo@umariana.edu.co
[2] Universidad Mariana, Colombia. Correo: karcoral@umariana.edu.co
[3] Universidad Mariana, Colombia. Correo: jlhuertas@umariana.edu.co

la textura del suelo, puesto que, el suelo control corresponde a una textura areno franco, mientras que el suelo degradado comprende una textura franco arenosa.

Palabras clave: suelo; monocultivo; erosión hídrica; degradación del suelo; enmienda orgánica.

Introducción

La degradación del suelo es una problemática que se puede dar por diversos factores naturales, dentro de los cuales se encuentra la erosión ligada a parámetros hidrodinámicos y cobertura del suelo; o, por factores antrópicos derivados de su uso y manejo (Rodríguez, 2017, citado por Araujo et al., 2021). El municipio de Ricaurte se caracteriza por ser una zona montañosa, con pendientes complejas, donde la mayor parte del suelo es de vocación agroforestal, por lo cual, es común observar sistemas asociativos donde se ven combinadas actividades agrícolas, ganaderas y forestales, incurriendo en la pérdida y degradación del suelo, ya que estas zonas presentan limitaciones como el exceso de lluvias y fuertes pendientes, provocando de esta manera, erosión en diferentes grados e inundaciones (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC, 2014).

Según la oficina de las Naciones Unidas contra la droga y el delito (UNODC, 2022), el departamento de Nariño es el segundo con mayor producción de monocultivos de coca (*Erythroxylum coca*), los cuales representan, en la vereda Santa Clara, una de las principales actividades de producción económica; esto implica mayor deforestación, dando como resultado un incremento en la erosión del suelo y pérdida de la materia orgánica (MO), además de una mayor salinización, compactación y desertificación (Rodríguez, 2017, citado por Araujo et al., 2021).

En este orden de ideas, se implementó una metodología de remediación de suelos *in situ*, con el uso de una enmienda orgánica a base de residuos de cocina y porquinaza dentro de parcelas de escorrentía, para estudiar los efectos de esta alternativa frente a los procesos erosivos y así, evaluar los cambios en los procesos erosivos, además de estabilizar las propiedades fisicoquímicas más importantes del suelo.

Desarrollo

Inicialmente, se identificó la zona de estudio, haciendo uso de un dron, con el cual se obtuvo una vista panorámica, como se observa en la Figura 1; se realizó un recorrido hacia la vereda Santa Clara del municipio de Ricaurte, donde fue posible evidenciar diferentes especies forestales y una gran cantidad de cultivos de coca (*Erythroxylum coca*), razón por la cual fue considerado como un lugar apto para tomar la muestra de suelo y llevar a cabo esta investigación.

Figura 1

Zona de estudio

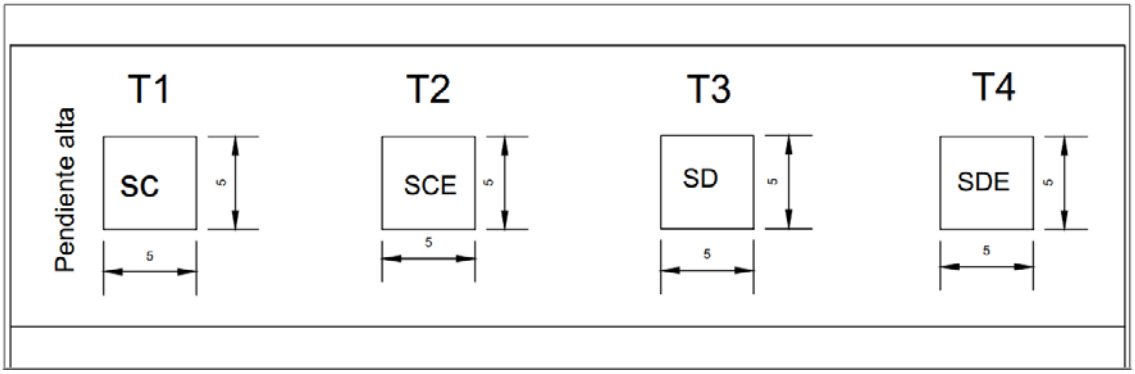


Para efectuar el muestreo se tuvo en cuenta dos usos de suelo con condiciones de pendiente alta, clasificándolos por tratamientos, como se muestra en la Figura 2. En este sentido, para cada tratamiento se tomó una muestra con tres repeticiones durante tres meses. Además, se realizó un monitoreo de la enmienda orgánica, con el fin de alcanzar su estabilización; para este proceso se tuvo en cuenta tres parámetros importantes: temperatura, humedad y pH. Este proceso se llevó a cabo cada 15 días, durante tres meses.

En la Figura 2 se presenta los tratamientos realizados en los diferentes usos de suelo, con pendiente alta en la zona de estudio, utilizando un modelo de bloques al azar.

Figura 2

Diseño experimental en la zona de estudio



Descripción:

- SC: Suelo control
- SCE: Suelo control con enmienda orgánica
- SD: Suelo degradado
- SDE: Suelo degradado con enmienda orgánica

Para Pinzón y Sotelo (s.f.), los cultivos ilícitos en Colombia generan una problemática evidente debido a la deforestación y el uso de agroquímicos, lo cual desencadena afectaciones negativas en las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo. Hoy en día, se ha evidenciado un aumento significativo de éstos. Según la UNODC (2022) y Velásquez (2019), en 2017 el área cultivada se extendió en un 31 %, siendo Nariño uno de los departamentos con mayor relevancia, con un registro de 45.735 hectáreas; sin embargo, para 2019 esta cifra disminuyó un 9 %, por lo cual Nariño pasó a ser el segundo departamento con mayor producción de estos cultivos.

El uso de enmienda orgánica a base de porquinaza se identificó como una posible alternativa para mitigar el impacto ambiental ocasionado por actividades como la descrita. Lagos y Huertas (2019, citados por Araujo et al., 2021) demostraron que la aplicación de la enmienda orgánica en un suelo andisol incrementó la actividad microbiana, favoreciendo el contenido de MO.

Resultados

Para el desarrollo de la investigación, inicialmente se recolectó las muestras de suelo, teniendo en cuenta el método de muestreo en zig-zag, el cual garantizó una mayor cobertura del área en estudio, ya que se divide el terreno en tres partes: alta, media y baja. En este orden de ideas, se obtuvo una muestra compuesta para cada uso de suelo, que fue analizada en el laboratorio de química de la Universidad Mariana y, a raíz de ello, se obtuvo los datos que se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1

Resultados obtenidos en laboratorio para los dos usos del suelo

Parámetro	Suelo control	Suelo degradado
Materia Orgánica [%]	11,43	10,58
Humedad [%]	5,01	3,74
pH	5,67	5,15
CE [dS/m]	0,0948	0,05587
CIC [meq/100g]	33,12	25,76
Da [g/cm^3]	0,76	0,77

Dr [g/cm^3]	2,18	2,16
Porosidad [%]	65,18	64,14
Textura	Areno Franco	Areno Franco

Nota: los resultados corresponden a las medias obtenidas a partir de tres repeticiones de cada parámetro.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede observar que los dos usos de suelo tienen condiciones similares, como lo indica el análisis estadístico. En cuanto a MO, no hubo diferencias significativas; por tanto, es posible visualizar que el suelo control presenta un porcentaje de 11,43 % y un P valor de (0,21), que se considera como un suelo con alto contenido de MO, ya que es un suelo de pradera que no ha evidenciado intervención antrópica; de igual manera, el suelo degradado presentó un alto % de MO; esto se debe a que la capacidad del suelo para absorber sustancias peligrosas como los agroquímicos, aumenta con el contenido de MO (Julca-Otiniano et al., 2006).

Respecto a pH, se observó diferencias significativas entre los dos usos de suelo, con un P valor de 0.04 (S.C.) y 0.05 (S.D.); no obstante, estos suelos son clasificados cómo ácidos, dado que se ubican en un rango inferior a 7; este comportamiento se relaciona con el contenido de MO, pues el pH es más ácido donde la MO es alta (Mora et al., 2016); se atribuye también al comportamiento de la CE, donde se obtuvo valores bajos que indican poca presencia de sales en los suelos; por tal razón, los valores de pH se mantienen entre 5.2 a 6.3, que son adecuados para el funcionamiento microbiano y la generación de humus; por ende, son idóneos para el crecimiento de vegetación (Romero et al., 2009).

El contenido de humedad de los suelos se encuentra típicamente en un rango de 5 a 50 % cuando están en su máxima capacidad de retención, aunque se evidenció que los dos usos de suelo presentaron un porcentaje de humedad bajo, demostrando una variación entre los resultados de los dos usos de suelo, debido principalmente a la cantidad de MO que presentó el suelo control, el cual favorece la formación de agregados y permite el mejoramiento de la estructura del suelo. Otro factor que influye significativamente en la retención de agua es la textura, ya que estos dos tipos de suelo tuvieron mayor cantidad de arenas; por consiguiente, fueron clasificados como areno franco (Martínez-González et al., 2010).

Tabla 2

Resultados de estabilización de la enmienda orgánica

Parámetro	13/04/2021	11/05/2021
pH	6	7
Temperatura	27,2	25,2
Humedad	81 %	64 %

Para desarrollar el proceso de estabilización de la enmienda, inicialmente se recolectó residuos de tipo orgánico durante tres semanas, los cuales fueron incorporados en la compostera, junto con la porquinaza, residuos de poda y tierra negra; a partir de ese momento se inició el proceso de volteo de pila cada ocho días, con el fin de airear la enmienda para su estabilización; al mismo tiempo, se monitoreó los parámetros: pH, humedad y temperatura de manera in situ, haciendo uso de tiras medidoras de pH, y un termohigrómetro para humedad y temperatura; a partir de ello se obtuvo los resultados que se observan en la Tabla 2, en dos momentos diferentes.

Por consiguiente, se afirma que la enmienda es apta para la aplicación en cada una de las parcelas, puesto que, según Román et al. (2013), los rangos óptimos para pH están entre 4.5 a 8.5, para temperaturas entre 22 a 29 °C y humedad entre 45 a 60 %.

Conforme a lo anterior, la enmienda orgánica ha demostrado ser una fuente de nutrientes y energía metabólica para los microorganismos y la fauna del suelo, debido a que las condiciones que presenta favorecen la estabilización y recuperación de suelos contaminados pues, la aplicación de enmiendas incrementa el contenido de MO y nutrientes del suelo, así como también, favorece la estabilización de sus propiedades fisicoquímicas y permite la aparición de suelos más evolucionados.

En este orden de ideas, para desarrollar el proceso de estabilización se recolectó los residuos durante tres semanas consecutivas a partir del 12 de enero, los cuales fueron de tipo orgánico, sin ningún proceso que alterase sus características físicas naturales. A continuación, se incorporó en la compostera, los residuos orgánicos previamente clasificados, junto con la porquinaza, residuos de poda y tierra negra; esta actividad se llevó a cabo el día 13 de febrero; a partir de esta fecha se realizó el volteo de la pila cada ocho días, con el fin de airear la enmienda para su estabilización.

Es importante considerar que solo la aplicación de una enmienda orgánica estabilizada podrá mejorar los suelos e impactar el desarrollo y crecimiento de los cultivos, ya que aumentará las poblaciones de microorganismos benéficos y mejorarán las propiedades biológicas, físicas y químicas de los suelos. El efecto benéfico que produce la aplicación de MO a los suelos no se debe exclusivamente a sus componentes químicos; su gran valor radica en las poblaciones de microorganismos beneficios que pueda albergar, debido a que todo el proceso de oxidación y estabilización está soportado en la actividad biológica de las poblaciones de microorganismos benéficos.

Por el contrario, una enmienda orgánica sin un proceso de estabilización, genera un gran impacto negativo sobre el suelo, siendo lo más crítico, la reducción de la MO estable del suelo (efecto primado), lo cual desencadena un sinnúmero de impactos sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo. Desde el punto de vista químico, se altera la CIC, por lo que el suelo pierde paulatinamente la capacidad de regular los elementos nutrientes que se requiere, generando altas pérdidas

de los fertilizantes aplicados; asimismo, se traduce en mayores requerimientos de fertilizantes. Igualmente, el impacto sobre la CIC altera el pH y genera desagregación, lo cual modifica la estructura del suelo, apareciendo partículas individuales (separadas) de mayor susceptibilidad a perderse por fenómenos erosivos y a producir sellamiento y encostramiento superficial que reducen la tasa de infiltración de agua en el perfil, lo que a su vez aumenta la escorrentía superficial, que se traduce en la pérdida de los fertilizantes que se colocan en superficie por arrastre de agua (González, 2021).

Conclusiones

Se evidenció que, los agregados en el suelo control presentaron una mayor estabilidad con respecto a los agregados del suelo degradado, debido a la mayor cantidad de MO y raíces presentes en este, a causa de la actividad de los microorganismos.

El tiempo de estabilización de la enmienda orgánica depende, en gran cantidad, del grado de descomposición del estiércol, ya que este actúa como acelerador en el proceso de degradación de los diferentes residuos presentes en la enmienda; además, existe una relación directa con la temperatura del lugar, puesto que, a mayor temperatura, mayor aceleración del proceso de descomposición.

El suelo control presentó las mejores condiciones fisicoquímicas respecto al suelo degradado; sin embargo, cabe resaltar que este último no mostró unas condiciones fisicoquímicas totalmente degradadas.

Al momento de aplicar MO a los suelos, se debe preferir los materiales orgánicos estabilizados y sanitizados que posean en su composición, presencia demostrable de microorganismos benéficos.

Referencias

Araujo, P. A., Coral, K. E. y Huertas, J. L. (2021). Experiencia del trabajo de campo en suelos erosionados por la acción de cultivos ilícitos en Ricaurte, Nariño. *CEI, Boletín Informativo*, *8*(3), 208-209.

González, O. (2021). Por qué no es recomendable aplicar porquinaza cruda en los potreros. https://www.abonamos.com/blog/2021/2/25/por-qu-no-aplicar-gallinaza-cruda-en-los-potreros

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2020). Análisis de las propiedades físicas, químicas, biológicas o mineralógicas de los suelos, tejido vegetal y aguas para riego. https://www.igac.gov.co/es/contenido/tramites-y-servicios/analisis-de-las-propiedades-fisicas-quimicas-biologicas-o-mineralogicas-de-los-suelos

Julca-Otiniano, A., Meneses-Florián, L., Blas-Sevillano, R. y Bello-Amez, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia (Arica)*, *24*(1), 49-61. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009

Martínez-González, F., Sosa-Pérez, F. y Ortiz-Mendel, J. (2010). Comportamiento de la humedad del suelo con diferente cobertura vegetal en la Cuenca La Esperanza. *Tecnología y Ciencias del Agua*, *1*(4), 89-103.

Mora, J. L., De Jesús, M. A. y Rosas, M. S. (2016). Comportamiento de materia orgánica y pH con la profundidad del suelo. http://congresos.cio.mx/13_enc_mujer/cd/cd_congreso_mujer_XIII/archivos/resumenes/S5/S5-BYQ09.pdf

Pinzón, L. F., y Sotelo, H. (s.f.). Efectos de los cultivos ilícitos sobre el medio natural en Colombia. https://xdocs.pub/doc/cultivos-ilicitos-y-sus-impactos-w2831m7v9qn6

Román, P, Martínez, M. M. y Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO.

Romero, M. P., Santamaría, D. M. y Zafra, C. A. (2009). Bioingeniería y suelo: Abundancia microbiológica, pH y conductividad eléctrica bajo tres estratos de erosión. *Umbral científico*, *15*, 67-74.

United Nations Office on Drugs and Crime (UNODC). (2022). Datos y tendencias del monitoreo de territorios afectados por cultivos ilícitos en Colombia (2020). https://www.unodc.org/colombia/es/datos-y-tendencias-del-monitoreo-de-territorios-afectados-por-cultivos-ilicitos-en-colombia-2020.html

Velásquez, M. (2019). ¿Por qué Colombia está perdiendo la lucha contra los cultivos ilícitos? https://cnnespanol.cnn.com/2019/03/07/por-que-esta-colombia-perdiendo-la-lucha-erradicacion-de-cultivos-ilicitos/

Evaluación de indicadores en áreas de restauración ecológica y uso pecuario. Reserva natural Encanto andino

Yuli V. Cárdenas Jojoa[1]

Rubén D. Guerrero Burbano[2]

Sandra M. Madroñero Palacios[3]

Resumen

Este estudio se llevó a cabo en la Reserva Natural 'Encanto Andino', en el corregimiento de El Encano, con el propósito de evaluar indicadores en los componentes de suelo, vegetación y socioeconomía, en dos áreas: una, con procesos de restauración ecológica pasiva y, la otra, con uso de fines pecuarios. En principio, se identificó una serie de indicadores en cada uno de los componentes mediante revisiones bibliográficas, se priorizados y seleccionados mediante una matriz multicriterio; se realizó su cuantificación a través de muestreos para el componente biofísico y una entrevista semiestructurada para el componente socioeconómico. Finalmente, se analizó las diferencias existentes entre las dos áreas, con el uso de estadística descriptiva, estableciendo una línea base en función de los indicadores establecidos. Se evidenció una mínima variación en la unidad de los indicadores del componente suelo, pero se aprecia una gran variabilidad en el indicador de composición para la vegetación. El área de restauración ecológica genera mayores beneficios ambientales, sociales y económicos, en comparación con el área de uso pecuario, la cual se convierte en una limitante para el proceso de restauración, afectando las propiedades del suelo y el establecimiento de especies arbóreas, conllevando la pérdida de beneficios socioeconómicos.

Palabras clave: restauración ecológica; reserva natural; uso pecuario; priorización de indicadores.

[1] Egresada Ingeniería Ambiental. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. Pasto, Colombia, yulicardenas93@gmail.com

[2] Egresado Ingeniería Ambiental. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. Pasto, Colombia, iam.rubengb@gmail.com

[3] Bióloga con énfasis en Ecología, Universidad de Nariño. Magíster en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas, Centro Agronómico de Investigación y enseñanza (CATIE), Costa Rica. Docente del Departamento de Recursos Naturales y Sistemas Agroforestales, Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, Colombia. smadronero@umariana.edu.co

Introducción

La evaluación de indicadores en áreas de restauración ecológica y en zonas de páramo degradadas debido al uso inadecuado del suelo por medio de actividades pecuarias, tiene gran importancia ya que, en Colombia, según Vargas (2007), uno de los problemas actuales para su desarrollo, es la falta de divulgación de experiencias prácticas que ayuden a la formulación de objetivos y estrategias de restauración en diferentes ecosistemas. Por otra parte, la meta de los procesos de restauración ecológica es imitar la estructura, función y composición del ecosistema específico a restaurar (Gálvez, 2002), por lo cual es relevante la evaluación y el análisis de indicadores biofísicos y socioeconómicos en dos áreas, con un contraste definido.

Una problemática que se suma, es el establecimiento de indicadores que evalúan las acciones del proceso, tanto en áreas de restauración ecológica como en áreas de uso pecuario, dado que muchas veces solo se prioriza indicadores de implementación, como el número de árboles, donde únicamente se cuantifica la supervivencia y el crecimiento; o, cambios en la composición de la vegetación (Murcia et al., 2016), indicadores que no necesariamente señalan diferencias significativas con respecto a los distintos componentes que conforman un ecosistema.

La Reserva Natural 'Encanto Andino' cuenta con áreas tanto de conservación como de producción; en este sentido, la investigación se desarrolló en un área que ha tenido un proceso de 50 años de restauración ecológica y otra, que se halla en uso, con fines pecuarios, con el mismo tiempo de uso. Con el fin de evaluar las diferencias existentes entre las dos áreas de estudio, en primera instancia se realizó la recopilación de información primaria y secundaria para la selección de los indicadores, priorizados mediante una matriz multicriterio, los cuales fueron cuantificados por medio de análisis fisicoquímicos del suelo, entrevistas semiestructuradas para los aspectos socioeconómicos y método de cuadrantes para el componente de la vegetación. Posteriormente, se analizó los resultados obtenidos mediante la estadística descriptiva, comparando el estado de las dos zonas, estableciendo una línea base en función de los indicadores priorizados, con el fin de aportar conocimiento a futuros estudios en la reserva.

De esta manera, hubo diferencias establecidas por los procesos realizados en las dos áreas, donde se presenta cierta variación en la unidad de los indicadores del componente suelo, entre las cuales se aprecia el alto porcentaje de materia orgánica (MO) en las dos zonas; así mismo, se establece una gran desigualdad en el indicador de composición del componente de vegetación, donde se evidencia especies arbóreas como: *Brunellia tomentosa*, *Geissanthus sp*, *Drymis granatensis*, *Clusia multiflora (H.B.K)*, *Weinmania silvatica engler*, y *Podocarpus oleifolius* en la zona de restauración ecológica, en contraste con las especies herbáceas: *Plantago sp.*, *Taraxacum officinale*, *Agrostis stolonifera*, *Hydrocotyle incrassata*, *Carex sp.*, *Veronica serpyllifolia* y *Sphagnun sp.*, en la zona de uso pecuario; además, la diferencia entre los beneficios sociales y económicos, como la generación de empleo y los ingresos recaudados, en su mayoría, por las actividades resultantes de la conservación.

Materiales y Métodos

Para el desarrollo de este estudio de tipo exploratorio, se realizó diferentes actividades que contribuyeron al alcance de los objetivos propuestos que, en conjunto, permitieron realizar la evaluación de indicadores en los componentes de suelo, vegetación y componente socioeconómico, en un área que ha tenido un proceso de 50 años de restauración ecológica y otra, que se encuentra en uso con fines pecuarios, con el mismo tiempo de proceso en la Reserva Natural El Encanto Andino, corregimiento de El Encano, municipio de Pasto.

Selección de los indicadores para los componentes suelo, vegetación y socioeconomía

Para el desarrollo del primer objetivo se seleccionó los indicadores para la evaluación del área de conservación y el área de uso pecuario en la Reserva Natural El Encanto Andino; se hizo una revisión bibliográfica y de bases teóricas, que permitió la elaboración de una lista de indicadores para el análisis de características fisicoquímicas en suelo, fitosociológicas y socioeconómicas en la zona de estudio.

Teniendo en cuenta que existe un número finito de indicadores, para el proceso de priorización se elaboró una matriz multicriterio establecida por Pacheco y Contreras (2008), adaptada al presente estudio, como se describe a continuación:

a) Los siguientes criterios fueron seleccionados para la priorización de los indicadores a medir, los cuales fueron establecidos por Noss (1990) y Dale y Beyeler (2001) como los más adecuados con respecto a la zona de estudio:

   - **Criterio 1:** el indicador seleccionado está repartido en una amplia área geográfica o, es ampliamente aplicable a la heterogeneidad espacio-temporal.
   - **Criterio 2:** el indicador es lo suficientemente sensible como para proveer una alerta temprana de cambio.
   - **Criterio 3:** el indicador es fácil de tomar y, económico al momento de medir, colectar, probar y calcular.
   - **Criterio 4:** el indicador es capaz de proveer una evaluación continua del proceso de restauración y sobre un rango amplio de condiciones biofísicas.
   - **Criterio 5:** el indicador no es de carácter deductivo.
   - **Criterio 6:** el indicador corresponde o es pertinente a los fenómenos de respuesta del proceso de restauración.

b) Cada criterio mencionado tomó valores cuantitativos usando una escala de 1 a 5, donde 1 representa un menor cumplimiento del indicador respecto al criterio y 5 el mayor cumplimiento.

c) Una vez se diligenció la matriz, se realizó la sumatoria de los valores obtenidos para cada indicador, lo cual permitió ordenarlos desde los que logran cumplir la mayor cantidad de criterios hasta los de menor cumplimiento.
d) El rango de los indicadores priorizados se reflejó en una escala de color, de verde a rojo, a partir del indicador cuyo valor de cumplimiento de los criterios fue mayor, generando los niveles de prioridad en esta investigación.

Cuantificación de los indicadores priorizados en las áreas de restauración y uso pecuario

Se cuantificó los indicadores resultantes del proceso de priorización descrito, teniendo en cuenta los procesos desarrollados en cada una de las zonas de estudio. Para este proceso se hizo la caracterización fisicoquímica del suelo por medio de muestreos, de acuerdo con la metodología propuesta por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2018). En dichas áreas también se tomó un muestreo de vegetación por medio del método de cuadrantes según Mostacedo y Fredericksen (2000). Para el componente socioeconómico, se hizo el levantamiento de entrevistas semiestructuradas, considerando la metodología establecida por Díaz y Torruco (2013) en la reserva Natural El Encanto Andino.

Resultados y Discusión

Selección de los indicadores para los componentes suelo, vegetación y socioeconomía

Por medio de la revisión bibliográfica se exploró y analizó una serie de registros recopilados en documentos publicados, cada uno de los cuales plantea diferentes indicadores a ser medidos en los componentes, mismos que fueron llevados al contexto de la investigación, donde se plantea dos áreas: una con un proceso de restauración ecológica y otra con uso para fines pecuarios.

Priorización de indicadores: se realizó un proceso de priorización en donde prima lo establecido por Montaño et al. (2006), quienes afirman que, la cantidad de indicadores debe ser la mínima posible, para mantener la mayor certidumbre científica al menor esfuerzo y costo.

Tabla 1

Sumatoria de los valores obtenidos para cada indicador de tipo socioeconómico

Indicadores	Frecuencia
Oferta laboral	28
Ingresos del hogar	27
Fortalecimiento de capacidades	27

Cabe considerar que, los involucrados en la zona de estudio donde se ubican las dos áreas, una con un proceso de restauración ecológica y otra con fines pecuarios, hacen parte de una misma familia integrada por seis personas, quienes poseen el conocimiento necesario sobre las condiciones socioeconómicas que competen a la presente investigación; con base en ello, se asignó la puntuación correspondiente a cada indicador. Como resultado, fueron priorizados los indicadores de oferta laboral, ingresos del hogar y fortalecimiento de capacidades (Tabla 1), cada uno de los cuales obtuvo una puntuación de 28 y 27, respectivamente. En este sentido, estos indicadores son apropiados para conocer los aspectos relacionados con las actividades socioeconómicas desarrolladas en la reserva y, por lo tanto, los beneficios tanto sociales como económicos obtenidos debido a los procesos de conservación y actividades pecuarias, pues los efectos de estos procesos pueden traer repercusiones en cuanto a beneficios e inconvenientes para sus responsables (Aguilar-Garavito y Ramírez, 2015).

Tabla 2

Sumatorias de los valores obtenidos para cada indicador de tipo biofísico del suelo

Indicadores	**Frecuencia**
Estabilidad de agregados	30
Materia orgánica	29
pH	29
Textura del suelo	28
Conductividad eléctrica (CE)	28
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	26

Debe señalarse que, tanto el área de restauración ecológica como el área de uso pecuario, son zonas de 0,25 hectáreas, homogéneas, una situada en continuidad con la otra, bajo las mismas condiciones climáticas en los páramos azonales, los cuales se encuentran entre los 2760 y 3400 metros sobre el nivel del mar; así mismo, cabe resaltar que el muestreo de suelo se realizó en la misma fecha. Considerando esta información, se muestra los indicadores priorizados en la Tabla

2: Estabilidad de agregados, MO, pH, textura del suelo, conductividad eléctrica y CIC, con un puntaje entre 26 y 30. Bajo estas condiciones también se tuvo en cuenta que el proceso de restauración ecológica que se ha llevado a cabo en la zona tiene un desarrollo de 50 años, tiempo similar en el que se ha hecho uso de la otra zona con fines pecuario.

Tabla 3

Sumatorias de los valores obtenidos para cada indicador de tipo biofísico de vegetación

Indicadores	Frecuencia
Composición	29
Desarrollo del tallo	29
Crecimiento vertical	29
Origen	29

Se ha priorizado los indicadores de: Composición, Desarrollo del tallo crecimiento vertical y Origen, con una puntuación de 29 para todos los indicadores (Tabla 3), los cuales facilitan la comprensión de la dinámica de la vegetación; de esta manera es posible lograr interpretar si las áreas muestreadas, tanto el área de restauración ecológica como el área de uso pecuario, tenían algún grado de alteración o estaban en estado de conservación.

Cuantificación de los indicadores priorizados en las áreas de restauración y uso pecuario. A continuación, se presenta los resultados encontrados en los indicadores de suelo priorizados en el área de restauración ecológica y en el área con fines de uso pecuario:

Cuantificación de los indicadores del componente de suelo

En el presente ítem se puede observar los resultados de los indicadores de suelo priorizados y cuantificados en el área de restauración ecológica y el área de uso pecuario; se resalta que, los resultados no tienen variaciones significativas en cada una de los parámetros, ya que la actividad pecuaria no es desarrollada de una forma intensiva, por lo cual no se genera degradación en grandes proporciones.

A continuación, se hace el análisis de cada uno de los indicadores:

Estabilidad de los agregados

Se encontró que, la estabilidad de agregados en el área de restauración ecológica obtuvo 4,30 DMP (mm) mientras que, el área de uso pecuario obtuvo 4,26 DMP (mm), señalando, según el IGAC (2006), que la estabilidad estructural en las dos áreas de estudio es estable, favoreciendo así el almacenamiento y la entrada de agua a través del perfil del suelo.

Materia orgánica

En cuanto a la MO, en el área de restauración ecológica se instauró un porcentaje del 38,19 % mientras que, en la zona de uso pecuario fue de 36,78 %, siendo valores similares, favorecidos según el ICA (1992), por clima frío, lo cual contribuye a la capacidad de intercambio catiónico, situación que se puede observar en este estudio. Además, dadas las condiciones climáticas de la zona, el porcentaje de MO en las dos áreas es alto, lo cual contribuye en gran medida en la fertilidad del suelo como fuente de nutrientes para las plantas y fuente de energía para los microorganismos (Sales-Dávila, 2006).

pH

Igualmente, el área de restauración ecológica presentó un pH de 4, mientras que el área de uso pecuario, de 4,84, lo cual implica un pH extremadamente ácido y muy fuertemente ácido, respectivamente, de acuerdo con el ICA (1992), debido a que ambos suelos son de origen volcánico, representando un comportamiento fuertemente ácido (Gonzáles, 2016). De igual forma, el pH ácido de estos suelos afecta el desarrollo de las plantas (Jaramillo, 2002).

Bajo este entendimiento, es esencial destacar que, Ramírez et al. (2012) aseguran que, en un suelo de pH ácido, únicamente la vegetación nativa podrá desarrollarse sin presentar ningún problema, debido a la relación suelo – planta.

Textura de suelo

Así, tanto el área de restauración ecológica como el área de uso pecuario, evidenciaron una textura Franco; según la interpretación del laboratorio de física de suelo Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT, citado por Amézquita et al., 2013), este tipo de suelos permite una infiltración moderada, una retención de humedad media, así como su erodabilidad y fertilidad natural.

Conductividad eléctrica

En el análisis procedente a la conductividad eléctrica se puede observar que, en el área de restauración ecológica, este indicador obtuvo 0,00032 Ds/m mientras que, el área de uso pecuario obtuvo 0,00008 Ds/m. Teniendo en cuenta que 1 mmhos/cm = 1 dS/m (Montico, 2006), es posible evidenciar que, el suelo de la zona de estudio en las dos áreas no es salino, de acuerdo con lo establecido por el ICA (1992); sin embargo, en el área de restauración ecológica se presenta cuatro veces más alto el nivel de salinidad que, en el área de uso pecuario; en consecuencia, esto indica que los valores de conductividad eléctrica no son perjudiciales para las plantas, según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 1999).

Capacidad de intercambio catiónico. Se debe señalar que, en el área de restauración ecológica se obtuvo un valor de 68,63 meq/100 g, mientras que, en el área de uso pecuario el valor fue de 66,53 meq/100 g, de modo que, según el ICA (1992), estos valores representan una alta CIC, indicando que el suelo de la zona es fértil (Bueno y Fernández, 2019).

Cuantificación de los indicadores del componente de vegetación

En función de la información recolectada para el registro de especies de las áreas de estudio, se identificó especies arbóreas en la zona de restauración ecológica y, especies herbáceas en la zona de uso pecuario, las cuales fueron registradas bajo el nombre común establecido por un conocedor de la reserva natural (Castrillón y López, 2010).

Composición y origen

En la zona de restauración ecológica se encontró 21 individuos, los cuales presentan un Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) > 0,10 metros; los individuos presentan una diversidad de seis especies arbóreas: *Brunellia tomentosa*, *Geissanthus sp*, *Drymis granatensis*, *Clusia multiflora (H.B.K)*, *Weinmania silvatica engler*, y *Podocarpus oleifolius*, pertenecientes a seis familias entre las cuales están: *Brunelliaceae*, *Myrsinacea*, *Winteraceae*, *Clusiaceae*, *Cunoniacea* y *Podocarpaceae*; de ellas se puede establecer que, el 100 % son especies nativas de la zona, dado que, en la reserva natural 'Encanto Andino' se desarrolla restauración ecológica pasiva.

Realizando una comparación con el estudio de Castrillón y López (2010), se puede observar que los resultados son acordes a la vegetación del municipio de El Encano; por ello, entre las especies más abundantes y con mayor frecuencia, fueron encontradas *Brunellia tomentosa* y *Weinmania silvatica Engler*.

DAP. Los 21 individuos registraron valores desde los 0,18 m hasta los 0,63 m, con una media aritmética de 0,34 metros, donde la *Clusia multiflora (H.B.K)* presentó el valor mínimo y máximo. Cabe resaltar que, dentro de las especies del género Clusia con mayor distribución en Colombia, figura *Clusia multiflora* (Echeverry, 2003).

Crecimiento vertical

En la zona de restauración ecológica se encontró especies arbóreas con alturas que van desde los 14 m hasta los 25 m, con un promedio de 18,9 metros; la especie con menor altura fue la *Clusia multiflora (H.B.K)* mientras que, la especie con mayor altura fue el *Podocarpus oleifolius*, especie en peligro, ya que sus poblaciones se han reducido en más de un 60 %, debido principalmente, a los altos niveles de explotación y al gran deterioro de sus hábitats (Cárdenas y Salinas, 2007).

Frecuencia

Entre las especies con menor frecuencia cuyo valor es de un 50 % están: *Brunellia tomentosa*, *Geissanthus sp*, *Podocarpus oleifolius*; del mismo modo, dentro de las especies que tienen un 100 % de frecuencia están: *Drymis granatensis*, *Clusia multiflora (H.B.K)* y *Weinmania silvatica Engler*, lo cual significa que, estas especies existen en los dos cuadrantes de la zona de restauración ecológica.

Abundancia

En cuanto a la abundancia, la especie más abundante fue el *Drymis granatensis* con siete individuos dentro de la zona de estudio, lo cual significa que es una especie que se adapta al ecosistema (Castrillón y López, 2010), mientras que la especie menos abundante fue el *Geissanthus sp* con un individuo.

A continuación, se presenta los resultados obtenidos para los indicadores priorizados en el área de uso pecuario:

Composición

En la zona de uso pecuario se observó siete especies herbáceas: *Plantago sp.*, *Taraxacum officinale*, *Agrostis stolonifera*, *Hydrocotyle incrassata*, *Carex sp.*, *Veronica serpyllifolia* y *Sphagnun sp.*, pertenecientes a seis familias, entre las cuales se aprecia: *Plantaginaceae*, *Asteraceae*, *Poaceae*, *Araliaceae*, *Cyperaceae* y *Sphagnaceae*, donde la familia *Plantaginaceae* tiene dos especies; de esta manera se puede comparar con el informe del Instituto Humboldt y Asociación para el Desarrollo Campesino (ADC) (2014), donde se puede evidenciar que, entre las familias con el mayor número de especies en los páramos azonales del río Guamués se encuentra *Asteraceae* y *Cyperaceae*.

Cobertura

Por otra parte, se ubicó especies herbáceas con una cobertura entre el 2 % y el 55 %. La *Taraxacum officinale* fue la especie con menor porcentaje de cobertura. Cabe resaltar que, esta especie tiene una gran capacidad de adaptación a distintos tipos de suelo; la especie con mayor cobertura en la zona de uso pecuario fue la *Agrostis stolonifera*, especie que, según García-Ulloa et al. (2005), se encuentra específicamente en alturas medias de la región andina en Colombia.

Frecuencia

Las especies con un 100 % de frecuencia en la zona de estudio fueron: *Plantago sp.*, *Taraxacum officinale*, *Agrostis stolonifera*, *Hydrocotyle incrassata*, *Carex sp.*, *Sphagnun sp.*, lo cual quiere decir que, ellas existen en los dos cuadrantes, mientras que la especie de *Veronica serpyllifolia* tuvo una frecuencia del 50 %.

Cuantificación de los indicadores del componente socio-económico

A continuación, se presenta los resultados para los indicadores priorizados en las áreas de restauración ecológica y uso pecuario, obtenidos por medio de entrevistas semiestructuradas.

Oferta laboral y fortalecimiento de capacidades

El área de restauración ecológica genera fuentes de trabajo a partir de la compra de productos y preparación de alimentos, debido a los servicios que ofrece la reserva, como: alimentación, ecoturismo, hospedaje, senderismo, transporte y tarifa de ingreso. Por otro lado, Márquez et al. (2016) proponen apreciar el ecoturismo como una actividad complementaria dentro de un esquema de uso múltiple de los recursos naturales, que permita generar oportunidades económicas alternativas, haciendo necesario un proceso de orientación y capacitación sobre temas como la conservación, economía solidaria y necesidades básicas del ser humano, como es el caso de la Reserva Natural 'Encanto Andino' y, de este modo, concientizar a los visitantes sobre la importancia de cuidar y conservar el ambiente (Tanguila y Pico, 2020).

Si bien la ganadería es una realidad cultural que ha sido apropiada por comunidades productivas desde hace siglos, en la reserva natural 'Encanto Andino' esta actividad también está presente, aunque de una manera no intensiva y poco prioritaria.

Ingresos al hogar

En este sentido es posible afirmar que, el área de restauración ecológica provee recursos económicos por los servicios ofrecidos: el servicio de transporte fluvial tiene un valor de 100.000 pesos colombianos, con un máximo de diez personas por viaje; el desayuno en la reserva natural cuesta 8.000; el almuerzo 20.000; la comida 20.000; un refrigerio 5.000; un hervido de frutas 7.000 pesos el vaso; el hospedaje 30.000 por individuo; la reserva cuenta con la capacidad de hospedar a 40 personas; sin embargo, por la pandemia, la capacidad máxima se redujo a 15 individuos; por último, el senderismo con guía tiene un precio de 5.000 pesos por persona.

Por su parte, Holl et al. (2000) sostienen que, es necesario que la restauración desarrolle métodos para cuantificar los servicios que el ecosistema brinda y, poder entonces demostrar su valor económico, lo cual no se puede evidenciar en la reserva natural y, en consecuencia, no es posible cuantificar el valor de los servicios ecosistémicos brindados por el área de restauración ecológica.

Del mismo modo, según los resultados obtenidos a través de la entrevista semiestructurada sobre el área de uso pecuario, los beneficios económicos son determinados mediante la producción de leche para el consumo familiar y de los visitantes de la reserva natural, junto con el sustento de una cabeza de ganado bovino, para cuya finalidad esta área está destinada, por lo cual resulta difícil cuantificar los ingresos representativos de la actividad ganadera, dado que son mínimos.

Análisis de las diferencias entre las áreas de estudio con base en los indicadores priorizados

A continuación, se presenta un análisis donde se compara los distintos indicadores en los componentes de suelo, vegetación y de socioeconomía, levantados en las dos áreas de estudio:

Diferencias existentes en el componente de suelo en las dos áreas de estudio

Según Hofstede et al. (2014) y, Ortiz et al. (2005), los suelos en páramos húmedos y de origen volcánico, pueden tener hasta 40 % de MO y un pH entre 3.9 y 5.4; la descomposición de la MO se lleva a cabo a tasas muy bajas, debido a las bajas temperaturas y a la alta humedad; se tiene que, el suelo del área de conservación de la reserva posee un porcentaje de MO alto equivalente a 38 %, el cual, según Peñuelas y Ocaña (1996) aumenta la capacidad de intercambio catiónico y el pH y, al mismo tiempo, la alta CIC amortigua la salinidad del suelo, situación que se observa en el presente estudio, donde se aprecia un suelo con CIC alto de 68,63 meq/100 g, conductividad eléctrica no salina con 0,32 Us/cm, un pH de 4 extremadamente ácido y, del mismo modo, una estabilidad de agregados estable con 4,30 DMP (Tabla 4).

Tabla 4

Diferencias en el componente suelo

Indicadores	Área de restauración ecológica	Área de uso pecuario
Estabilidad de agregados (DMP)	4,30 (Estable)	4,26 (Estable)
Materia Orgánica (%)	38,19 (Alta)	36,78(Alta)
pH	4 (Extremadamente ácido)	4,84 (Muy fuertemente ácido)
Textura del suelo	Franco	Franco
Conductividad eléctrica (Us/cm)	0,32 (No salina)	0,08 (No salina)
Capacidad de intercambio catiónico (meq/100 g)	68,63 (Alta)	66,53(Alta)

Uno de los principales beneficios de la restauración ecológica es la recuperación de la salud del suelo y, también, la capacidad del ecosistema para producir bienes

o prestar servicios, contribuyendo a la conservación de la biodiversidad y a su fertilidad, aumentando el porcentaje de la superficie del suelo cubierta por plantas vivas y, mejorando los parámetros físicos y químicos de este componente (Aguilar-Garavito y Ramírez, 2015; Enríquez y Cremona, 2018; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2020), situación factible de observar en el área de restauración ecológica, donde además de los valores resultantes de la cuantificación de los indicadores, se manifiesta su fertilidad; en el suelo se establece vegetación arbórea nativa de gran altura y desarrollo del tallo, mejorando las condiciones socioeconómicas de los responsables de la reserva natural.

Los efectos de la baja presión de ganado en el área de uso pecuario afectan los indicadores de suelo, los cuales tienen una reducción mínima pero evidente, debido a que el efecto de la ganadería está muy relacionado con la carga animal y, aunque esta práctica a menudo altera de forma reducida la fertilidad del suelo, aumenta su compactación (Medina, 2016). Estupiñán et al. (2009) expresan que reduce su porosidad e incrementa la fuerza con la que la raíz debe penetrar, lo cual se convierte en un limitante para el proceso de restauración ecológica; en este sentido, se comprende que, es necesario realizar la selección de nuevos indicadores del componente suelo, con el fin de establecer diferencias más significativas en cuanto a las propiedades mencionadas.

Diferencias existentes en el componente de vegetación en las dos áreas de estudio

Uno de los principales efectos de la restauración ecológica es la recuperación de cobertura vegetal, incrementando las interacciones planta-animal que benefician los procesos de polinización, recobrando, además, los servicios ecosistémicos a diferentes escalas (Aguilar-Garavito y Ramírez, 2015; Sociedad Internacional para la Restauración Ecológica (SER), 2004). Dentro de este marco, Vargas et al. (2012) confirman que, la importancia de la vegetación en la restauración también radica en que la persistencia de una gran cantidad de organismos depende de este componente. De este modo, como se puede observar en la Tabla 5, en el área de conservación se ubicó seis especies arbóreas, con un promedio de DAP de 0,34 m y un promedio de altura de 19 m, todas nativas de la zona, debido al proceso de 50 años de restauración ecológica pasiva que allí se lleva a cabo; por ello, se puede observar una gran diversidad de especies, las cuales están adaptadas a las condiciones del área, favoreciendo las condiciones del suelo.

Tabla 5

Diferencias en el componente vegetación

Indicadores	Área de restauración ecológica	Área de uso pecuario
Composición	Seis especies arbóreas	Siete especies herbáceas
Desarrollo del tallo (DAP) (m)	Promedio de 0,34	N/A
Crecimiento vertical (m)	Promedio de 19	N/A
Origen	100 % nativo	100 % nativo

Dada la ausencia de registros históricos sobre el estado de la vegetación, los datos aquí recopilados sirven como base para nuevas investigaciones, aportando en primera instancia un listado que recopila algunas de las especies existentes, su desarrollo de tallo, altura y origen. Al considerar que el proceso que se viene realizando en el área de estudio consiste en restauración ecológica pasiva, es posible afirmar que la intervención humana en la regeneración natural fue mínima.

Las prácticas asociadas a la ganadería incluyen la eliminación de vegetación; en un área de páramo sometido a uso pecuario, es notable el aumento y la cobertura de especies resistentes al pisoteo, altamente competitivas, principalmente pastos y plantas rasantes. Los pastos pueden permanecer dominantes por décadas en los campos abandonados, dificultando la implantación, establecimiento y reclutamiento de muchas especies leñosas (Medina, 2016). En este orden de ideas, como se puede apreciar en la Tabla 5, en el área de uso pecuario de este estudio, se halló siete especies herbáceas, entre las cuales la *Agrostis stolonifera* (pasto) fue la de mayor cobertura y una frecuencia del 100 %. Cabe resaltar que, no se evidenció ningún tipo de especie arbórea debido a la actividad antrópica; ante estos datos, es notable ver cómo esta práctica altera el ecosistema presente en el área, limitando la regeneración natural.

Conviene resaltar lo mencionado por Meli (2003), quien afirma que el reemplazo de bosques por potreros para destinarlos a actividades pecuarias genera una barrera física continua de pastos, impidiendo la llegada de semillas dispersadas al suelo y su posterior implantación; el establecimiento de plántulas disminuye, desaparece el banco de plántulas y el de semillas y, se afectan micorrizas del suelo esenciales para germinación y crecimiento de la mayoría de plantas vasculares (Vargas, 2011), situación que es posible observar en el área de uso pecuario, pues mediante la investigación se encontró únicamente especies herbáceas tales como: *Plantago sp.*, *Taraxacum officinale*, *Agrostis stolonifera*, *Hydrocotyle incrassata*, *Carex sp.*, *Veronica serpyllifolia* y *Sphagnun sp.*

Diferencias existentes en el componente socioeconómico en las dos áreas de estudio

Tabla 6

Diferencias en el componente socioeconómico

Indicadores	Área de restauración ecológica	Área de uso pecuario
Oferta laboral	Compra de productos y prestación de servicios	Actividad no prioritaria
Ingresos al hogar	$ 100.000 pesos colombianos por visitante	Actividad no prioritaria
Fortalecimiento de capacidades	Capacitaciones sobre, conservación, economía solidaria y necesidades básicas	Actividad no prioritaria

El área de restauración ecológica provee servicios ecosistémicos: el de aprovisionamiento como el agua dulce, servicios de apoyo como la existencia de hábitats y ciclo de nutrientes, servicios de regulación como la depuración de agua y, servicios culturales como recreación, turismo e inspiración espiritual, promoviendo así la oferta laboral y los ingresos al hogar en la reserva (Tabla 6). Es indudable la importancia de la restauración ecológica, ya sea con fines de investigación o de desarrollo, principalmente por los beneficios que esta aporta, como los sociales, que se derivan de la mejora en las condiciones ambientales locales, la recuperación de los servicios ecosistémicos e, incluso, de actividades productivas de los sitios recuperados (SER, 2004).

De lo anterior se puede constatar lo dicho por Aronson et al. (2007) y Lamb et al. (2011), quienes afirman que el proceso de restauración ecológica ayuda a la recuperación de la resiliencia de los ecosistemas y el restablecimiento del 'capital natural' del cual dependen los seres humanos, por lo cual, con la implementación de esta práctica, es posible generar tanto beneficios económicos como sociales (Brink, 2011). De acuerdo con Gobster y Hull (2000), los beneficios sociales están relacionados con la recuperación de valores ambientales, de modo que, la conservación de áreas de restauración en la reserva natural, propicia el objetivo final de este proceso, haciendo posible recuperar los atributos esenciales que definen el ecosistema, como su estructura, composición y función; además, como se puede evidenciar en la presente investigación, la restauración ecológica permite

generar ingresos económicos esenciales para el sustento de la reserva natural y de sus encargados, convirtiéndose en un área de conservación que, adicionalmente, genera empleo por medio de los servicios prestados.

Seguidamente, los principales ingresos que obtiene la reserva provienen del desarrollo de actividades como el ecoturismo, el senderismo y las labores derivadas de la atención a los visitantes, entre las cuales se destaca: alimentación, hospedaje y senderismo guiado. Cabe resaltar que, no es posible calcular un monto exacto de ganancias mensuales, ya que existen fluctuaciones en cuanto al número de grupos o visitantes a la reserva; no obstante, los ingresos fomentan el fortalecimiento de capacidades de las personas involucradas en este proceso, permitiendo que continúen concientizando sobre la importancia del cuidado de los recursos naturales.

Bajo este planteamiento, es fundamental resaltar que la restauración ecológica también puede verse como un proceso de construcción social, donde el trabajo constante de los involucrados consolida estrategias que facilitan y garantizan una mejor planificación acerca del uso de los recursos y servicios ambientales que prestarán los ecosistemas restaurados, favoreciendo el desarrollo sustentable (Cano y Zamudio, 2006) y, al mismo tiempo, beneficiándose del entorno natural a través de actividades enmarcadas en establecer una relación entre el ser humano y la naturaleza, evitando el deterioro de la misma.

No obstante, Aguirre et al. (2013) aseveran que, un limitante para la restauración ecológica es el uso pecuario, ya que dificulta el crecimiento y desarrollo de especies vegetales, debido a los efectos negativos sobre las propiedades del suelo. Así, el área destinada al uso pecuario en la reserva natural 'Encanto Andino', ha tenido durante 50 años como actividad, la ganadería de leche y levante; cabe resaltar que, en años anteriores fue adquirida por la reserva, para el sustento de una cabeza de ganado bovino, con el fin de reducir gastos de arriendo de un terreno y con esto, producir leche para consumo familiar y de visitantes de la reserva. Esta actividad no se considera prioritaria, por lo cual no son requeridas capacitaciones sobre el tema, ya que tampoco genera oferta laboral y, por lo tanto, los ingresos que aporta al hogar son bajos.

Herrera (2011) expresa que, en un escenario de páramo antropizado, la transformación de los territorios intensificados y de los ecosistemas supone un beneficio económico a corto plazo, pero también, la pérdida del bienestar humano a largo plazo, debido a la degradación de la biodiversidad y, por tanto, la pérdida de un flujo variado de servicios, así como la pérdida de valores culturales como la identidad cultural, el conocimiento ecológico local o, el sentido de pertenencia de muchas comunidades rurales; por consiguiente, la actividad pecuaria en el área de estudio produce deterioro ambiental, pocos beneficios sociales y, al mismo tiempo, bajos ingresos económicos, convirtiendo a la ganadería, dentro de la Reserva Natural 'Encanto Andino', en una actividad económica que genera un mayor número de desventajas económicas con respecto al área de conservación.

Conclusiones

Partiendo de los resultados obtenidos en la investigación, es posible afirmar que el área de restauración ecológica genera mayores beneficios ambientales, como la prestación de servicios ecosistémicos: sociales, como el fortalecimiento de la cultura y, económicos, en cuanto a los ingresos recibidos por medio del ecoturismo y sus actividades complementarias; esto en comparación con el área de uso pecuario, la cual se convierte en una limitante para el proceso de restauración, afectando las propiedades del suelo, la implantación y el establecimiento de especies arbóreas, conllevando la pérdida de beneficios socioeconómicos.

En cuanto al componente suelo, teniendo en cuenta los resultados obtenidos por medio de los indicadores priorizados, es posible afirmar que las diferencias encontradas fueron mínimas, debido a la baja presión de ganado en el área de uso pecuario.

La actividad productiva de ecoturismo y senderismo se convierte en una alternativa válida que genera beneficios económicos, dando lugar a ingresos financieros para los responsables de la reserva natural.

Los resultados obtenidos como primera cuantificación de los indicadores priorizados en este estudio, permitieron medir la importancia de cada indicador en los componentes de suelo, vegetación y socioeconomía, instaurando una línea base para futuras investigaciones sobre el tema, a partir de los interrogantes que surgen a raíz de los resultados obtenidos.

Referencias

Aguilar-Garavito, M. y Ramírez, W. (2015). *Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres.* Editorial Alexander von Humboldt.

Aguirre, N., Torres, J. y Velasco-Linares, P. (2013). Guía para la restauración ecológica en los páramos del Antisana. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/07/Gu%C3%ADa-Metodol%C3%B3gica-restauracion-p%C3%A1ramos.pdf

Amézquita, E., Rao, I., Rivera, M., Corrales, I. I. y Bernal, J. H. (Eds.). (2013). *Sistemas agropastoriles: un enfoque integrado para el manejo sostenible de oxisoles de los Llanos Orientales de Colombia.* Centro Internacional de Agricultura Tropical.

Aronson, J., Milton, S. J., & Blignaut, J. N. (2007). Restoring natural capital: definitions and rationale. https://www.researchgate.net/publication/285675774_Restoring_natural_capital_definitions_and_rationale

Brink, P. t. (Ed.). (2011). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity in National and International Policy Making*. Routledge.

Bueno, R. y Fernández, J. C. (2019). La capacidad de intercambio catiónico del suelo: una bóveda de nutrición clave en la producción de alimentos. *Ámbito Investigativo*, *4*(1), 7-12.

Cano, I. J. y Zamudio, N. (2006). *Recuperar lo nuestro. Una experiencia de restauración ecológica con participación comunitaria en predios del Embalse de Chisacá, localidad de Usme, Bogotá, D.C.* Universidad Nacional de Colombia.

Cárdenas, D. y Salinas, N. R. (Eds.). (2007). *Libro rojo de plantas de Colombia. Especies maderables amenazadas I parte.* Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, SINCHI. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Castrillón, V. y López, L. W. (2010). *Caracterización florística y estructural del bosque secundario de la vereda El Estero, área de influencia del humedal Ramsar, laguna de La Cocha, municipio de Pasto* [Tesis de Pregrado, Universidad de Nariño]. https://sired.udenar.edu.co/5336/

Dale, V. H., & Beyeler, S. C. (2001). Challenges in the development and use of ecological indicators. *Ecological Indicators, 1*, 3-10. https://doi.org/10.1016/S1470-160X(01)00003-6

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). (1999). Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051284.pdf

Díaz, L. y Torruco, U. (2013). La entrevista recurso flexible y dinámico. *Investigación en Educación Médica, 2*(7), 162-167. https://doi.org/10.1016/S2007-5057(13)72706-6

Echeverry, A. (2003). *Compendio de 151 especies de flora nativa de uso tradicional o potencial en el área de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia.* Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia CORANTIOQUIA.

Enríquez, A. S. y Cremona, M. V. (2018). El rol de los suelos en la restauración ecológica. En *La restauración ecológica como proyecto educativo: Aportes teóricos y Líneas de acción* (pp. 37-58). Editorial de la Universidad Nacional del Comahue.

Estupiñán, L. H., Gómez, J. E., Barrantes, V. J. y Limas, L. F. (2009). Efecto de actividades agropecuarias en las características del suelo en el páramo El Granizo (Cundinamarca, Colombia). *Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica, 12*(2), 79-89. https://doi.org/10.31910/rudca.v12.n2.2009.694

Gálvez, J. (2002). La restauración ecológica: conceptos y aplicaciones. http://recursosbiblio.url.edu.gt/publicjlg/IARNA/serie_tec/08tec2002.pdf.

García-Ulloa, J., Lastra, C. A., Salas, C. y Medina, M. (2005). Studies on Colombian grasses (Poaceae): Twenty chorological novelties. *Caldasia, 27*(1), 131-145.

Gobster, P. H., & Hull, R. B. (Eds.). (2000). *Restoring nature: perspectives from the social sciences and humanities.* Island Press.

Gonzáles, F. H. (2016). *Caracterización fisicoquímica y microbiológica de suelos paramunos del P.N.N. Sumapaz sometidos al cultivo convencional y orgánico de papa post-descanso de actividad agrícola* [Tesis de Pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. https://sie.car.gov.co/handle/11349/7152

Herrera, J. M. (2011). El papel de la matriz en el mantenimiento de la biodiversidad en hábitats fragmentados. De la teoría ecológica al desarrollo de estrategias de conservación. *Ecosistemas*, *20*(2), 21-34.

Hofstede, R., Calles, J., López, V., Polanco, R., Torres, F., Ulloa, J., Vásquez, A. y Cerra, M. (2014). Los páramos andinos ¿Qué sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo. UICN, Quito, Ecuador. https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2014-025.pdf

Holl, K., Loik, M. E., Lin, E., & Samuels, I. A. (2000). Tropical montane forest restoration in Costa Rica: overcoming barriers to dispersal and establishment. *Restoration Ecology*, *8*(4), 339-349. https://doi.org/10.1046/j.1526-100x.2000.80049.x

Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (1992). *Fertilización de diversos cultivos. Quinta aproximación*. Instituto Colombiano Agropecuario.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2006). *Métodos analíticos del Laboratorio de Suelos* (6.ª ed.). Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2018). *Guía de muestreo*. https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/guiademuestreo.pdf

Instituto Humboldt y Asociación para el Desarrollo Campesino (ADC). (2014). Informe final de actividades de campo. La ventana de biodiversidad Río Guamués, corregimiento El Encano, municipio de Pasto, Nariño, Colombia. http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/9341/7_ADC_Rio_Guamues.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Jaramillo, J. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Nacional de Colombia.

Lamb, D., Andrade, A., Shepherd, G., Bowers, K., & Alexander, S. (2011). Building resilience when restoring degraded ecosystems: Improving biodiversity values and socioeconomic benefits to communities. En *A bird, a fish, a turtle: mangrove restoration for endangered species and human happiness* (pp. 57-59).

Márquez, R., Arcipreste, M., Valladares, J., Salazar, F., Aguilar, M., Márquez, A. y Acevedo, L. (2016). Ecoturismo y desarrollo comunitario: el caso de Valentín Natural en el sureste de México. *Anuario Turismo y Sociedad* (18), 117-135. https://doi.org/10.18601/01207555.n18.07

Medina, C. (2016). Efectos de la compactación de suelos por el pisoteo de animales, en la productividad de los suelos. *Revista Colombiana Ciencias Animales*, *8*(1), 88-93.

Meli, P. (2003). Restauración ecológica de bosques tropicales: veinte años de investigación académica. *Interciencia*, *28*(10), 581-589.

Montaño, M., Campos, J. J. y Louman, B. (2006). *Uso de principios, criterios e indicadores para monitorear y evaluar las acciones y efectos de políticas en el manejo de los recursos naturales*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

Montico, S. (2006). Principios para el manejo de situaciones con suelos salinos y alcalinos. https://rephip.unr.edu.ar/handle/2133/537?show=full

Mostacedo, B. y Fredericksen, T. S. (2000). Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. http://www.bio-nica.info/biblioteca/mostacedo2000ecologiavegetal.pdf

Murcia, C., Guariguata, M. R., Andrade, A, Andrade, G. I., Aronson, J., Escobar, E. M., Etter, A., Moreno, F. H., Ramírez, W. y Montes, E. (2016). Challenges and prospects for scaling-up ecological restoration to meet international commitments: Colombia as a case study. *Conservation Letters*, *9*(3), 213-220. https://doi.org/10.1111/conl.12199

Noss, R. F. (1990). Indicators for monitoring biodiversity: A hierarchical approach. *Conservation Biology*, *4*, 355-364. https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1990.tb00309.x

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2020). Documento de posición sobre "restauración de los ecosistemas" relativo a los ecosistemas de producción, en el contexto del Decenio de las Naciones Unidas sobre la Restauración de los Ecosistemas (2021-2030). https://www.fao.org/publications/card/es/c/ND425ES/

Ortiz, M., González, J. y López, T. (2005). Páramos: hidrosistemas sensibles. *Revista de Ingeniería* (22), 64-75. https://doi.org/10.16924/revinge.22.8

Pacheco, J. F. y Contreras, E. (2008). *Manual metodológico de evaluación multicriterio para programas y proyectos*. Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES).

Peñuelas, J. L. y Ocaña, B. (1996). Cultivo de plantas forestales en contenedor. Principios y fundamentos. *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.*

Ramírez, C. R., Duarte, C. H. y Galeano, J. O. (2012). Estudio de suelos y su relación con las plantas en el páramo El Verjón, ubicado en el municipio de Choachí, Cundinamarca. *TECCIENCIA*, *6*(12), 56-72.

Sales-Dávila, B. (2006). *Caracterización de la materia orgánica de suelos representativos de ecosistemas amazónicos del Perú, departamento de Ucayali, e influencia de su uso y manejo en el secuestro del carbono* [Tesis doctoral, Universidad de Sevilla]. https://idus.us.es/handle/11441/103666.

Sociedad Internacional para la Restauración Ecológica (SER). (2004). Principios de SER International sobre la restauración ecológica. https://cdn.ymaws.com/www.ser.org/resource/resmgr/custompages/publications/SER_Primer/ser-primer-spanish.pdf

Tanguila, N. N. y Pico, J. D. (2020). *Plan de restauración ecológica para mitigar los impactos ambientales del Cerro Puñalica del Cantón Tisaleo, Provincia de Tungurahua* [Tesis de Pregrado, Universidad Estatal Amazónica]. https://repositorio.uea.edu.ec/xmlui/handle/123456789/852?show=full

Vargas, O. (2007). *Guía metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino.* Grupo de Restauración Ecológica, Universidad Nacional de Colombia.

Vargas, O. (2011). Restauración ecológica: biodiversidad y conservación. *Acta Biológica Colombiana*, *16*(2), 221-246.

Vargas, O., Díaz, J. E., Reyes, S. P. y Gómez, P. A. (2012). *Guías técnicas para la Restauración Ecológica de los ecosistemas de Colombia*. Universidad Nacional de Colombia.



Elección del medio de soporte para un reactor anaerobio de crecimiento adherido

Sebastián Camilo Moran Paz[1]

Diana Carolina Romo Benavides[2]

Tatiana Mañunga[3]

Paola Ortega Guerrero[4]

Resumen

Entre las alternativas para tratar las aguas residuales están los reactores anaerobios de crecimiento adherido, que son sistemas biológicos que permiten la eliminación de materia orgánica. La elección del medio de soporte en ellos influye en su diseño y, sobre todo, en la remoción de cargas contaminantes. Así, el objetivo de esta investigación fue seleccionar dos materiales como medio de soporte para uno de ellos, a escala de laboratorio. Se realizó una revisión bibliográfica en bases de datos para la identificación de los medios de soporte más comúnmente empleados. Los medios encontrados fueron caracterizados en función del peso, resistencia, costos, disponibilidad en la zona, porosidad, reacción con el agua residual y nivel de adherencia, como principales requisitos deseables para materiales de soporte. Posteriormente, se construyó una matriz de comparación con tres escalas y, cada característica fue evaluada en función del requerimiento. Los resultados parciales mostraron que es común el uso de carbón activado, vidrio sinterizado, espumas de poliuretano (EPU) y manguera conduflex corrugada. La matriz de comparación arrojó que la espuma de poliuretano y la manguera conduflex corrugada son los dos materiales más adecuados para implementarse en un reactor.

Palabras clave: agua residual; medio de soporte; reactor anaerobio.

[1] Universidad Mariana, Programa Ingeniería Ambiental, Colombia. Correo: semoran@umariana.edu.co
[2] Universidad Mariana, Programa Ingeniería Ambiental, Colombia. Correo: diaromo@umariana.edu.co
[3] Universidad Mariana, Programa Ingeniería Ambiental, Colombia. Correo: tmanunga@umariana.edu.co
[4] Universidad Mariana, Programa Ingeniería Ambiental, Colombia. Correo: portega@umariana.edu.co

Introducción

Los medios de soporte son fundamentales a la hora de diseñar, construir y arrancar un reactor, ya que es a través de este lecho filtrante donde se forma la biopelícula que, más adelante se convertirá en el tratamiento biológico del efluente del reactor. Según González y Gómez (2016)

> La actividad biológica se aprovecha [principalmente] para remover del agua residual, principalmente sustancias orgánicas biodegradables, coloidales o disueltas, mediante el proceso de conversión a gases y en biomasa extraíble mediante el proceso de sedimentación. La actividad biológica también se usa para remover nitrógeno y fósforo del agua residual. (p. 32)

Con base en lo anterior, es clave resaltar que, en la bibliografía de Romero (2005) existen cuatro grupos principales de procesos biológicos: aerobios, anóxicos, anaerobios y combinados, aerobios con anóxicos o anaerobios. Dentro de cada grupo hay, además, diferentes tipos, dependiendo si el proceso es de crecimiento biológico suspendido, crecimiento biológico adherido o, una combinación de ellos. Asimismo, dependiendo del régimen de flujo predominante, los procesos biológicos son considerados de flujo continuo o intermitente y, del tipo de mezcla completa, flujo en pistón o flujo arbitrario.

Así pues, dentro del trabajo de investigación, se eligió una alternativa como tratamiento secundario, donde se hizo uso de los tratamientos anaerobios. Según Orozco (2005), estos se han mostrado altamente competitivos para el tratamiento grueso de las aguas residuales domésticas (ARD) y las aguas residuales industriales (ARI). Este proceso de degradación de la materia orgánica (MO) se lleva a cabo a través de microorganismos anaerobios, en ausencia de oxígeno, una de las condiciones que determinan la producción de gas metano dentro del reactor.

Ahora bien, para hacer una adecuada selección de los materiales que se utiliza como medio de soporte, se debe tener en cuenta que, en superficies rugosas se incrementa la tasa de crecimiento de la biopelícula. En el medio de soporte ocurren dos fases para la formación de la misma: la primera, es la de adherencia y, la segunda, la de crecimiento por parte de la biomasa adherida en la fase anterior; finalmente, el medio de contacto está totalmente cubierto por una biopelícula con una compleja estructura de grupos de células microbiales. En definitiva, el propósito de un lecho filtrante es asegurar la formación de biomasa, además de mejorar el flujo uniforme dentro de un reactor.

Desarrollo

Elaboración de matriz para selección de medios de soporte

Descripción de la zona de estudio

La investigación se desarrolló en la zona del campus universitario Alvernia de la Universidad Mariana, donde están ubicados los laboratorios que cumplen con infraestructura física adecuada a los estándares internacionales de calidad, que permiten el diseño y ejecución del filtro, para llevar a cabo las pruebas necesarias. A continuación, en la Figura 1 se presenta una fotografía de la zona de la realización de estudio.

Figura 1

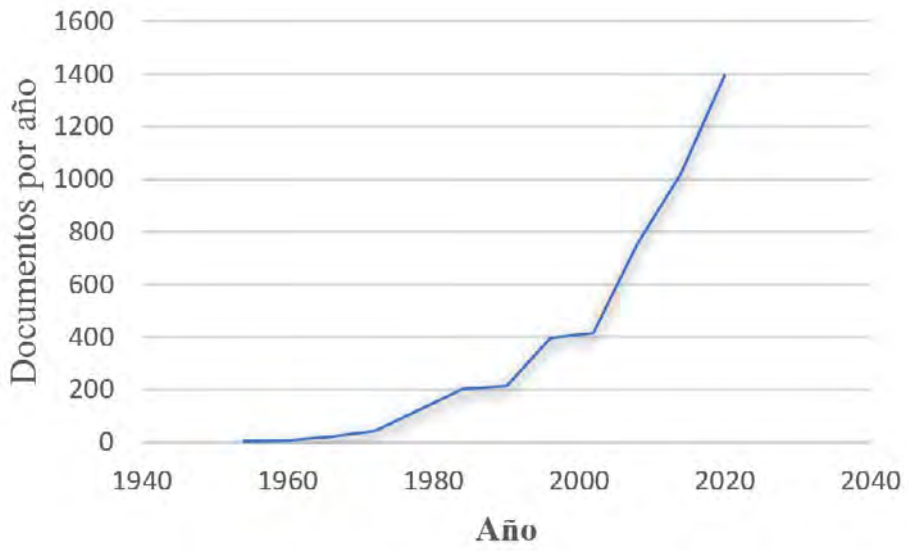
Campus Universitario Sede Alvernia



El campus universitario se ubica en la ciudad de San Juan de Pasto, en el corregimiento de Mapachico, sobre las faldas del volcán Galeras, a 800 metros después del Hospital San Pedro; hace parte de la comuna número 8 de la ciudad; posee múltiples vías para facilitar su acceso; la sede se halla a una altura de 2637 m s.n.m., 1°13’11’’N 77°17’54’’W (Google Earth, 2020). Presenta una temperatura promedio de 10 °C. En cuanto a la precipitación, tiene un comportamiento bimodal con dos periodos lluviosos y dos secos en el año; la distribución espacial de las lluvias medias anuales en la ecorregión muestra variaciones mayores a 900 mm anuales de lámina precipitada. La humedad relativa media multianual de la zona es del 87 %. En la Figura 2 se aprecia el mapa topográfico de la ubicación de la zona donde se lleva a cabo la idea de investigación.

Figura 2

Cantidad de artículos científicos relacionados con medios filtrantes



Metodología

Para alcanzar el objetivo fue necesario identificar qué tipo de materiales se puede utilizar como medio de soporte, al igual que, los materiales más comúnmente empleados en reactores para el crecimiento de microorganismos. Para esto se realizó una búsqueda de literatura en diferentes fuentes como Scielo, Scopus y Google Scholar, haciendo uso de palabras clave como *filter medium*, *anaerobic reactor* y *residual water*.

A partir de estos resultados, se puede determinar que el tema central de investigación es de interés, ya que genera un aporte significativo a la creación e implementación de nuevos métodos, para identificar medios de soporte para la disminución de cargas contaminantes en aguas residuales. Algunos de los avances relacionados con el tema de investigación son citados a continuación.

Para identificar los medios de soporte, fue necesario apoyarse en los criterios recomendados por De Lemos Chernicharo (2007), por quien se comprende qué características debe tener un medio de soporte y por qué son importantes, criterios como porosidad, resistencia, área, disponibilidad en la zona, costo, reacción con el agua residual y nivel de adherencia.

Materiales y métodos

El primer paso para lograr alcanzar el objetivo de la investigación fue tener en cuenta una matriz de comparación, en la cual se consideró los materiales seleccionados con base en la bibliografía y los criterios recomendados por De Lemos Chernicharo (2007).

El análisis de los resultados se efectuó con la matriz adaptada de la selección de materiales, respecto a las características de cada material, como nivel de adherencia, costo del material, porosidad, peso, resistencia y disponibilidad en la zona.

Una vez definidos y seleccionados los materiales para ser usados como medios filtrantes, se hizo una caracterización, enfocada en el peso, densidad, porosidad y tamaño. La caracterización se desarrolló en los laboratorios de física en el Campus Universitario Alvernia, con acompañamiento de ingenieros especializados.

Resultados y Análisis

Se presenta los resultados obtenidos después de analizar los diferentes tipos de materiales para ser usados como medios filtrantes. El análisis de los resultados se realiza con la matriz adaptada de la selección de materiales, con respecto a las características de cada material, como nivel de adherencia, costo del material, porosidad, peso, resistencia y disponibilidad en la zona, como se evidencia en la Tabla 1.

Tabla 1

Características a tener en cuenta para la valoración de la matriz

Medio Filtrante	Nivel de adherencia	Costo del material	Porosidad	Reacción con el agua residual	Disponibilidad en la zona	Peso (Densidad)		Resistencia
Carbón Activado	Alto	Alto	Alta	Inerte	No disponible	2.1 g/ cm3	Ligeramente liviano	Alta resistencia
Arena	Alto	Bajo	Baja	Inerte	Disponible	1.45 g/ cm3	Ligeramente liviano	Alta resistencia
Antracita	Alto	Alto	Alta	Inerte	No disponible	0.43 g/ cm3	Ligeramente liviano	Alta resistencia
Vidrio Sinterizado	Alto	Alto	Baja	Inerte	Disponible	2.9 g/ cm3	Pesado	Alta resistencia
Cápsulas de café rotas	Medio	Bajo	Baja	Inerte	Disponible	0.04 g/ cm3	Liviano	Parcialmente resistente

Espumas de poliuretano (EPU)	Alto	Bajo	Alta	Inerte	Disponible	0.012 g/cm3	Liviano	Alta resistencia
Ladrillo cerámico refractario	Alto	Bajo	Bajo	Inerte	Disponible	1,60 g/ cm3	Ligeramente liviano	Alta resistencia
Manguera conduflex	Alto	Bajo	Baja	Inerte	Disponible	0.67 - 0.97 g/ cm3	Liviano	Alta resistencia
Piedras volcánicas	Alto	Bajo	Baja	Inerte	Disponible	3.1 g/ m3	Pesado	Alta resistencia

Una vez definida la caracterización de los materiales, se procedió a evaluar, de acuerdo con el puntaje, con una escala numérica, donde son asignados valores a cada material, los cuales oscilan entre 1, 3 y 5, donde 1 no cumple con el requerimiento, 3 cumple parcialmente y. 5 cumple con el requerimiento. como se evidencia en la Tabla 2.

Tabla 2

Matriz de selección de materiales

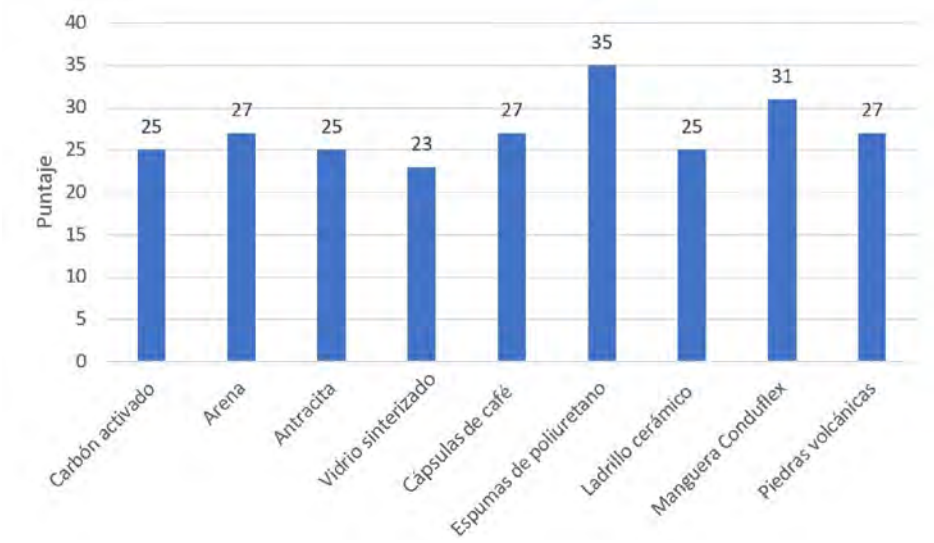
Medio Filtrante	Nivel de adherencia	Costo del medio	Porosidad	Reacción con el agua residual	Disponibilidad en la zona	Peso	Resistencia	Puntaje Total
Carbón activado	5	1	5	5	1	3	5	**25**
Arena	5	5	1	5	5	3	3	**27**
Antracita	5	1	5	5	1	3	5	**25**
Vidrio sinterizado	5	1	1	5	5	1	5	**23**
Cápsulas de café rotas	3	5	1	5	5	5	3	**27**
Espumas de poliuretano	5	5	5	5	5	5	5	**35**
Ladrillo cerámico refractario	5	1	1	5	5	3	5	**25**
Manguera conduflex	5	5	1	5	5	5	5	**31**
Piedras volcánicas	5	5	1	5	5	1	5	**27**

Los resultados parciales mostraron que, es común el uso de carbón activado, vidrio sinterizado, EPU y manguera conduflex corrugada en reactores anaerobios de crecimiento adherido (RACA). La matriz de comparación arrojó que la EPU y la manguera conduflex corrugada son los dos materiales más adecuados para implementarse en un RACA.

Por lo anterior, se obtuvo puntajes de 35 para las EPU y 31 para la manguera conduflex corrugada. En la Figura 3 se puede observar que, el material con puntaje más bajo es el vidrio sinterizado, con un puntaje de 23, dado que no cumple con las condiciones requeridas, obteniendo puntajes mínimos en las características de peso, porosidad y costo.

Figura 3

Resultados Matriz de Selección



Haciendo un análisis cualitativo de la abscisa y ordenada que se encuentra en la Figura 3, se ve reflejado que los materiales que obtuvieron mayor puntaje, cumplen con las características, ya que presentan alta porosidad, bajo costo y peso óptimo según los requerimientos.

Una vez definidos los materiales, se procedió a realizar su adquisición, de diferentes maneras: la manguera conduflex corrugada, por medio de compra, cuyo costo no es elevado, pero también su adquisición se puede hacer por medio de reciclaje, por ejemplo, en las construcciones, donde existen desechos de este material, el cual puede ser muy útil; igualmente, por medio de una recolección de recipientes de jabones líquidos en zonas urbanas de la ciudad de Pasto. Posteriormente, se hizo un acondicionamiento del material, a través de una limpieza y desinfección manual.

Figura 4

Manguera conduflex corrugada



El segundo material filtrante es la EPU, en el que se tuvo en cuenta su espesor, ya que es un elemento muy versátil y de alta porosidad; la recolección se llevó a cabo en la ciudad de Pasto, después de hacer varias cotizaciones en los establecimientos comercializadores; luego, se revisó la norma técnica, con el fin de cumplir con las especificaciones del sector de diagnóstico y remediación ambiental.

Figura 5

Espuma de Poliuretano



Caracterización de los materiales elegidos como medio de soporte (porosidad, peso, densidad, tamaño)

Preparación de los materiales como lecho filtrante

Acondicionamiento del material

Para realizar el acondicionamiento de la EPU y de la manguera conduflex corrugada para ser usados como lecho filtrante, se tuvo en cuenta algunas etapas:

Figura 6

Diagrama de etapas



Después de la recolección, los materiales fueron transportados hacia las instalaciones de la Universidad Mariana, sede Alvernia, laboratorio de física, facultad de Ingeniería, donde se muestreó tres metros de manguera conduflex corrugada y un metro cuadrado de EPU de 4,5 centímetros de espesor.

Una vez listo el material, se procedió a realizar cortes de forma simétrica (Figura 7), con el fin de que la biopelícula tuviera una mejor adherencia al área superficial de la espuma y obtener así, una disminución de las cargas orgánicas en el momento de realizar una caracterización del efluente.

Figura 7

Dimensionamiento de los materiales usados como lechos filtrantes en el RACA



Según Prieto y Velásquez (2018), los aspectos operacionales son también importantes para evitar taponamientos en el filtro; los tamaños de material para el filtro, reportados como los de mejores resultados, varían entre 2.5 y 7.5 cm, con tamaño uniforme desde la parte superior hasta el fondo. Un material más fino en el cuerpo del lecho puede ocasionar obstrucciones y, un material más grueso puede arrojar un efluente de peor calidad. Con base en lo anterior y, tomando las recomendaciones citadas, se estableció el tamaño de la EPU y la manguera de conduflex corrugada, con 3 cm de largo y de 3cm de diámetro, tratando de mantener la misma forma y área superficial para que no exista variación al momento de realizar las pruebas con trazadores en el RACA.

Caracterización de los materiales como lecho filtrante

Se llevó a cabo una caracterización de los dos medios filtrantes seleccionados en la matriz, espumas y manguera conduflex corrugada, con el propósito de cumplir y comprobar los criterios que puntuaron de acuerdo con la bibliografía, para lo cual se hizo ensayos de laboratorio para cada material; las pruebas arrojaron los siguientes resultados:

Manguera conduflex corrugada

Para realizar las pruebas de peso, volumen, densidad real y aparente de cada uno de los materiales usados como medio de soporte en el RACA, se tomó como referencia a Palacios-Díaz y Criado (2016), quienes abordan la flotación como una forma de hacer ver una aplicación del concepto de densidad. De ahí que, se hizo el análisis de ejemplos donde se compara los valores de las densidades de un líquido y del sólido inmerso en él (magnitudes que forman parte de las expresiones del empuje del líquido y del peso del sólido, respectivamente).

Pruebas de peso, volumen y densidad

Para los respectivos cálculos se tomó una muestra de 10 cm de largo de la manguera, se procedió a pesarla, obteniendo un valor de 3,42 g; para hallar su volumen se tuvo en cuenta un volumen de agua inicial en una probeta de 20 cm^3, que se llenó hasta 10 cm^3; posteriormente, se introdujo la muestra de manguera para hallar su volumen; este valor se obtiene a partir del volumen inicial de agua desplazado; en la probeta se logra un valor final de 16 cm^3, por lo que se puede hacer una resta y, finalmente, encontrar el volumen con un valor de 6 cm^3. Una vez hallados el peso y el volumen se calculó su respectiva densidad:

Ecuación 1

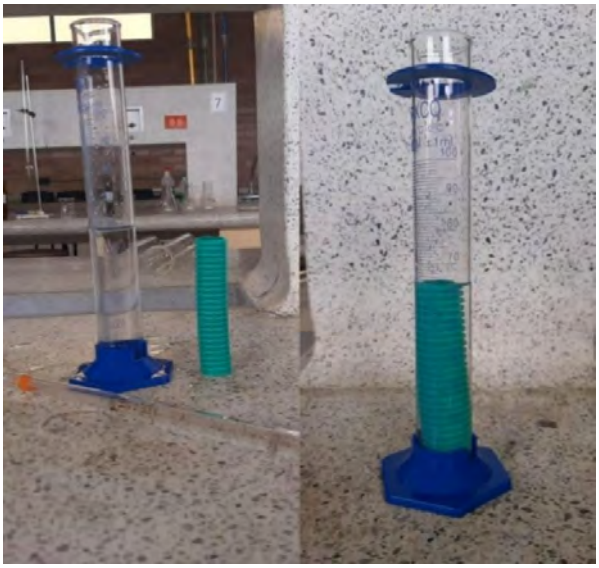
Cálculo de la densidad

$$\rho = \frac{m}{v}$$
$$\rho = \frac{3,42\ g}{6\ cm^3}$$
$$\rho = 0.57 g/cm^3$$

Con esta densidad, se logró comprobar que es un medio filtrante liviano y cumple con el requerimiento de la matriz.

Figura 8

Ensayo determinación de volumen de manguera conduflex corrugada



Espumas de poliuretano

Pruebas de peso, volumen, densidad y porosidad

Para calcular el peso, volumen y porosidad de la espuma se tuvo en cuenta una muestra cortada en una figura cuadrada de 8 cm de largo, 8 cm de ancho y 4 cm de espesor. Luego, se pesó en la balanza para saber su peso, obteniendo un valor de 3,1 g; para su volumen se realizó el cálculo por medio de:

Ecuación 2

Cálculo volumen de las espumas

$$v = L \cdot L \cdot L$$
$$v = 8\ cm \cdot 8\ cm \cdot 4\ cm$$
$$v = 256\ cm^3$$

Con lo anterior, se logró determinar la densidad aparente ya que, en cuerpos porosos, existe una deformación; se realizó de la siguiente manera:

Ecuación 3

Densidad aparente espumas

$$\rho.aparente\ espuma = \frac{3,1\ g}{256\ cm^3}$$
$$\rho.aparente\ espuma = 0,12\ g/cm^3$$

Con respecto a la densidad real, se tuvo en cuenta el siguiente ensayo:

Se utilizó dos probetas con volúmenes diferentes: una de 250 cm^3 y otra de 500 cm^3; se introdujo a espuma a presión en la probeta 1 y se le agregó 150 cm^3 de agua; se repitió el procedimiento en la probeta 2, logrando como resultado que, en ambas, se desplazó 6 cm^3 de agua, lo que reflejó que ese sería el volumen real de la espuma.

Ecuación 4

Densidad real espumas

$$\rho.real\ espuma = \frac{3,1\ g}{6\ cm^3}$$
$$\rho.real\ espuma = 0,52\ \frac{g}{cm^3}$$

Figura 9

Ensayo determinación densidad real espuma



Determinación capacidad de absorción

Para determinar la capacidad de absorción de la espuma se realizó un ensayo con un *beaker* y agua; con el peso inicial de la espuma se procedió a sumergirla en el recipiente con agua; se dejó que absorbiera agua hasta su punto de saturación; se taro la balanza con el *beaker*, para poder definir el peso de la espuma en su punto de saturación con el agua.

Ecuación 5

Capacidad de absorción

$$\begin{aligned} &\textbf{Capacidad de absorción} \\ &\quad = \textbf{peso de la esp. saturada} \\ &\quad - \textbf{peso de la esp. en estado natural} \\ &\textbf{Capacidad de absorción} = 100,06\ g - 3,1\ g \\ &\textbf{Capacidad de absorción} = 96,96\ g\ \textbf{de agua absorbida} \end{aligned}$$

Figura 10

Ensayo determinación capacidad de absorción

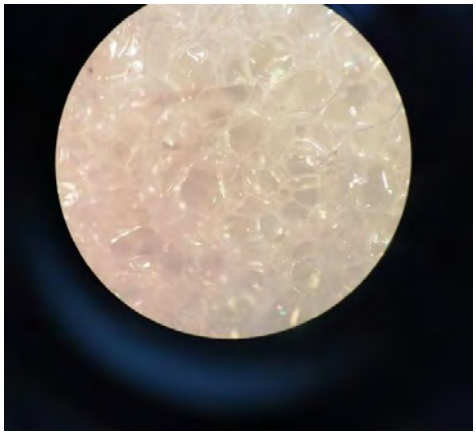


Haciendo una relación entre las partes de la espuma y el agua absorbida, se puede determinar que, por cada gramo de espuma, se almacenó aproximadamente 32 g de agua; por lo tanto, también se puede hacer una relación con una alta porosidad de la espuma.

Para la porosidad de la espuma también se sometió la misma a pruebas microscópicas; el resultado reflejó que tiene un alto porcentaje de poros, como se puede observar en la Figura 11.

Figura 11

Tamaño de los poros en la espuma observada desde el microscopio



Después, haciendo uso de los datos recolectados con los pasos descritos, se tuvo en cuenta la ecuación utilizada por Sangucho y Rodríguez (2018):

Ecuación 6

Porcentaje de porosidad espumas

$$\%\ \boldsymbol{Porosidad} = \frac{\boldsymbol{P_2 - P_1}}{\boldsymbol{P_2}} \cdot \mathbf{100}$$

…donde:

P2: peso del material acondicionado saturado, g

P1: peso del material acondicionado, g

$$\%\ \boldsymbol{Porosidad} = \frac{\mathbf{100,06_g - 3,1_g}}{\mathbf{100,06_g}} \cdot \mathbf{100} = \mathbf{96.9}\ \%$$

Conclusiones

La caracterización de medios filtrantes por medio de matrices permite hacer una selección de manera adecuada, posibilitando evaluar requerimientos necesarios para su selección.

Los resultados mostraron que, es común el uso de carbón activado, vidrio sinterizado, EPU y manguera conduflex corrugada en RACA.

La matriz de comparación arrojó que, las EPU y la manguera conduflex corrugada son los dos materiales más adecuados para ser implementados en un RACA.

Referencias

De Lemos Chernicharo, C. A. (2007). *Anaerobic Reactors*. Iwa Publishing.

González, J. P. y Gómez, K. A. (2016). *Optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Bojacá - Cundinamarca* [Tesis de Pregrado, Universidad Católica de Colombia]. https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/13907

Orozco, A. (2005). *Bioingeniería en aguas residuales. Teoría y Diseño*. Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental ACODAL.

Palacios-Díaz, R. y Criado, A. M. (2016). Explicaciones acerca de fenómenos relacionados con el volumen de líquido desplazado por un sólido en inmersión, con la densidad y con la flotación, en alumnado de Educación Secundaria Obligatoria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, *13*(2), 230-247.

Prieto, A. y Velásquez, V. R. (2018). *Diseño, construcción y evaluación de un reactor de filtro anaerobio de flujo ascendente (Fafa) a nivel de laboratorio para el tratamiento de agua residual doméstica* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6086?show=full

Romero, J. A. (2005). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño* (3.ª ed.). Escuela Colombiana de Ingeniería.

Sangucho, W. N. y Rodríguez, A. D. (2018). *Evaluación de la viabilidad del uso del raquis como lecho filtrante para el tratamiento de agua residual proveniente de la extracción de aceite de palma* [Tesis de Pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19452



Simulación del desempeño hidrológico de techos verdes mediante el uso del software EPA SWMM

José Duván Ordoñez Satizabal

Gloria Lucía Cárdenas Calvachi[1]

Resumen

Esta investigación está relacionada con el estudio del comportamiento de cubiertas verdes en eventos de escorrentía a partir de una simulación mediante el software EPA SWMM. El estudio tiene en cuenta variables de construcción y variables hidrometeorológicas; principalmente, se realiza un análisis del comportamiento de la precipitación; se enfoca en la necesidad de implementar módulos de techo verde en la ciudad de Pasto, Nariño, para la prevención de inundaciones, además de los beneficios ambientales que puede producir la implementación de este tipo de tecnología. Se aplicó la metodología AHP, para la selección de una alternativa adecuada para elegir un modelo adecuado para cubiertas verdes. Los datos hidrometeorológicos son descargados del sistema DHIME del IDEAM, para simular un evento de lluvia en la ciudad, durante el mes de noviembre de 2019. Se realizó un análisis de sensibilidad en las variables del módulo de techo verde y, finalmente, la simulación de escorrentía a partir de la información de estudios posteriores.

Palabras clave: techos verdes; precipitación; simulación; escorrentía.

Introducción

Actualmente, el mundo se encuentra en una etapa de cambio, debido a las consecuencias del cambio climático; por ende, se ha venido realizando investigaciones en este último lustro, las cuales requieren un compromiso a nivel gubernamental para su aplicación.

El estudio actual representa un posible escenario del comportamiento de un módulo de techo verde a partir de una fuerte precipitación y, el desempeño que puede mostrar, teniendo en cuenta factores hidrometeorológicos y diferentes variables del sustrato geotextil y otros parámetros simulados con el modelo SWMM, para analizar la escorrentía urbana y el posible uso de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) en la ciudad de Pasto.

[1] Universidad Mariana, Colombia.

Metodología

La investigación fue realizada con datos de la ciudad de Pasto, datos hidrometeorológicos como precipitación, evaporación y temperatura; para la selección del primer objetivo se aplicó la metodología Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), desarrollada por Thomas L. Saaty (Nantes, 2019) en el año 1980, para poder resolver el proceso de selección del modelo que se aplicó en techos verdes y sus alternativas a partir de diferentes criterios subjetivos.

Este tipo de metodología es fundamental para la toma de decisiones a partir del uso de la medición de criterios con un análisis cuantitativo y cualitativo, mediante una síntesis, el cual termina con la construcción de una matriz basada en los criterios, con la finalidad de obtener una comparación a partir de una escala de valores que varían de 1 a 5, en la cual 1 es la de menor importancia y 5, la de mayor importancia; los valores 2, 3, 4 son considerados como valores intermedios.

Para la calibración del modelo SWMM, se inicia con la descarga de los datos hidrometeorológicos del IDEAM en el periodo del mes de noviembre de 2019, fecha en la cual hubo inundaciones e inconvenientes por el desbordamiento de la quebrada Mijitayo, que ocasionó escorrentía en la ciudad, provocando inundaciones en algunos barrios. La descarga de datos hidrometeorológicos se realizó en su aplicativo Dhime, para la identificación de la información de la zona con parámetros tales como precipitación, evaporación y temperatura.

Por último, a partir de los datos calibrados y validados para el modelo, se realizó la simulación, obteniendo resultados de los datos de salida de la escorrentía en el modelo y verificando el comportamiento de los techos verdes en este evento de precipitación.

Resultados

Bondades del software SWMM aplicado para techos verdes frente a otros modelos

En la Tabla 1 se presenta los resultados obtenidos a partir de la realización de la metodología AHP en el que se comparó los modelos a partir de una revisión bibliográfica y las conclusiones de los autores para su calificación.

Tabla 1

Matriz normalizada de Análisis Jerárquico de los modelos

Criterios de evaluación	Datos de Entrada	Atributos	Importe de información	Económico	Datos de salida	TOTAL Vector Prioridad
SWAM	0,328	0,13	0,22	0,2	0,25	0,245
SWMM	0,453	0,61	0,49	0,4	0,59	0,505
HYDRUS 1D	0,219	0,26	0,29	0,4	0,16	0,250
PONDERADO	0,293	0,13	0,16	0,16	0,25	

La mejor alternativa a partir del análisis realizado fue el software SWMM, debido a que, para este estudio tenía una factibilidad más alta por su fácil manejo e implementación; no presenta costos de licencia y permite exportar datos. En este caso, el modelo SWMM resulta la herramienta que mejor se ajusta a los techos verdes, para aplicar con un valor ponderado de 0,505. Cabe resaltar que, las otras dos alternativas también podrían ser usadas en un estudio, si se considera otros criterios de evaluación para su selección o la información que pueda ser requerida.

Calibración del modelo

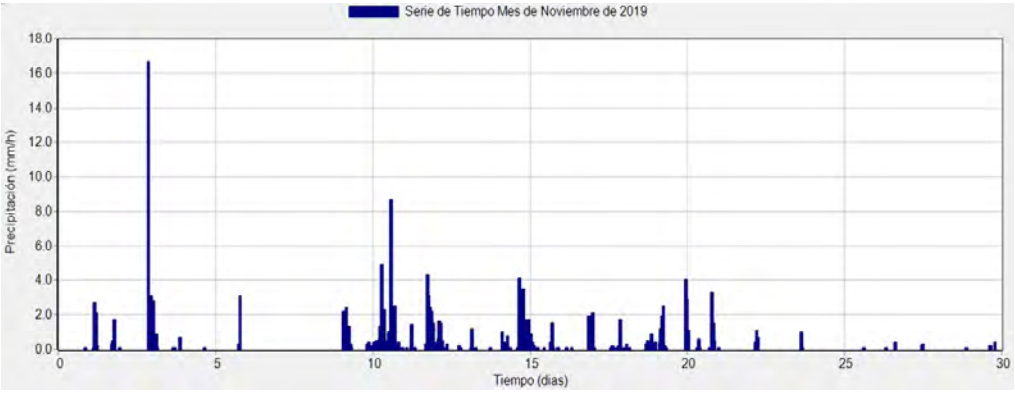
El sistema modular depende de varios parámetros que se involucran dentro del sistema, como la inclinación, tipo de planta, sustrato, capa de drenaje y los diferentes instrumentos o configuraciones de medición de escorrentía, humedad y temperatura.

Los resultados de las variables hidrometeorológicas fueron representados mediante el programa EPA SWMM 5.1, el cual permite realizar la gráfica.

Se tomó los datos de precipitación horaria de la estación Universidad de Nariño durante el mes de noviembre de 2019, en cuya serie de tiempo se presentó un valor atípico el día 3 de noviembre de 2019 a las 20:00 en horas de la noche, lo cual generó un desbordamiento en la quebrada Mijitayo (Ver Figura 1).

Figura 1

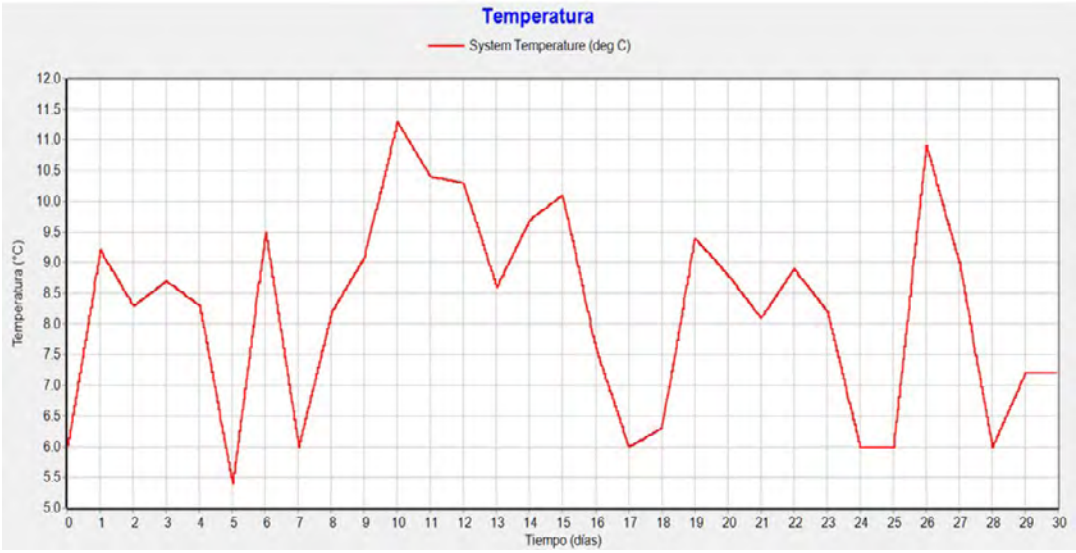
Precipitación del mes de noviembre de 2019



La serie de tiempo de temperatura presenta valores diarios; estos fueron proporcionados por la estación Universidad de Nariño; se puede observar que, los datos tienen un comportamiento similar a los datos de evaporación.

Figura 2

Temperatura del mes de noviembre de 2019



Módulo de techo verde

Para la simulación del módulo de techo verde, inicialmente, se hizo uso de los datos provenientes del estudio de Pérez (2015), en el que presenta la descripción del módulo que consta de un geotextil no tejido (*sedum sexangulare*, *acre reflexum* y *kamtschaticum*), proveniente de un montaje experimental perteneciente al proyecto, también compuesto de una capa de drenaje con la que la autora evaluó el efecto de la vegetación respecto al comportamiento del agua dentro del sistema, analizando el sustrato y la capa de drenaje, con diferentes restricciones para la medición de la escorrentía.

La medición de este evento en el módulo de techo verde permite revisar diferentes variables climatológicas como la temperatura ambiente, precipitación y evaporación, dado que son las únicas variables presentadas en estudios efectuados por el IDEAM, con sus valores respectivos de fecha del mes de noviembre de 2019 y, al mismo tiempo, son las variables que fueron registradas precisamente dentro del modelo.

El techo verde integra la lista de las herramientas de desarrollo de bajo impacto; sus siglas en ingles son LOD, debido a: *Low Impact Development*; es decir, este tipo de tecnología es implementado con el fin de capturar la escorrentía superficial a partir de la detención, infiltración y evapotranspiración, como también, porque es considerado como una propiedad de las subcuencas (Rossman, 2015).

Para este caso, se establece un SUDS y un modelo LOD a partir del uso de techos verdes; el territorio se planifica para este uso en las viviendas del sector, para el manejo de la escorrentía, debido a las altas precipitaciones y la vulnerabilidad que vive el área de la zona que se encuentra junto a la cuenca Mijitayo, en el que ya ha habido varios eventos de inundación en diferentes barrios cercanos, lo cual representó fuertes pérdidas económicas para los pobladores en el año 2019, debido al evento climático y, que posee un tiempo de retorno de dos años a partir de las curvas de intensidad, duración, frecuencia (IDF) presentadas por el IDEAM para la estación de Obonuco en el aplicativo Dhime.

Recolección de datos de parámetros del módulo de techo verde

Para este proceso se tuvo en cuenta diferentes propiedades como área, ancho, pendiente, porcentaje de impermeabilización, rugosidad y, almacenamiento permeable, con lo cual las características esenciales están determinadas por el estudio realizado por Pérez (2015).

En la Tabla 2 se evidencia los datos de parámetros del módulo *LID* de techos verdes, todo con la importancia de efectuar la simulación del modelo a partir de diferentes datos proporcionados por información secundaria y, observando las indicaciones de otros autores (Tabares et al., 2019; y Baek et al., 2020).

Tabla 2

Propiedades módulo de techo verde extensivo (Pérez, 2015)

Parámetro	Representación	Valor
Densidad aparente	$P_d(kg/m^3)$	421
Porosidad	$n(m^3/m^3)$	0,42
Punto de marchitamiento	ϑ_{pmp}	0,12
Capacidad de campo	ϑ_{cc}	0,32
Conductividad hidráulica saturada	*Ksat (mm/h)*	95,46

Los datos presentados en la Tabla 2 se basan en la capa vegetativa y el sustrato, a partir de diferentes respuestas de estos parámetros y el comportamiento hidráulico de este techo verde extensivo.

Análisis de sensibilidad del modelo

El análisis de sensibilidad es un proceso por el cual se debe tener en cuenta diferentes variables que son importantes para la interpretación de los resultados; consiste en realizar una variación en cada uno de los componentes del módulo de techo verde con el cual se realizará la modelación. Inicialmente, este proceso complementa la calibración y se analiza el comportamiento de cada variable y, para ello, mediante consulta bibliográfica, se considera los rangos establecidos para el análisis de sensibilidad, como se aprecia en la Tabla 3.

Tabla 3

Rangos de datos para variables de techos verdes recomendados por (EPA, 2018) p. 245-248

VARIABLE	RANGO
Fracción de vegetación	0,10- 0,20
Rugosidad de la superficie	0,15 – 0,45
Pendiente de conductividad	30–60
Cabeza de succión (mm)	44,20–1080
Fracción de vacío (-)	0,50–0,60

Rugosidad de la Capa (µm)	0,10- 0,40

Inicialmente, el modelo se ajustó a diferentes variables y unidades que pueden representar la realidad; posteriormente, se añadió la serie de tiempo del día 3 de noviembre de 2019; en este caso, se identificó varios datos secundarios y se adaptó el modelo de infiltración GREEN AMPT para analizar la superficie de suelo mojado; este generó el comportamiento del suelo a partir de recibir humedad en la parte de arriba y abajo; por esta razón, se adjuntó diferentes parámetros, como la conductividad y el déficit de humedad; para este se tuvo en cuenta factores como la precipitación, evaporación, infiltración y escorrentía, para entender de manera más precisa lo que sucede internamente en el módulo LID de techo verde (Rossman, 2015).

Los parámetros fueron establecidos a partir del modelo determinístico, realizando un proceso de cambio de variable a la vez y, haciendo una fijación de algunos valores promedios, para lo cual, finalmente se realiza una calibración por prueba y error. A partir de la modificación, se toma los valores más aproximados al modelo para la validación de resultados y, se determina el coeficiente de correlación y la eficiencia de Nash Sutcliffe para los datos observados vs. datos simulados.

Este criterio es uno de los más usados en el área hidrología, debido que este método permite realizar mediciones de cómo varían las observaciones a partir de la simulación. Cuando la simulación es perfecta, la eficiencia será igual a 1; si se hace las observaciones a partir del valor promedio, de esa manera la eficiencia es igual a cero.

Representación por medio del modelo SWMM de las dinámicas hidrológicas de techos verdes bajo eventos de lluvia

Los parámetros fueron calibrados manualmente, a partir de la realización de ensayo y error, para determinar la validación del modelo de los datos observados y simulados. En la Tabla 4 se puede apreciar las variables y datos en un análisis de eficiencia desde el uso de la calculadora estadística desarrollada por Shrestha (2016), para establecer, por medio del índice de eficiencia Nash Sutcliffe, la capacidad de cada variable.

Tabla 4

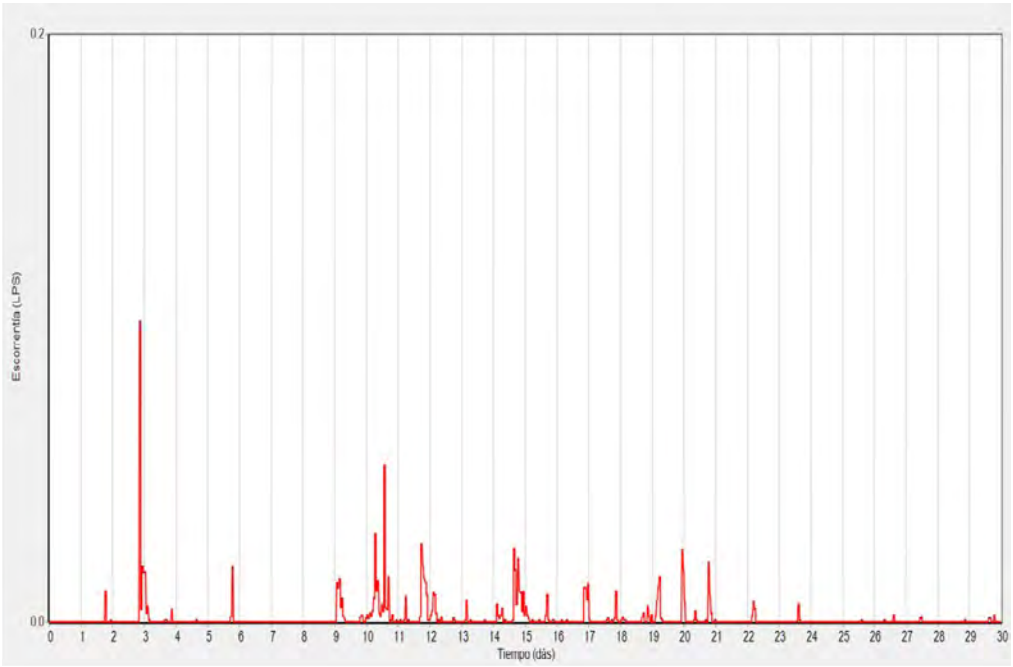
Análisis de sensibilidad y calibración de las variables

Variable	Eficiencia de Nash Sutcliffe	Sensibilidad	Valor de Calibración
Vegetación	0	Baja	0,15
Rugosidad	0,02	Baja	0,25
Pendiente de conductividad	0,5	Media-Baja	10
Cabeza de succión	0	Baja	562,10
Fracción de vacío	0,7	Alta	0,55
Rugosidad de la capa de drenaje	0.6	Media-Alta	0,20

Los datos que fueron ajustados a los valores promedios presentaron una baja sensibilidad, debido a que algunos de los parámetros ya estaban calibrados y validados por el estudio de información secundaria (Pérez, 2015). Estos resultados ostentaron un error de continuidad de 0 %, como se presenta en la Figura 3:

Figura 3

Resultados de escorrentía en la simulación



Para terminar, el modelo generó escorrentía respecto a la precipitación, pero el módulo LID, en este caso un techo verde extensivo, fue tan bueno, que no presentó escorrentía; además, en el momento de correr el modelo SWMM 5.1, el error de continuidad y el flujo de enrutamiento tuvieron valores de 0 %, lo cual es primordial para simular el evento por medio del modelo. La escorrentía fue proporcional a la precipitación, con un valor de 0,1 L/s; es decir, no se generó altos valores debido a la alta eficiencia del techo verde extensivo.

El programa de modelación SWMM 5.1 representó diferentes ventajas en los aspectos de modelación hidrológica en la que los datos fueron tomados de autores que habían desarrollado investigaciones en la ciudad de Bogotá, Colombia, como Pérez (2015). Para la toma de datos, esta autora implementó un sistema capaz de analizar la capacidad de almacenamiento y evacuación de los techos verdes, teniendo en cuenta variables como: la precipitación, evaporación, temperatura y escorrentía.

Importancia de los sistemas urbanos de drenaje sostenible y desarrollos de bajo impacto para la planificación de la gestión urbana

Los SUDS y los controles LOD, como los techos verdes, son herramientas importantes y necesarias para la implementación de ciudades sostenibles y sustentables; este tipo de tecnología presenta particularidades y bondades que benefician ambientalmente nuestros entornos y que, también, pueden servir como herramienta de planificación urbana para el mejoramiento de las ciudades, razón por la cual los autores la recomiendan y, a partir de la simulación realizada, se determina que es un modelo que puede prevenir la

escorrentía urbana, con la finalidad de mejorar las condiciones de vida a nivel económico, social, ambiental y cultural.

Conclusiones

El modelo EPA SWMM es la mejor alternativa para desarrollar un modelo de techos verdes para reproducir escorrentía y evaluar sus beneficios a partir de criterios que cumplan con valores económicos y su fácil manejo y capacidad de exportar datos a otros softwares, su fácil acceso, además de las variables que se puede analizar y aplicar respecto a los otros modelos.

La escala de valores multicriterio, como metodología de selección, hace aportes relevantes para determinar y comparar el modelo adecuado, en situaciones de difícil decisión. Los techos verdes son una excelente alternativa para prevenir inundaciones, dada su capacidad de retención de escorrentía, lo cual lo convierte en una fuente y alternativa muy importante para la gestión de aguas lluvias en cuanto a planificación en las ciudades; las cualidades de este tipo de tecnología pueden variar, dependiendo del tipo de sustrato, capa vegetativa y capa de drenaje con la que fue construida; es necesario verificar cada aspecto de construcción e implementación, para que exista un mejor desempeño.

El proceso de calibración para módulo de techo verde permite mejorar las condiciones de los parámetros para la validación de los resultados. A partir de los ajustes y variables observadas se determinó que, los valores obtenidos en la plataforma del IDEAM para la ciudad de Pasto, no generó escorrentía debido a la alta presencia de vegetación que contenía el techo verde, ya que este tiene una capacidad de retención muy alta; además, la observación le da a relevancia como una herramienta ineludible en zonas urbanas.

Referencias

Baek, S., Ligaray, M., Pachepsky, Y., Chun, J. A., Yoon, K. S., Park, Y., & Cho, K. H. (2020). Assessment of a green roof practice using the coupled SWMM and HYDRUS models. *Journal of Environmental Management*, *261*, 109920. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109920

Nantes, E. A. (2019). El método *Analytic Hierarchy Process* para la toma de decisiones. Repaso de la metodología y aplicaciones. *Investigación Operativa*, *27*(46), 54-73.

Pérez, J. A. (2015). *Desarrollo de una herramienta de apoyo para el diseño de pavimentos porosos* [Tesis de Pregrado, Universidad de Los Andes]. https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/18612/u722418.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rossman, L. (2015). *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1*. United States Environmental Protection Agency (EPA).

Shrestha, P. K. (2016). *Statistic calculator for the evaluation of the hydrological model*. https://www.researchgate.net/publication/299618526_Statistics_Calculator_for_Evaluation_of_Hydrological_Model

Tabares, J., Gallo, L. M. y Mancipe-Muñoz, N. A. (2019). Modelación del desempeño hidrológico de techos verdes en ciudades andinas usando SWMM. *Producción + Limpia*, *14*(1), 46-60. https://doi.org/10.22507/pml.v14n1a2

Dinámica de flujos de lodos en la quebrada Mijitayo

Jaime Efrén Insuasty Enríquez[1]

Francisco Mafla Chamorro[2]

Resumen

Los flujos de lodos causan daños en la infraestructura y pueden amenazar la vida. Este fenómeno se puede presentar en la quebrada Mijitayo en la ciudad de Pasto y, por lo tanto, se analizó la afectación que puede tener la ciudad, a través de un modelo de simulación llamado TITAN 2F, si se llegara a generar este tipo de eventos.

Para la modelación se estableció la base cartográfica de la zona, definiendo la dirección de acumulación del flujo. La zona alta de la quebrada presenta pendientes pronunciadas y es donde puede acumular material sólido para el flujo; la zona media propicia el depósito y transporte del material y, la zona baja es donde se acumula. Se obtuvo los volúmenes de agua que se puede generar con diferentes periodos de retorno de precipitaciones y, con base en información secundaria, se estableció las concentraciones de sólidos que puede tener este tipo de flujos. Con los volúmenes de agua establecidos y con las concentraciones determinadas se instauró diferentes flujos de lodos que pueden ocurrir en la quebrada.

Con el software TITAN 2F se pudo establecer que, las manchas de lodos superan notablemente los 30 m establecidos como norma nacional y que, en la parte baja del cauce analizado, puede tener un ancho superior a los 100 m. Igualmente, la presión dinámica que el flujo genera, puede afectar las estructuras de las edificaciones ubicadas a la entrada de la quebrada en la ciudad de Pasto. Los eventos máximos de inundación obedecen a la concentración máxima de sólidos. Se puede observar que, en escenarios donde aumenta el caudal de agua y la concentración de sólidos es baja, los anchos de inundación son similares.

Palabras clave: flujo: lodos; periodo de retorno; volumen de agua; concentración; inundación.

[1] Ingeniero Civil, Docente Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana, Pasto, Colombia. Correo: jinsuasty@umariana.edu.co

[2] Ingeniero Sanitario, Magíster en Recursos Hídricos, Docente Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana, Pasto, Colombia. Correo: fmaffla@umariana.edu.co

Introducción

Alrededor del mundo, las ocurrencias de flujos de lodos han generado graves consecuencias que, pueden generar desde daño y destrucción de infraestructura, hasta pérdidas de vidas humanas. El factor humano es el que está generalmente ligado a este fenómeno, como sostiene Insuasty (2012).

Los flujos de lodos se originan al combinarse el agua con sedimentos provenientes de deslizamientos de tierra o depósitos de materiales piroclásticos, donde generalmente predominan sedimentos de suelos con partículas finas como limo y arcilla en altas concentraciones, aunque también pueden transportarse grandes bloques o cantos de roca. Este tipo de fenómenos se conoce como flujos bifásicos, haciendo referencia a la parte fluida y la parte sólida o granular que los conforman, y se comporta como una suspensión (*slurry*) homogénea con una onda frontal y una serie de pulsaciones (Suárez, 2009).

En el análisis de la amenaza que se puede presentar ante flujos, estudiando diferentes factores de incidencia (Narváez y Rosero, 2005), se puede observar que, el fenómeno posee mucha ocurrencia en nuestra región, teniendo en cuenta que las condiciones geomorfológicas e hidrológicas de la zona son similares a aquellas donde han ocurrido catástrofes, debido al impacto generado por flujos de lodos con material volcánico (Ortiz, 2012).

Esta investigación busca identificar la tipología y morfología de la zona alta de la quebrada Mijitayo, según los registros geológicos existentes, para poder establecer las características generales de los suelos en cuanto a su posibilidad de deslizamientos, riesgos de erosión y demás fenómenos que precipiten la ocurrencia de flujos de lodos.

Una vez determinados los volúmenes que se puede generar, se establecerá las condiciones esperadas de flujos de lodo que pudiera formarse en el sector. Las diferentes concentraciones teóricas que formarán la pila inicial de material, serán la base para alimentar un modelo para la simulación de flujos bifásicos, con el que se podrá simular la propagación de crecidas o flujo de lodos en cuencas hidrográficas y su interacción con las diferentes estructuras y obstrucciones que caracterizan las zonas antropizadas, como puentes, alcantarillas y diques de flujo.

Los resultados obtenidos permitieron establecer el área de afectación que puede abarcar la generación de flujo de lodos en la quebrada Mijitayo y la posible afectación en la zona. La importancia del estudio y la modelación de la dinámica de los flujos de lodos es su presentación en las entidades gubernamentales, sirviendo de base para reformular los planes de gestión de riesgo, considerando que se puede afectar una de las más importantes vías de la ciudad de Pasto.

Materiales y Métodos

El trabajo consistió en estudiar la dinámica de los posibles flujos de lodos generados por detonantes hidrometeorológicos en la quebrada Mijitayo, hasta la entrada a la ciudad de Pasto (capital del departamento de Nariño, al suroccidente de

Colombia), generando la base cartográfica de la zona de estudio de acuerdo con sensores remotos, estimación de los volúmenes sólido-agua probables en la cuenca de la quebrada y simulación matemática de los flujos de lodos, determinando su cobertura en la cuenca de la quebrada Mijitayo hasta la entrada a la ciudad.

Con base en los objetivos establecidos, se logró los siguientes resultados:

Generación de la base cartográfica: para esta parte se utilizó el software de procesamiento ArcGIS 9.3 (captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica), con un modelo digital de elevación DEM: GeoSar con resolución espacial de 5 metros por pixel.

Los formatos de salida de productos fueron hechos en formato vectorial (*shapefile*) y formato de celdillas RASTER (*geotiff*) utilizando como sistema de referencia espacial, Datum Magna Sirgas, Origen Oeste, determinado para Colombia. Se delimitó el polígono correspondiente al área de la microcuenca, para obtener los datos y depurarlos, en aras de alimentar el modelo digital.

Se creó un ráster de flujo acumulado para cada celda, determinado por la acumulación de peso de las celdas que fluyen a otra celda de pendiente descendente. La entrada de esta herramienta es el archivo ráster generado con la herramienta Flow Direction. Se determinó el punto de desfogue de la cuenca, aguas arriba de la planta de tratamiento de agua potable Mijitayo de la empresa de obras sanitarias de la ciudad, Empopasto. Una vez delimitado el área, se transformó el formato ráster a formato vectorial tipo polígono. Luego, se determinó la red de drenaje, encontrando que está acorde con la forma de la cuenca y que desfoga en el punto determinado.

Para la generación de la topografía se utilizó el modelo de elevación GeoSAR con resolución espacial de 5m por pixel y se generó la topografía (altimetría) con curvas de nivel con dos intervalos: el primero cada dos metros y el segundo cada cinco metros. Para la generación de perfiles se utilizó el software HEC-RAS, construyendo perfiles transversales de los taludes cada 50m, encontrando pendientes pronunciadas en la parte alta de la microcuenca (Figura 1), medias en la zona central del curso de agua (Figura 2) y, relativamente planas, en la zona baja de la quebrada Mijitayo (Figura 3). El perfil longitudinal presenta un comportamiento similar al descrito (Figura 4).

Con la topografía generada en planimetría y altimetría, se evidenció las condiciones iniciales para alimentar el programa de simulación TITAN 2 Fases. Se determinó los valores máximos de espesor y presión dinámica del flujo (Zona alta) que, son altas por el aumento de la presión dinámica por altas pendientes en el sector. Se calculó que un tiempo de once minutos es suficiente para que un flujo de lodo de esta magnitud sea capaz de alcanzar el territorio urbano de la ciudad de San Juan de Pasto.

Figura 1

Perfil típico de la zona alta de la quebrada Mijitayo

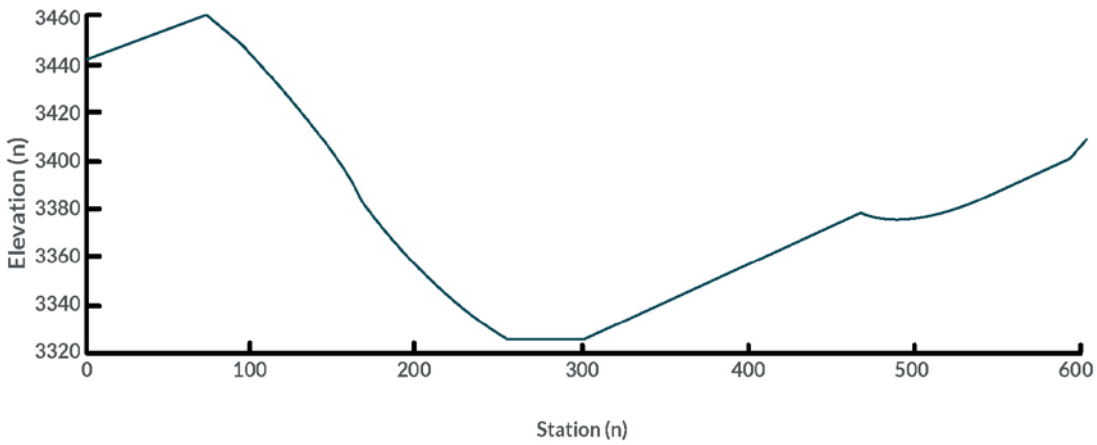
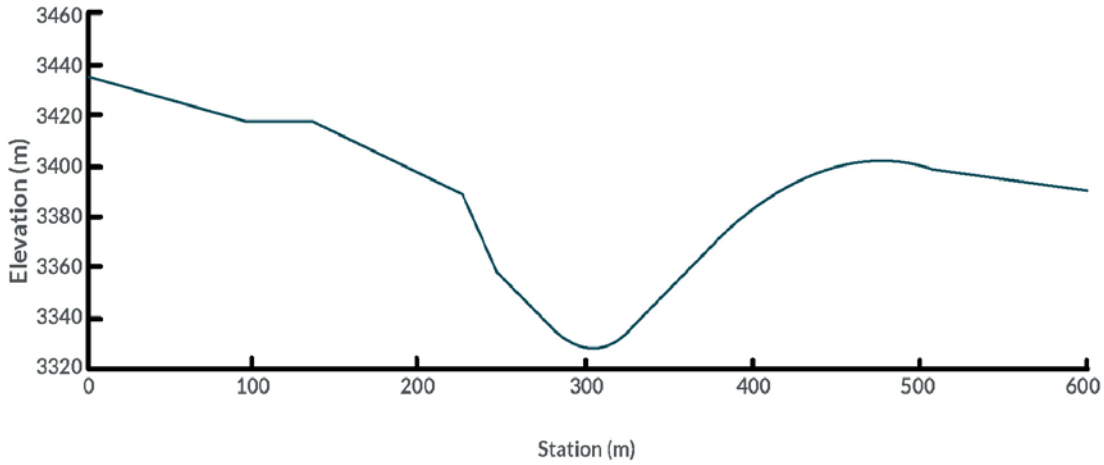


Figura 2

Perfil típico de la zona media de la quebrada Mijitayo



Las condiciones finales encontradas son: en la zona alta de la quebrada Mijitayo, con pendientes pronunciadas, se puede acumular material para formar flujo de lodos. La zona media es propicia para el deposito del material y, la zona baja permite transporte y el depósito del material transportado.

Estimación de los volúmenes sólido-agua probables en la cuenca de la quebrada Mijitayo

Una vez delimitada la cuenca, se hizo una estimación de las características físicas de la hoya hidrográfica y se aplicó las herramientas ArcHydro y ArcGIS 9.3. La simulación hidrológica mostró un número de curva, CN = 63, basado en un promedio ponderado de la cobertura de los usos del suelo: Suelo tipo B, es decir, modernamente bajo potencial de escorrentía.

Figura 3

Perfil típico de la zona baja de la quebrada Mijitayo

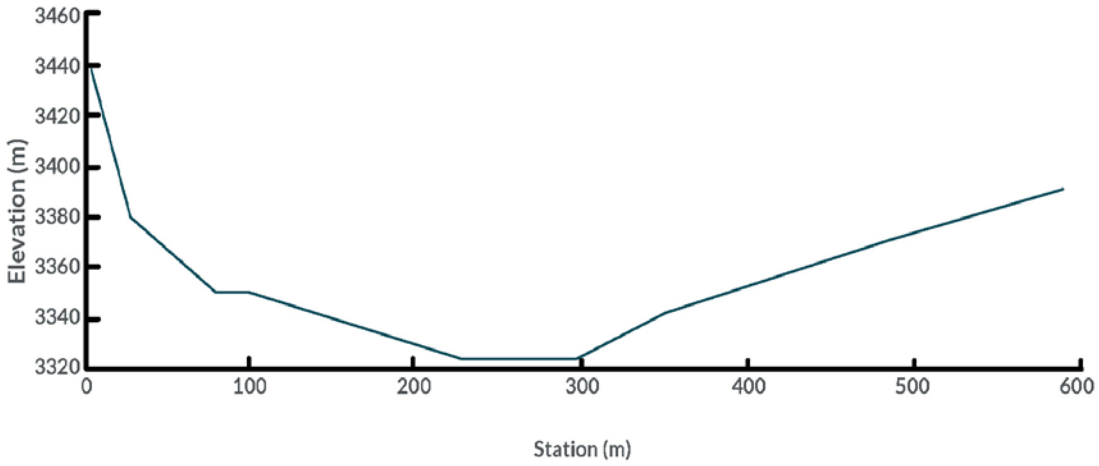
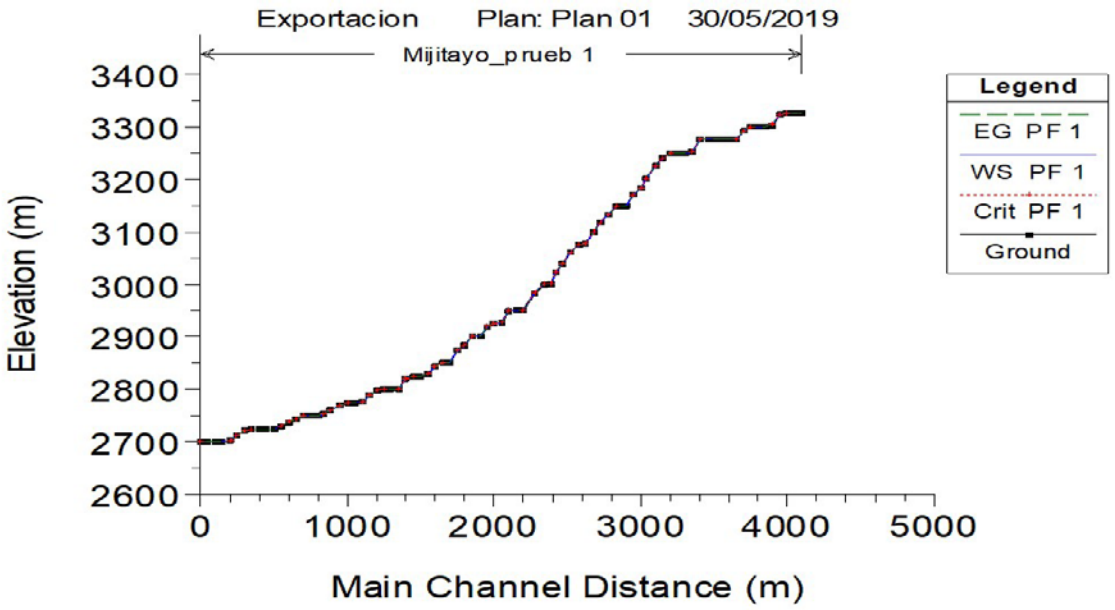


Figura 4

Perfil longitudinal de la quebrada Mijitayo



Para diferentes periodos de retorno, basados en la Resolución 0330 de 2017, Reglamento Técnico para el sector de agua potable y saneamiento b*ásico,* se encontró los siguientes volúmenes de agua: Tr = 50 años; volumen = 51.900 m^3; Tr = 75 años; volumen = 84.800 m^3; y Tr = 100 años; volumen = 98.200 m^3. En la Tabla 1 se muestra los volúmenes de agua y la concentración de sólidos que se simuló con el software Titán 2F:

Tabla 1

Valores de volumen total y concentración de sólidos de cada uno de los escenarios a modelar

Número	Escenario	Volumen total del flujo (m^3)	Concentración de sólidos
1	Volumen mínimo de líquidos, concentración mínima de sólidos	50.000	30 %
2	Volumen mínimo de líquidos, concentración máxima de sólidos	87.500	60 %
3	Volumen medio de líquidos, concentración mínima de sólidos	121.428	30 %
4	Volumen medio de líquidos, concentración máxima de sólidos	212.500	60 %
5	Volumen máximo de líquidos, concentración mínima de sólidos	142.857	30 %
6	Volumen máximo de líquidos, concentración máxima de sólidos	250.000	60 %

Simulación matemática de flujo de lodos. Debido al alto costo computacional y a la infinidad de posibles escenarios de flujos de lodo que pudieran crearse en la microcuenca, se hizo necesario determinar una cantidad concreta de eventos a modelar. Si bien existen diferentes características de un flujo que determinan su comportamiento, tales como su volumen, concentración, punto de inicio, etc., es relevante definir qué parámetros son determinantes al momento de evaluar la amenaza frente a este fenómeno. TITAN 2F es un modelo físico-matemático basado en las ecuaciones de Navier-Stocks y Morh-Coloumb, que permite el modelamiento de un determinado acontecimiento de flujos bifásicos sobre un modelo de elevación digital.

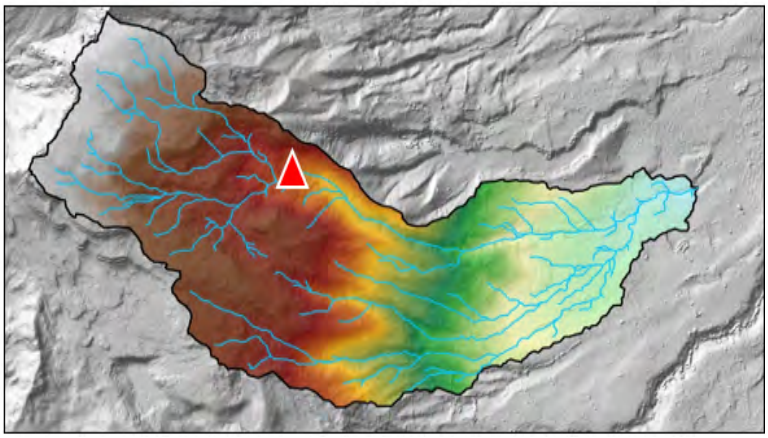
Uno de los factores más importantes para el proceso de simulación es el de determinar las condiciones del flujo que definen el evento a evaluar; es decir, un flujo como tal, posee características propias que definen su posible comportamiento.

El lugar de ubicación inicial de la pila de material a ser modelado fue elegido buscando un sitio de la zona alta y media de la cuenca, ya que una formación de flujo

de lodos en esa zona desencadenaría una mayor velocidad del flujo sobre la zona baja, debido a las altas pendientes del canal principal presentes en las dos zonas anteriores. Igualmente, se definió un lugar en el que pueda converger el mayor número de corrientes y que cumpla con las condiciones descritas. Finalmente, una vez cumplidas las dos condiciones, se priorizó el sitio donde la longitud de la corriente desde el lugar elegido hasta el punto de salida sea la mayor posible, por lo cual se definió la ubicación mostrada en la Figura 5.

Figura 5

Lugar de inicio de la simulación de los flujos de lodo



La velocidad inicial se definió como 0 m/s, debido a que la ubicación de los flujos es lo suficientemente alta para inferir en la velocidad del flujo en la parte baja. Por último, la construcción de los eventos se determinó por medio del árbol bayesiano de eventos y con base en los valores máximos, medios y mínimos de líquido calculados y, en los valores de concentración de sólidos mínimo y máximo descritos en la literatura.

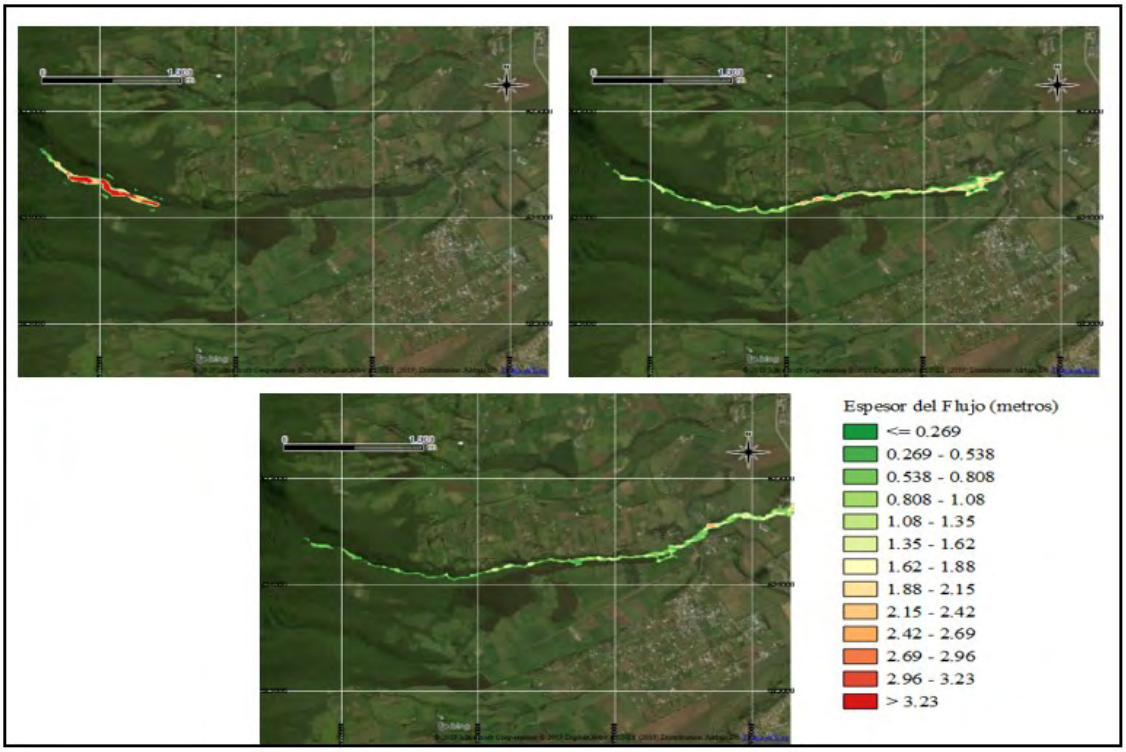
Con base en lo obtenido, se realizó la simulación de los seis escenarios de flujos de lodo con inicio fijo y, para una duración de 11.7 minutos, determinado como tiempo suficiente de simulación en los modelamientos realizados durante la validación y ajuste del sistema. Este proceso se realizó en uno de los servidores de la Universidad Mariana bajo el sistema operativo Debian Jessie 8.0 y, a través de una conexión cliente-servidor mediante el protocolo SSH. La información de avance de los flujos fue tomada cada 50 segundos de recorrido a partir del inicio del proceso en tiempo real; es decir, para reproducir cerca de once minutos de recorrido del flujo, cada una de las simulaciones tuvo una duración de entre cinco y ocho días.

Dadas las condiciones de registro de información cada 50 segundos, el software TITAN 2F recoge los datos de recorrido del flujo en intervalos de tiempo equidistantes, obteniéndose así un registro en diferentes mallas no uniformes de datos que corresponden al espesor, presión dinámica del flujo, velocidad y concentración en un instante de tiempo determinado. De este modo, se pudo observar el avance del flujo sobre la topografía en sus distintas características. La

Figura 6 permite evidenciar el resultado de un escenario en los segundos 50, 250 y 500 de su recorrido y la variación de su espesor.

Figura 6

Distribución de espesor respecto al avance de flujo de lodo a los 50, 250 y 500 segundos de recorrido

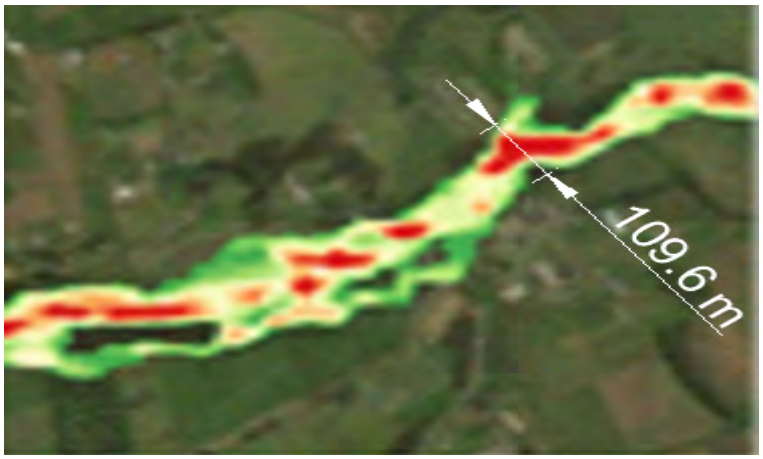


Haciendo un acercamiento a escala 1:2000 de las zonas alta, media y baja, se puede observar que los anchos de la mancha de inundación son aproximadamente de 60 m, 40m y 50m respectivamente, para volúmenes de agua bajos y concentraciones de lodos bajas.

El escenario de modelación más crítico indica un ancho de la mancha de inundación superior a los 30m, que es la hipótesis con la que se hizo este estudio. En este caso, se presenta el caudal máximo, referido a un tiempo de retorno de 100 años y, la concentración máxima de sólidos, alcanzando en la parta baja, anchos mayores a 100m. Las características del ancho de inundación son similares a las de otros escenarios simulados, donde la concentración también es alta, evidenciándose que, en general, las concentraciones altas producen anchos de mancha más grande, aunque el caudal presente en el caso dado sea el mismo (Figura 7).

Figura 7

Ancho de la mancha en la parte baja del cauce, con acercamiento a escala 1:2000, para escenario de flujos de lodo 6



Conclusiones

Los flujos de lodos generados en la quebrada Mijitayo, considerando periodos de retorno de lluvias de 50, 75 y 100 años, recomendados por el RAS para el análisis de canales abiertos, y con concentraciones de sólidos mínimas del 30 %, generan manchas de inundación que superan los 30 m de franja de protección mínima establecida por la norma nacional.

Se decidió trabajar con el modelo de elevación de mayor resolución dado que, los resultados obtenidos son más confiables, aunque ello conlleve un mayor costo computacional. De esta forma, el software utilizado tiene un campo de análisis más amplio ya que, por ser mejor la resolución, se toma características del sector, como, por ejemplo, en las zonas forestales a manera de barrera topográfica, el cauce se lo encuentra trazado con mayor claridad, lo que le permite al modelo abarcar zonas más amplias y analizar un volumen que está en el orden de las decenas de miles de metros cúbicos.

La topografía del terreno generada por las imágenes satelitales y el software específico, presenta pendientes pronunciadas en la zona alta y media de la quebrada, lo que hace que estas zonas sean susceptibles a deslizamiento cuando la saturación de agua en los suelos sea alta. Los posibles deslizamientos pueden depositar material sólido, constituyendo así un flujo de lodos.

Para los periodos de retorno de lluvia determinados (50, 75 y 100 años, según RAS) y, considerando las características hidrológicas y geomorfológicas de la microcuenca de la quebrada Mijitayo, se pudo calcular volúmenes máximos de agua correspondientes a 51900 m^3, 84.800 m^3 y 98.200 m^3, respectivamente.

Según la bibliografía existente, se encontró que los valores de concentración típica de sólidos en los flujos están entre el 30 % y el 60 %, siendo común su estimación

en volumen. Teniendo en cuenta los valores del volumen de agua depositados y los porcentajes de concentración mencionados, se modeló volúmenes de flujo-sólido desde 50.000 m^3 como valor mínimo y, de 250.000 m^3 como valor máximo de la mezcla, considerando la cantidad en la que el volumen de agua puede incrementarse con los sólidos para establecer el flujo total de lodos.

Para las modelaciones con TITAN 2F, se estableció, en un escenario evaluado inicialmente, que para un recorrido total de 13.3 minutos con periodos de almacenamiento de información cada 50 segundos de recorrido del flujo, se alcanzaba a cubrir la zona de estudio. Finalmente, se concluyó analizando las corridas del modelo preliminares, que un tiempo de recorrido de 11.7 minutos, era suficiente para abarcar la zona de estudio de la quebrada, tiempo con el cual se hizo las modelaciones definitivas.

Con los volúmenes de agua y lodos establecidos, se pudo establecer un espesor de flujo de lodos máximo de 4.5m de altura, que es bastante grande, si se considera la altura de una vivienda típica; este se presenta al inicio de la cuenca, donde afortunadamente no hay mucha intervención humana. De igual manera, presiones superiores a 50000 Pa (50 kPa), que son las que pueden afectar notablemente las estructuras de viviendas, solo aparecen en la parte alta de la cuenca.

Las manchas de inundación generadas en los diferentes escenarios superan los 30m, abarcando valores máximos mayores a 100m en la zona baja de la quebrada, correspondientes al sector de la planta de tratamiento de agua potable de EMPOPASTO en el barrio Mijitayo.

Los eventos máximos de inundación obedecen a la concentración máxima de sólidos. Se puede observar que, en escenarios donde aumenta el caudal de agua y la concentración de sólidos es baja, los anchos de inundación son similares. Sin embargo, cuando el caudal aumenta y la concentración de sólidos es máxima, el incremento del ancho de la mancha de inundación es notable.

Como es de prever, el escenario de mayor amenaza sería el de volumen más alto para un periodo de retorno de 100 años (250.000 m^3) y una concentración alta de sólidos (60 %), ya que producirá presiones mayores a 90 kPa, manchas de inundación superiores a los 100m y, espesores de flujo de lodo mayores a 3.0m, en la parte baja de la quebrada Mijitayo, entrando a la ciudad de Pasto. Esto es bastante importante en el momento de planificar el ordenamiento territorial, teniendo en cuenta que, el ancho de inundación determinada, la altura de lodos y la presión dinámica, causarán daños en las estructuras que se ubiquen o que están ubicadas en estas zonas.

Referencias

Insuasty, J. E. (2012). Dinámica de flujo de lodos. *Revista UNIMAR*, (60), 43-54.

Narváez, C. y Rosero, N. M. (2005). *Modelamiento del control topográfico ejercido por el Valle de Atriz sobre los flujos de lodo provenientes de la quebrada Mijitayo* [Tesis de Pregrado, Universidad de Nariño). https://fdocuments.co/amp/document/modelamiento-del-control-topogrfico-ejercido-.html

Ortiz, A. (2012). *Distribución espacial y análisis de riesgo relacionado a flujos piroclásticos y lahares provenientes de la actividad eruptiva del volcán Colima* [Tesis de Pregrado, Universidad Autónoma San Luís de Potosí, México]. http://ciep.ing.uaslp.mx/geologia/tesis/85201418226.pdf. 2012

Resolución 0330 de 2017. (2017, 8 de junio). Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico. https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-0330-2017-0#:~:text=Por%20la%20cual%20se%20adopta,2005%20y%202320%20de%202009

Suárez, J. (2009). *Deslizamientos Volumen 1: Análisis geotécnico*. Universidad Industrial de Santander.

Evaluación del comportamiento hidráulico de un filtro aerobio a escala laboratorio en la Sede Alvernia, Campus Universidad Mariana

Viviana Marcela Cuaspud Chamorro[1]

Mayerlin Solanyi Ipiales Melo[2]

Gloria Lucía Cárdenas Calvachi[3]

Resumen

El tratamiento biológico de aguas residuales con filtros percoladores es una de las alternativas más eficientes, por su menor requerimiento de energía, mantenimiento y buena operatividad, que garantiza altas eficiencias de remoción de contaminantes. Para realizar estudios de optimización del diseño, se requiere prototipos a escala de laboratorio con los que se pueda evaluar aspectos hidrodinámicos como, régimen de mezcla, condiciones de flujo no ideal, tales como cortocircuitos, zonas muertas y, escenarios que pueden afectar el desempeño del reactor. La presente investigación pretende evaluar el comportamiento hidráulico de este reactor biológico, comparando este comportamiento con dos lechos filtrantes plásticos: uno con piezas de tubería corrugada y el otro, con cilindros de filamentos sintéticos.

En el avance de la investigación, como primer objetivo se diseñó un filtro percolador de alta tasa a escala laboratorio de forma circular, con el fin de garantizar una adecuada distribución del fluido. Dentro de su diseño se tuvo en cuenta dos metodologías para su dimensionamiento: una, a partir de la carga orgánica volumétrica y la otra, adoptando una carga hidráulica superficial, según la tasa del filtro, en la cual se pudo evidenciar que, la más apropiada, donde se ajusta las medidas a escala laboratorio para su construcción es, a partir de la primera, indicando un diseño más eficiente.

Palabras clave: tiempo de retención hidráulico; comportamiento hidráulico; lecho filtrante; carga hidráulica superficial; carga orgánica volumétrica; diseño.

[1] Universidad Mariana, Programa de Ingeniería Ambiental, San Juan de Pasto, Colombia. Correo: vicuaspud@umariana.edu.co

[2] Universidad Mariana, Programa de Ingeniería Ambiental, San Juan de Pasto, Colombia. Correo: mayipiales@umariana.edu.co

[3] Universidad Mariana, Programa de Ingeniería Ambiental, San Juan de Pasto, Colombia. Correo: glucardenas@umariana.edu.co

Introducción

El tratamiento de aguas residuales domésticas (ARD) mediante sistemas biológicos como los filtros percoladores, es una de las alternativas más óptimas, por sus ventajas de menor requerimiento de energía, menor necesidad de mantenimiento de equipos, operación más sencilla, alcance de altas eficiencias de remoción que hacen interesante poder implementarlo en pequeños núcleos de comunidades, donde poseen bajos recursos económicos.

Una característica importante a resaltar de este sistema de tratamiento es que, la aireación se efectúa por convección natural; es decir, el aire fluye a través del medio empacado por diferencia de temperaturas entre el ambiente interno del reactor y el externo.

Ahora bien, el diseño de estos sistemas de tratamiento de aguas se fundamenta, principalmente, en los procesos biológicos que tienen lugar en el reactor; pero, adicionalmente, hay eventos hidráulicos tales como, tiempos de residencia, tiempos de mezclado, régimen de flujo, geometría del reactor, que pueden definir el desempeño del equipo, presentando parámetros que hacen posible mejorar la eficiencia de los reactores con un rendimiento hidrodinámico que permita establecer el comportamiento de flujo y la detección de condiciones anómalas (zonas muertas o cortocircuitos) y, con ello, poder garantizar una buena operatividad.

Con lo anterior, se fundamenta la importancia de los aspectos hidrodinámicos que se puede desarrollar en los distintos reactores en los sistemas de tratamiento de aguas residuales (AR). El objetivo del presente artículo es la evaluación de parámetros hidráulicos para un reactor aerobio de filtro percolador, en el cual se realizará variaciones en el diseño, como lo es, las alturas de dos medios filtrantes de estudio en donde se podrá determinar cuál de estos es más eficiente, hidráulicamente, para estudios a futuro que permitan alcanzar altos niveles de eficiencia de remoción de materia orgánica (MO).

Descripción de la situación actual y formulación del problema

La inexistencia de sistemas de tratamiento biológico para control de contaminación en AR se ha convertido en uno de los problemas ambientales más críticos que afronta la humanidad, ya sea por problemas económicos o, debido al limitado conocimiento sobre alternativas viables de bajo costo que ayuden a mejorar la calidad del agua, lo cual, a su vez, trae consigo un alto grado de impacto por contaminación al recurso hídrico, debido al desarrollo de diversas actividades antrópicas que promueven un incremento de sustancias tóxicas, concentraciones de MO, agentes patógenos, afectación a los ecosistemas acuáticos y la salud pública, alterando así, las condiciones de equilibrio en el ecosistema.

Como se sabe, el diseño de sistemas de tratamiento de aguas se fundamenta, esencialmente, en los procesos biológicos que tienen lugar en el reactor, siendo los más utilizados, los reactores de tipo aerobio y anaerobio para el tratamiento de AR de baja y alta carga orgánica; su operación se basa en la actividad autorregulada de diferentes grupos de bacterias que degradan la MO y se desarrollan de manera continua, formando lodos biológicamente activos a su interior, siempre y cuando

en esta parte tengan un buen contacto con el AR y un tiempo de permanencia suficiente para alcanzar una eficiencia óptima de remoción (Sánchez y Cardona, 2009).

Adicionalmente, en este tipo de tratamientos hay componentes hidráulicos como: tiempos de residencia, tiempos de mezclado, régimen de flujo, geometría del reactor, que pueden definir el desempeño del equipo, presentando parámetros que pueden mejorar la eficiencia de los reactores.

Ahora bien, en la actualidad, la problemática relacionada con los sistemas implementados para el tratamiento de AR, es ocasionada porque, la mayoría de las veces estos sistemas no están en condiciones óptimas de funcionamiento, dado que el diseño y la operación no son realizados adecuadamente en muchos casos, lo que hace muy importante la evaluación constante de los sistemas de tratamiento de AR, principalmente el comportamiento hidráulico, que es una de las variables fundamentales necesarias en el buen funcionamiento y operatividad de este tipo de tecnologías, para así garantizar el logro de los objetivos técnicos y económicos.

En otros casos, sus diseños son limitados, bajo el supuesto de que el fluido en los reactores tiene un comportamiento ideal, pudiendo ser de tipo pistón o mezcla completa, cuando en la realidad los fluidos no se ajustan exactamente a situaciones ideales, sino que su comportamiento resulta una mezcla de estos dos tipos de modelos de flujo (Levenspiel, 1986).

En el país existen actualmente 562 sistemas instalados en diferentes municipios. Lamentablemente, no todos los sistemas tratan la totalidad del AR producida; se estima que, solo un 10 % de los sistemas construidos tienen un adecuado funcionamiento. La tendencia en cuanto a sistemas de tratamiento de aguas en Colombia es la utilización de tratamientos secundarios, como la construcción de lagunas de estabilización (44 %), sistemas de aireación extendida (9,4 %) y filtros biológicos (7 %) (Acuatécnica S.A.S., 2017).

Además, algunos de los problemas asociados con el mal funcionamiento de los sistemas de tratamiento, son: a) las tecnologías empleadas no siguen una secuencia lógica de tratamiento; b) muchas plantas están incompletas; c) existe muy poco mantenimiento y control de los procesos que son desarrollados en las plantas y/o, d) solo existe recomendación de los expertos en tecnologías familiares (Guerrero, 2010, citado por Lara-Borrero y Patiño, 2012).

Al mismo tiempo, es esencial resaltar que, el país cuenta con un bajo porcentaje en sistemas de tratamiento biológico, usados para la depuración de estos vertimientos, debido a los requerimientos de grandes inversiones iniciales y, posteriormente, a elevados costos de operación y mantenimiento, fundamentalmente, por los requisitos de consumo energético que representan, la necesidad de adicionar al tratamiento productos químicos y, la exigencia de personal altamente capacitado; de ahí la importancia de diseñar e implementar sistemas de tratamiento eficientes y de bajo costo, que generen resultados óptimos y viables en su funcionamiento y contribuyan a la conservación del recurso hídrico.

A nivel del departamento de Nariño se ha hecho esfuerzos para la construcción de infraestructura necesaria para mitigar la contaminación hídrica; el director general de la Corporación Autónoma regional de Nariño (CORPONARIÑO), a través

de la Resolución No. 1179 de 2017, adoptó el Protocolo para la Presentación y Evaluación de Proyectos de Inversión y Pre Inversión en Descontaminación del Recurso Hídrico, con el cual se benefició a 21 municipios en el proyecto de Plantas de Tratamiento para Aguas Residuales (PTAR).

Respecto al municipio de Pasto, este no cuenta con una PTAR para su sistema de tratamiento, lo que conlleva que todos los vertimientos dados por actividades de la población urbana sean depositados directamente al río Pasto, siendo este afluente, el mayor afectado por las descargas contaminantes.

Bajo esta situación y, en vista de los incipientes sistemas de tratamiento para AR en el contexto regional, así como también, el grado mínimo de investigación en esta área, se ha propuesto implementar un prototipo de filtro percolador anaerobio a escala laboratorio en la sede Alvernia, Campus de la Universidad Mariana, con el objetivo de evaluar el comportamiento hidráulico del mismo, ya que es una variable fundamental de diseño y operación; a su vez, esta propuesta permitirá ampliar el campo de conocimiento en esta área, utilizando una metodología de enseñanza-aprendizaje hacia los estudiantes, para que conozcan, manejen y realicen diferentes prácticas al emplear este tipo de unidades de tratamiento y, así mismo, profundicen el campo de investigación, en busca de nuevas estrategias y proyectos

De igual forma, la importancia de la variable de estudio radica en determinar factores como: tiempos de residencia, tiempos de mezclado, comportamiento del flujo, ya sea pistón, mezcla completa, dispersión, geometría del reactor, así como, los diferentes problemas que lo pueden afectar, entre estos, la presencia de zonas muertas, cortocircuitos, zonas de acumulación de sedimentos que, al presentarse en porcentajes elevados, alteran el desempeño y operatividad del mismo (Sánchez y Cardona, 2009).

Entonces, como ya se mencionó, esta variable influye en el buen funcionamiento de cualquier sistema de tratamiento biológico, ya que de ello depende que el sistema presente una alta eficiencia de remoción de MO, logrando un diseño y operación óptima; de esta manera, el reactor de estudio son los filtros percoladores que poseen una gran funcionalidad en cuanto a la descontaminación del AR, por su adquisición de una capa de microorganismos adherida a un medio permeable que permite alcanzar la eficiencia de remoción de cargas contaminantes (Jaramillo y Paredes, 2019).

Metodología

Para el desarrollo de esta investigación fue necesario iniciar con la obtención del caudal con el cual se diseñaría el reactor biológico; para ello se se tuvo en cuenta tres bombas peristálticas de la PTAR dentro del campus Alvernia de la Universidad Mariana, en donde se determinó, para cada, cuatro pruebas a diferentes velocidades, realizando variación de estas durante cinco veces: 50 rpm, 100 rpm, 200 rpm, 300 rpm y, 400 rpm; estos caudales fueron tomados mediante una manguera con un radio interno de 0.7 mm para mejor precisión en la obtención del criterio; con la toma de estas muestras se escogió el caudal mínimo, que fue de 5,31 ml/s, en vista de que la construcción del filtro es a escala laboratorio, en donde este puede soportar el tipo de caudal y no presentar alteraciones. En la Tabla 1 se puede observar los resultados.

Tabla 1

Obtención de caudal de diseño mediante bombas peristálticas

Bomba peristáltica (rpm)	(1)29812	(2)29815	(3)29814
	Caudal ml/s		
50	5,31	5,58	5,62
100		11,02	10,23
200		20,23	20,20
300		30,13	28,61
400			35,14

Nota: datos obtenidos en medición de caudal.

Con la información de la Tabla 1 se pudo apreciar que, los caudales de las bombas peristálticas son elevados y se requiere cantidades mayores de agua para alimentar el reactor; para ello se procedió a la evacuación de dos lechos filtrantes de un vermifiltro a escala laboratorio, utilizando un caudal de diseño de 0,12m3/día, el cual se ajusta a las condiciones esperadas de funcionamiento.

Este sistema biológico se diseñó específicamente con la carga hidráulica (Tabla 2), en donde se pudo evidenciar que las variables resultado no presentan un ajuste óptimo para su posterior construcción a escala laboratorio; por ende, se optó por utilizar la metodología a partir de carga orgánica volumétrica (COV) (Tabla 3), mostrando unos resultados eficientes y acordes a lo esperado, tanto en su diámetro, como en la altura del medio filtrante y el volumen. El dimensionamiento del sistema se diseñó con estructura circular, con el fin de garantizar una adecuada distribución del fluido en el área superficial, evitando que algunas zonas permanezcan secas. El material a utilizar fue de acrílico, ya que permite observar los medios filtrantes del sistema.

Tabla 2

Dimensionamiento a partir de carga hidráulica

Cálculo a partir de carga hidráulica		
Caudal	0.12	m^3/d
Carga hidráulica	10	m^3/m^2*d
Área superficial	0.012	m^2
Diámetro	0.124	m
TRH	1.82	horas
volumen	0.009	m^3
altura reactor	1.02	m
Relación Hlecho/Hreactor	0.743	m/m
Altura lecho	0.7581	m

Nota: la Tabla 2 muestra los cálculos obtenidos a partir de la carga hidráulica.

Tabla 3

Dimensionamiento a partir de carga orgánica volumétrica

Cálculo a partir de carga orgánica volumétrica		
Caudal diseño	0.12	m3/día
DBO5	0.23	kg/m3
COV	1.5	kgDBO5/m3*día
Volumen	0.018	m3
Profundidad lecho	0.6	m
Área superficial	0.031	m2
Diámetro	0.20	m
TRH	3.68	horas
Borde libre	0.27	m
Altura reactor	1.02	m

Nota: la Tabla 3 indica los datos obtenidos a través de la carga orgánica volumétrica

Igualmente, se calculó la eficiencia esperada del reactor biológico (Tabla 4), factor esencial, dado que indica su capacidad de remoción de contaminantes, que depende de un diseño óptimo y una evaluación hidráulica para garantizar altos porcentajes de remoción.

Tabla 4

Eficiencia del reactor biológico

	% Eficiencia	
Factor recirculación	1	
Carga orgánica aplicada	0.028	kg/día
Eficiencia	64.8	%
DBO5 salida	80.897	mg/L

Nota: la Tabla 4 indica el porcentaje de eficiencia

Es importante mencionar que, los medios de soporte escogidos dentro de la investigación (Tabla 5) fueron plásticos, que presentan alta área superficial y porosidad que permite una mayor cantidad de biomasa adherida por unidad de volumen en el material de empaque, a través del cual son filtradas las AR pretratadas; el aire pasa por los espacios vacíos del medio, suministrando oxígeno para las reacciones aeróbicas; así, se pretende establecer una comparación entre los dos medios y determinar su eficiencia hidráulica.

Este tipo de empaques debe cumplir con características como: a) el material debe ser de alta superficie específica para prevenir obstrucciones; b) capacidad de eliminar altas cargas de DBO por unidad de volumen; c) capacidad de operar a altas tasas de carga hidráulica; d) una estructura abierta adecuada para evitar obstrucciones

debido al crecimiento de la biomasa y, e) garantizar un adecuado aporte de oxígeno.

Tabla 5

Propiedades físicas de medios filtrantes

Propiedades físicas de los medios filtrantes			
Medio	**Tamaño**	**Área superficial (m2)**	**Espacios vacíos (%)**
Tubería Corrugada 	Altura: 0.20 m Diámetro: 0.0125 m2	0.0131	96
cilindros con filamentos sintéticos (rulos de cabello) 	Altura: 0.20 m Diámetro: 15,25mm	12.7	93

Resultados

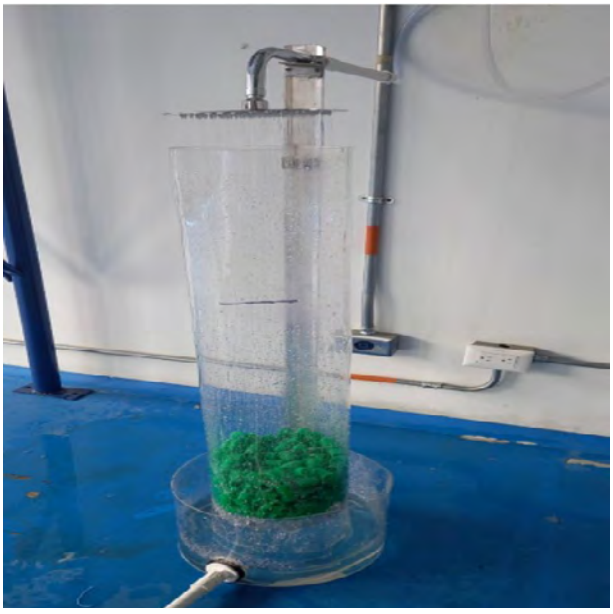
Para el diseño del sistema de tratamiento biológico se pudo establecer que, de las dos metodologías específicas para filtros percoladores, la que mejor se ajusta a un dimensionamiento óptimo a escala laboratorio es la de COV, en vista de que los datos obtenidos de las variables representan un ajuste viable para la construcción del sistema, puesto que considera factores adicionales, en comparación a la otra metodología propuesta como concentración de DBO5 y un rango de COV, según la tasa del filtro que, para este estudio, es alta, porque se utiliza medios filtrantes plásticos para evaluar la eficiencia hidráulica del reactor; entonces, dichos factores mostraron un mejor comportamiento.

Asimismo, se pudo encontrar en la Tabla 1, que estos medios utilizados presentan características de alta área superficial y porosidad que permite una mayor cantidad de biomasa adherida por unidad de volumen de material de empaque, lo cual es un buen indicador para la evaluación hidráulica del sistema y estudios posteriores en remoción de MO, que garanticen una buena obtención de resultados.

De igual manera, se establece la implementación de un filtro percolador aerobio, teniendo en cuenta los materiales y planos necesarios para su construcción, como se indica en la Figura 1. Finalmente, se procedió a realizar una verificación del funcionamiento del sistema para una mejor precisión, a fin de obtener una eficiencia de herramientas y materiales requeridas en el montaje del filtro biológico, evaluando la operatividad del sistema, para lograr buenos resultados en el análisis de datos.

Figura 1

Reactor biológico aerobio a escala laboratorio



Nota: la Figura 1 indica la implementación del reactor en el campus Alvernia de la Universidad Mariana

Conclusiones parciales

En el diseño del reactor biológico se tuvo en cuenta factores económicos y asequibles a las condiciones del área de estudio, para alcanzar una construcción más rentable, de suerte que se evidencie en el proceso de dimensionamiento, sin que afecte en lo posible, el cumplimiento con la norma, pero considerando dichas condiciones para la construcción.

Con los tipos de medios filtrantes que se utiliza para la evaluación hidráulica del filtro, se busca que estos presenten condiciones óptimas para la formación de biopelícula, garantizando un alto porcentaje de espacios vacíos y, por ende, mayor área superficial para obtener un alto grado de eficiencia en la remoción de contaminantes.

El material escogido presenta características de rigidez, con un espesor medio elaborado a base de acrílico transparente, para mayor facilidad de adecuación del sistema y visibilidad del medio filtrante.

Referencias

Acuatécnica S.A.S. (2017). ¿Cuántas plantas de tratamiento de aguas residuales hay en Colombia? https://acuatecnica.com/cuantas-plantas-tratamiento-aguas-residuales-colombia/

Jaramillo, A. y Paredes, J. J. (2019). *Evaluación de la eficiencia de un sistema de dos filtros percoladores en serie para el tratamiento de aguas residuales domésticas en la urbanización Santa Lucía – Morales, 2018* [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana Unión]. https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1832

Lara-Borrero, J. y Patiño, J. M. (2012). Costos de inversión, operación y mantenimiento (O & M) de tratamientos naturales de aguas residuales para pequeñas comunidades en Colombia [Ponencia]. *Conferencia Panamericana en sistemas humedales para el manejo, tratamiento y mejoramiento de la calidad del agua.* https://www.researchgate.net/publication/282031963_Costos_de_inversion_operacion_y_mantenimiento_O_M_de_tratamientos_naturales_de_aguas_residuales_para_pequenas_comunidades_en_Colombia

Levenspiel, O. (1986). *Ingeniería de las reacciones químicas.* Editorial Reverté S. A.

Resolución 1179 de 2017. (2017, 5 de octubre). Corporación Autónoma Regional de Nariño (CORPONARIÑO). http://corponarino.gov.co/expedientes/juridica/resolucion_1179_seleccion_2017.pdf

Sánchez, J. y Cardona, S. (2009). Evaluación del comportamiento hidráulico de un reactor aerobio y un reactor anaerobio, en una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de pequeña escala. Avances en Recursos Hidráulicos, (20), 65-79.

Ingeniería renovables



Dimensionamiento solar fotovoltaico usando System Advisor Model para proyectos rurales agrícolas sin red eléctrica compartida

Andrés Giovanny Carrión Granados

Luis Alejandro Arias

Juan Sebastián Solís Chaves

Resumen

Como propuesta para cambiar el uso de la energía tradicional por una alternativa solar fotovoltaica que trabaje en conjunto con un sistema de almacenamiento de baterías de forma eficiente, renovable y que, además, sea rentable para el consumidor, se presenta un dimensionamiento de un sistema solar fotovoltaico con bancos de baterías y su despacho en un sistema de riego (goteo) con motobombas para cultivos en la zona de Fusagasugá, a través del software *System Advisor Model*.

Palabras clave: agricultura; baterías; energía solar fotovoltaica; energías renovables; sistemas de riego; System Advisor Model SAM.

Introducción

La implementación del sistema interconectado nacional (SIN) en Colombia, presenta cifras alarmantes de falta de conexión en las zonas rurales del país, donde no se cuenta con la infraestructura requerida para suministrar este recurso a la gran mayoría de veredas, en 18 de los 32 departamentos del país. Gran parte de estas zonas manejan soluciones energéticas poco eficientes, al utilizar fuentes sustentadas a través de gasolina o diésel, evidenciando problemáticas en términos de contaminación, altos costos en compra del combustible y carencia de producción ininterrumpida de energía; estas regiones son denominadas tradicionalmente, con el término de 'zonas no interconectadas' (ZNI).

El dimensionamiento de un sistema fotovoltaico con baterías para realizar procesos de riego de cultivos con motobombas es simulado, usando el software SAM (por sus siglas en inglés: *System Advisor Model*), enfocándose en resultados técnicos y económicos que permitan brindar una solución renovable y económica que apoye

el cambio paulatino de las fuentes convencionales de energía (FCE), a las fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER).

Generación de electricidad en la ZNI dentro del territorio colombiano

La importancia del desarrollo económico de un país depende del alcance que presenten los avances tecnológicos, sociales y de infraestructura que le permitan tener una población estable y sostenible, siendo el desarrollo agropecuario, una de las principales prioridades en el desarrollo económico, la cual genera empleabilidad y abasto para sus ciudadanos y la exportación de sus productos. Colombia, al tener una superficie de 11.143 millones de km^2 y, una población estimada de 51 millones de habitantes, ha identificado un mínimo desarrollo de infraestructura a la hora de interconectar eléctricamente las zonas rurales, donde se presenta la mayor concentración de producción agropecuaria.

Vivas (2019) sostiene que, aún hoy en día, en Colombia, existen 1.710 poblados que aún se alumbran con velas; la región occidental es la que presenta mayor carencia eléctrica, manifestando periodos energéticos de cinco a siete horas diarias, como en el poblado de Sipí, en el departamento del Chocó.

Las regiones norte y sur de Colombia también presentan tasas de conexión mínima; en la región central del país, a la cual se le dio prioridad en este estudio, a pesar de ser uno de los territorios que cuenta con la mayor infraestructura energética en el país, todavía se observa extensas zonas rurales que no se abastecen con un recurso ininterrumpido energético, siendo Chipaque, Cachipay, Fusagasugá, La Palma, Acacias, Nimaima, Medina, entre otros centros rurales en los departamentos de Boyacá, Cundinamarca, Meta y Tolima, los que no tienen este recurso vital para los procesos agropecuarios modernos que requieren de electricidad para mantener los cultivos de cada zona.

Figura 1

Estado de la cobertura eléctrica y ZNI en la región central



Fuente: Hurtado et al. (2020).

Sistema de riego (goteo)

Con el propósito de cultivar un área determinada aplicando la cantidad necesaria en las plantas, se requiere generar un proceso de irrigación superficial a través de componentes hidráulicos que producen diferentes variantes de riego inundación y por aspersión. Este sistema también es definido como una "aplicación oportuna y uniforme de agua a un perfil del suelo para reponer el agua consumida por cultivos entre dos riegos consecutivos" según Gurovich (1985, p. 62).

Para este proyecto, se realizó una asignación de riego al cultivo por goteo, el cual consiste en infiltrar el agua hacia las raíces del cultivo, irrigando de manera directa la zona primordial a través de tuberías y goteros (emisor) que mejoran el rendimiento de crecimiento y productividad de las plantas.

Las motobombas absorben la energía mecánica y la transforman en energía cinética, la cual se transfiere a un fluido, con el fin de movilizarla de un lugar a otro, a un mismo nivel o diferente nivel con velocidades variables, según sea el caso de su aplicación, y son fundamentales para los procesos de irrigación.

La motobomba de referencia para este proyecto es de tipo centrifuga, con motor eléctrico, trifásica (220/440V), el cual consume una potencia de 3 HP (caballos de fuerza) durante ocho horas de trabajo, tiempo perfecto para los procesos de irrigación de los cultivos.

Con el fin de brindar una alternativa energética al ZNI que se encuentra en Fusagasugá, se hizo los cálculos para que un sistema de riego disponga de una zona de 2000 m^2, teniendo en cuenta los elementos necesarios para generar un proceso de irrigación a los cultivos que son dispuestos en dicho lugar, como:

Tabla 1

Parámetros para el cálculo del sistema de riego

Parámetros	Valor/unidad
Terreno a cultivar	$2000m^2$
Cantidad de mangueras	Mag
Cantidad de goteros por mangueras	mag_{gt}
Cantidad total de goteros	gt
Camas de cultivo	$CCultivo$
Cantidad de agua esparcida para el sistema de riego en litros	L_{gt}
Cantidad de agua de referencia	L_r
Consumo por minuto	C_m
Tiempo de riego	T_r
Ancho del terreno	n

En aras de conocer la potencia que requiere la motobomba para realizar el riego en el cultivo, se debe considerar la energía que consume al mes y a diario; para ello, se utilizó las siguientes ecuaciones:

$$C_{cultivo} = \frac{n}{1{,}2} \Rightarrow \frac{20}{1{,}2} = 84 \text{ camas} \Rightarrow gt = \frac{mag}{mag_{gt}} \Rightarrow 84 * 400 = 16800 \; goteros \quad (1\text{-}1)$$

$$C_m = \frac{L_{gt}}{60min} \Rightarrow \frac{16800L}{60min} = \frac{240L}{min} \Rightarrow T_r = \frac{L_r}{C_m} \Rightarrow \frac{6000L}{240L/min} = 25 \text{ minutos} \quad (1\text{-}2)$$

El consumo energético que presenta la bomba será de unos 25 minutos, exponiendo la cantidad de tiempo que requiere el cultivo para mantenerse hidratado y que, no evidencie sequedad o ahogamiento. Para conocer la carga que requiere la motobomba, se toma la energía que esta produce durante una hora, según el diseño de referencia de 3.3 HP (2,24 kWh), junto con el tiempo en el que debe producir energía, brindando un total de 0,929 kWh. Para fines de la simulación, la energía mensual requerida referenciada por estas motobombas para 4000 m^2, es de 1,858 kWh. La estimación de este consumo energético se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2

Energía requerida de la motobomba en el riego

Energía	Periodo	Energía	Periodo
2.23 kWh	60 minutos	0.0373 kWh	1 minuto
0.0373 kWh	1 minuto	0,929 kWh	25 minutos

Generación Eléctrica Solar Fotovoltaica

La energía solar es considerada como un recurso renovable en las FNCER; funciona a través del efecto fotoeléctrico, absorbiendo la radiación electromagnética generada por el sol; es denominada en irradiancia (magnitud que describe la potencia incidente por superficie con una unidad de medida en kW/m^2) e irradiación (unidad de superficie a lo largo del tiempo).

Dichas emisiones de radiación electromagnética no se obtienen únicamente de forma directa al sol; puede haber otros métodos de recolección a través del reflejo de la radiación que pasa sobre las nubes, el aire, vapor y otras partículas encontradas en el ambiente (radiación difusa) y el reflejo que presenta desde la tierra, edificios, montañas y otros cuerpos (radiación albedo). De estos elementos, se presenta tecnologías que utilizan este recurso y generan energía térmica o eléctrica que trabajan de forma variada, como:

- Heliostatos: recolección solar al movimiento de dos ejes
- Térmicos: uso del suministro de agua, con el fin de calentarla a través de la energía calorífica que emite el sol

- Fotovoltaica: transformación directa de la luz solar en electricidad, empleando el efecto fotoeléctrico, transfiriendo la radiación del sol a una celda y, produciendo una diferencia de potencial eléctrico entre ellas, generando corriente continua (CC).

Sistemas de Producción eléctrica solar fotovoltaica

Teniendo en cuenta factores de uso, economía y eficiencia en el mercado global, un sistema solar fotovoltaico (SFV) presenta mayor crecimiento, al volverse recurso energético más económico y seguro a nivel mundial, generando mejores oportunidades de compra y mejorando su producción, como consecuencia de los apoyos realizados por parte de los gobiernos globales e inversiones privadas y, por cumplir con los objetivos de energía asequible y no contaminante impuesto por las Naciones Unidas.

La producción de un SFV se explica como un conjunto de equipos que permiten la generación de energía eléctrica a través de la luz solar, con el fin de contribuir al gasto energético que se observa en grandes y pequeñas ciudades, pueblos, zonas rurales y apartadas, donde el consumo eléctrico utiliza, mayormente, productos de energía fósil (gasolina, diésel y carbón).

Los proyectos SFV están divididos en sistemas conectados a la red local eléctrica, la cual funciona como un aporte que tiene como fin, apoyar el requerimiento eléctrico local y el sistema fotovoltaico independiente (*Stand alone PV – System*), que opera de forma autónoma, puesto que su tarea se basa en cumplir al 100 % la demanda eléctrica, dependiendo de su necesidad.

Los componentes que establecen un sistema SFV están enfocados en generar, regular, transformar y distribuir la energía, con equipos específicos que trabajan en un proyecto eléctrico concreto; estos elementos son:

- Módulo solar fotovoltaico
- Regulador de carga
- Inversor solar (si es requerido para equipos con carga CA)
- Baterías para aplicaciones solares.

Los módulos solares, también conocidos como paneles solares, están conformados por numerosas celdas unificadas que convierten la luz en electricidad, proceso conocido como efecto fotoeléctrico, el cual se genera al retener los fotones, que contienen electrones dentro de la luz solar. Estos se encuentran retenidos, generando una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad (Gillman, 2015).

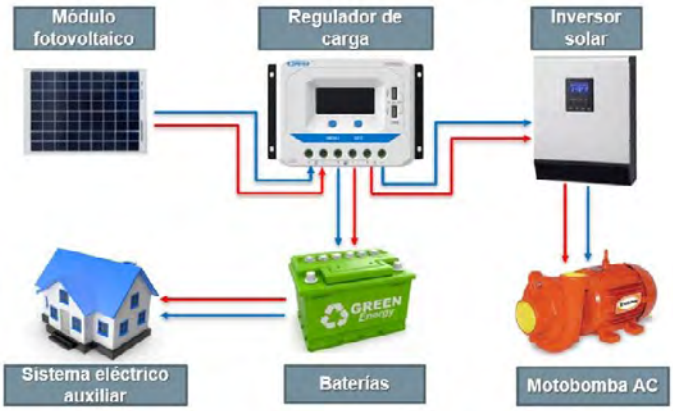
La función del inversor de corriente se basa en cambiar la tensión de entrada en corriente continua producida por los módulos solares, a una de salida de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada, con el fin de que el sistema SFV distribuya su producción en equipos de CC y CA.

Los sistemas SFV no compensan el consumo energético en horas de la noche; por lo tanto, en la implementación del proyecto se incluye un banco de baterías que

permita una distribución con equipos con carga CA y CC, con el objetivo principal de dimensionar un SFV para motobombas que trabajan con carga CA para riegos (goteo) en la zona de Fusagasugá y, en la noche, permitir con las baterías, energizar un sistema eléctrico auxiliar.

Figura 2

Esquema de diseño del sistema de riego SFV con banco de baterías



Es menester tener en cuenta factores de rendimiento y trabajo de cada uno de los equipos, que no solo permitan el funcionamiento del proceso, sino que se encuentren acoplados el uno con el otro, para no generar daños y pérdidas energéticas.

Para conocer la cantidad de módulos solares para el proyecto, es necesario realizar una ecuación de dimensionamiento que permita vislumbrar la cantidad de energía producida, que cumpla con la demanda del objetivo principal, que es el sistema de riego; para ello se tiene en cuenta la cantidad de módulos en total, que alimentarán el sistema (N_m), la potencia requerida por la motobomba (P) y, la capacidad total de carga que suministra el módulo (STC).

$$\mathbf{N_m \frac{P}{STC}} \qquad (2)$$

SAM, al ser un software norteamericano, cuenta con una base de datos de la Comisión Energética de California (CEC), la cual calcula la eficiencia de conversión de energía solar en electricidad, de los módulos disponibles comercialmente.

El módulo SunPower SPR-X22-480-COM seleccionado para este proyecto, utilizando la base de datos CEC, produce una potencia máxima de 480.320 W; está conformado por 128 celdas solares individuales que generan alrededor de 3.73 W, dependiendo del clima de la zona. Para calcular la cantidad de módulos que necesita el sistema SFV, se procede a realizar el cálculo pertinente, utilizando la ecuación (2.1)

$$N_m = \frac{P}{STC} = N_m = \frac{1858\,W}{480.320\,W} = N_m = 3.8\,modulos \qquad (2.1)$$

La cantidad de módulos requeridos, según la ecuación 2.1, muestra que son necesarios, redondeando la cifra, cuatro módulos; no obstante, la eficiencia de las celdas solares al día de hoy no generan una eficiencia del 100 %; el módulo de referencia cuenta con un porcentaje de 22,23 7 %; en consecuencia, se requiere acomodar un número mayor de módulos que permitan reemplazar esta carencia energética, con el fin de que el sistema sea autónomo y no dependa de un sistema interconectado para generar el proceso deseado.

Sistema de almacenamiento de energía por baterías – BESS

Las baterías para aplicaciones solares cumplen con la función de acumular la energía generada por el SFV, en situaciones donde la producción energética de los módulos sea escasa o nula. Dicho proceso de almacenamiento se produce a través de un proceso químico que puede clasificarse en diferentes métodos, dependiendo del tipo de batería que se selecciona.

Los tipos de baterías para aplicaciones solares de mayor uso actualmente en el mercado son las de ácido de plomo, las cuales están divididas en diferentes categorías, obedeciendo a su proceso químico:

- Inundadas: baterías que se encuentran sumergidas con un electrolito líquido
- VRLA gel: baterías reguladas por válvulas; el electrolito no es un líquido, sino un polvo de silicio que forma un gel para la batería
- VRLA AGM: baterías que absorben la energía a través de una fibra de vidrio situada entre sus placas.

Otro tipo de baterías en el mercado global son las baterías Ion-Litio, denominadas así, debido a que usan sales con este compuesto, para permitir el paso de electrones mediante ciertas reacciones químicas que liberan y almacenan la energía eléctrica.

Según Beard (2019), no son sencillas las condiciones de funcionamiento y el diseño de los componentes en el ciclo inicial, como tampoco, la inspección de los cambios en varios parámetros a lo largo de varios ciclos. Además, en muchos parámetros los cambios dependen de las condiciones de funcionamiento o del historial de la batería, con lo cual es necesario considerar los parámetros físicos con que están fabricadas las baterías.

La Tabla 3, a continuación, expone los parámetros físicos generales con los que cuentan las baterías.

Tabla 3

Características comparativas entre las baterías de Ácido de Plomo e Ion-litio

Batería	Inundadas	VRLA AGM	Ion-Litio
Seguridad	Aceptable	Alta	Muy alta
Ciclos	200-500	500-1200	2000-5000
Contaminación	Muy contaminante	Contaminante	Contaminante
Profundidad de descarga	50-60 %	60-70 %	70-90 %

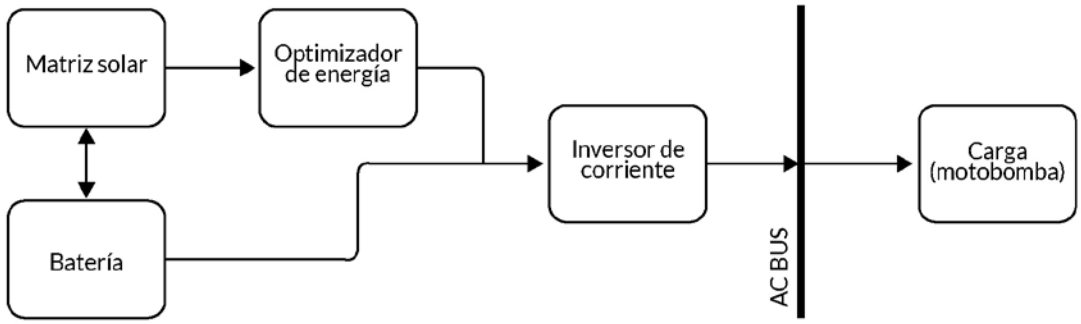
Los parámetros expuestos ejemplifican los componentes físicos que más se debe observar al momento de ejecutar la selección del banco de baterías. Cabe destacar que, el proceso se efectúa teniendo en cuenta factores externos como los económicos, ambientales y de uso, para un proyecto. Una batería está diseñada para alimentar procesos eléctricos específicos, durante periodos de tiempo que van de tres a 15 días, con ninguna irradiación solar o, con una mínima (Unidad de Planeación Minero Energética, UPME, 2003).

Para definir la cantidad necesaria de potencia y capacidad en la batería, es necesario conocer la configuración que requieren las baterías para delimitar aquellos parámetros; por lo tanto, se requiere aclarar que la capacidad, que se determina en amperios hora (Ah), aumenta si la conexión de las baterías se realiza en paralelo; por el contrario, si la conexión se da en serie, el valor en aumento se presenta en la tensión (V), definiendo así el arreglo de baterías que se desea durante el tiempo de vida del proyecto.

Para la integración del banco de baterías en el sistema SFV de este proyecto se utilizó un modelo que asume el rol de generar energía que requiere una carga que no se encuentra conectada a la red eléctrica compartida.

Figura 3

Batería FV conectada en CC detrás del medidor



Uno de los factores con mayor relevancia en la selección de una o varias baterías solares es su ciclo de vida, que define todo el proceso que puede soportar el BESS

dentro de su capacidad ya que, con el tiempo, la degradación del compuesto que permite el efecto electroquímico que conserva la energía producida por los módulos, disminuye el rendimiento de las baterías, hasta el punto de hacer indispensable su reemplazo, ya que no cumplen con el ciclo de profundidad adecuado que abastezca el sistema.

La simulación realizada en SAM cuenta con un tiempo de vida de 25 años, con un proceso de estudio anual, con el propósito de conocer el comportamiento del sistema durante su periodo de trabajo. Atendiendo la posibilidad de que las baterías se hallen o no en un sitio con clima estándar de 25 °C, se utilizó un banco de baterías compuesta Ion-litio, dada su gran seguridad; además, cuenta con un mayor ciclo de vida, significando la cantidad de usos continuos que permite realizar la batería; su proceso de desarrollo es contaminante; no obstante, tiene la ventaja de poseer estándares más bajos que las baterías inundadas y, maneja una profundidad de descarga que se explica como la capacidad de descarga en la que trabaja la batería, sin afectar sus ciclos de vida.

La batería Ion-litio de referencia para el sistema de riego SFV es la UF483040; posee las características requeridas que soportan el proceso de riego durante un año, en caso de ser necesario, cumpliendo el objetivo de alimentar a un sistema eléctrico auxiliar. Las características que presenta esta batería son:

Tabla 4

Características del modelo de batería UF483040

Batería	Modelo UF483040
Química	Ion-litio (Li-FePO4)
Tensión nominal	51,2 V
Capacidad nominal	30 Ah
Energía nominal	1536 W
Max corriente de descarga	40 A
Ciclos de vida	>6000 ciclos
Temp. de operación	0 – 45 ° Celsius

Con el fin de conocer la cantidad necesaria de baterías para el sistema de riego, se realiza un cálculo que permita conocer la cantidad requerida de baterías para efectuar su proceso principal de alimentar un sistema eléctrico alterno y servir como soporte para el proceso de irrigación.

Los parámetros para el dimensionamiento de baterías en este proyecto son: Potencia de la motobomba o energía total a generar $E\_\ gt$=929 kW/H; Horas de autonomía de la batería $D_{aut} \Rightarrow 1h$; Tensión de la batería seleccionada $V_n \Rightarrow 51.2V$; Capacidad de la batería seleccionada $C_n \Rightarrow 30Ah$; Energía total de la batería $E_{bt} \Rightarrow 1536W$; Profundidad de descarga de la batería $Pd_{max} \Rightarrow 80\ \%$.

Se toma E_{gt} y se multiplica por D_{aut} para conocer la autonomía de la batería Aut_b

$$E_{gt} * D_{aut} = Aut_b \Rightarrow 929\,W * 1\,h = 929\,W \quad (3.1)$$

Se divide el resultado por Pd_{max}

$$\frac{\mathbf{Aut_b}}{\mathbf{Pd_{max}}} \Rightarrow \frac{\mathbf{929W}}{\mathbf{0{,}8}} = \mathbf{1161W} \quad (3.2)$$

Obteniendo B_{opt}, el cual es el resultado del dimensionamiento óptimo del banco de batería. Luego se halla la capacidad que requiere el sistema C_{total} que se da en la unidad Ah, por lo que se toma B_{opt} y se divide por V_n

$$\frac{\mathbf{B_{opt}}}{\mathbf{V_n}} \Rightarrow \frac{\mathbf{1161W}}{\mathbf{51{,}2V}} = \mathbf{22,6Ah} \quad (3.3)$$

Para la cantidad de baterías que se requiere en el sistema, en conexión paralela se toma C_{total} y se divide por C_n, mismo proceso que se realiza para conocer la conexión en serie con los valores B_{opt} dividido con E_{bt}

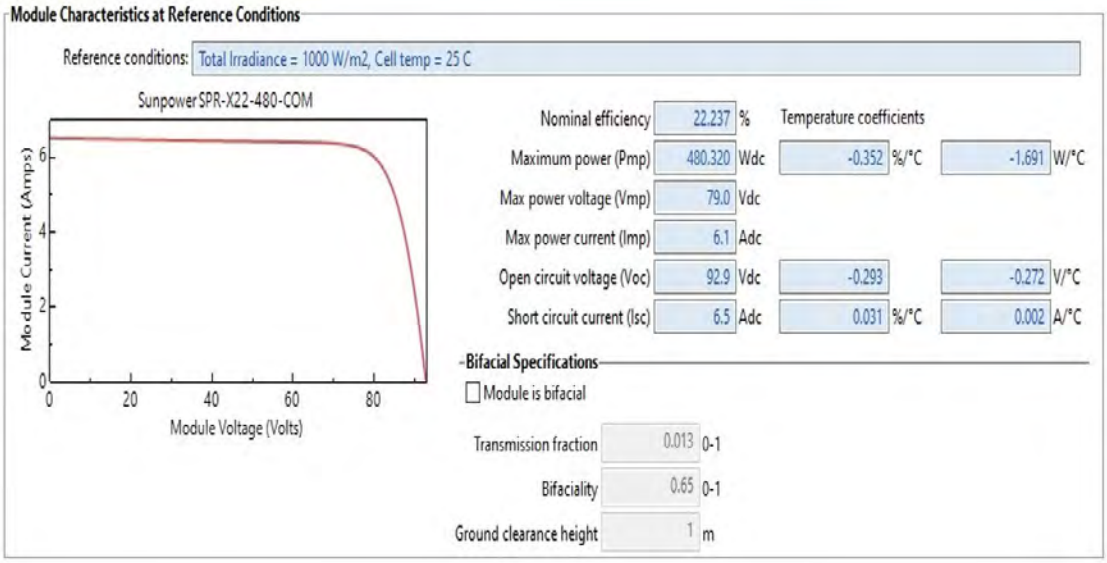
$$\frac{C_{total}}{C_n} \Rightarrow \frac{22{,}6Ah}{30Ah} = 0,75\ baterias \quad | \quad \frac{B_{opt}}{E_{bt}} \Rightarrow \frac{1161W}{1536W} = 0,75\ baterias \quad (3.4)$$

System Advisor model – SAM

SAM es una herramienta de simulación que vincula los modelos de rendimiento técnicos a modelos financieros, detallados para predecir el rendimiento económico de los sistemas de energía renovable, como sostienen DiOrio et al. (2015). Este sistema permite suponer un gran número de simulaciones de modelos renovables, facilitando al usuario, configurar procesos con las condiciones óptimas de utilizar el recurso energético en el entorno.

Figura 4

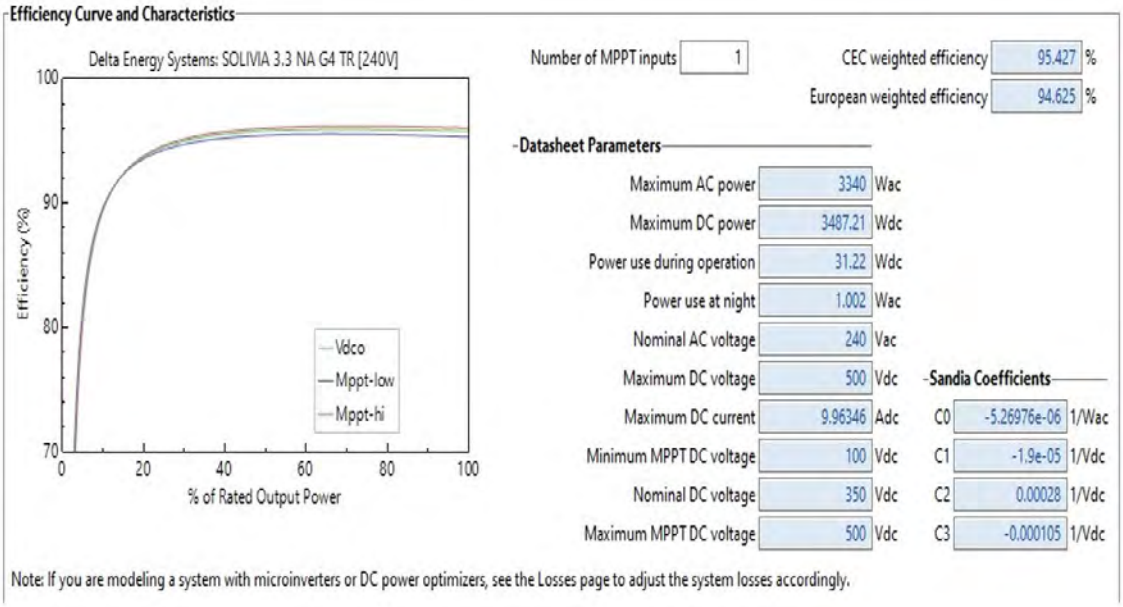
Curva de corriente-tensión y características del módulo de referencia



Ya sean modelos de energías solares concentradas, fotovoltaicos, eólicos, marinos, geotérmicos, entre otros, este sistema permite acomodar trabajos en donde es posible incluir BESS y pilas de combustible fotovoltaica, que funcionan como complementos detallados para los dos primeros procesos mencionados.

Figura 5

Eficiencia y características del inversor de referencia



El modelo SFV es el recurso que se optó para los procesos de irrigación de un cultivo en la zona de Fusagasugá, aplicando el sistema fotovoltaico detallado, que divide sus configuraciones con el fin de escoger el tipo de módulo, inversor, carga y configuración BESS que se requiere para este proyecto.

El sistema fotovoltaico detallado permite realizar configuraciones de selección de posición geográfica de la zona a trabajar, establecer un diseño adecuado para el trabajo, donde se incluye la cantidad de módulos e inversores para el proceso, junto con el emplazamiento azimut que ubica a los módulos, dependiendo de la posición solar e, introducir los cálculos para la carga y las baterías, junto con su proceso de uso de forma anual.

Figura 6

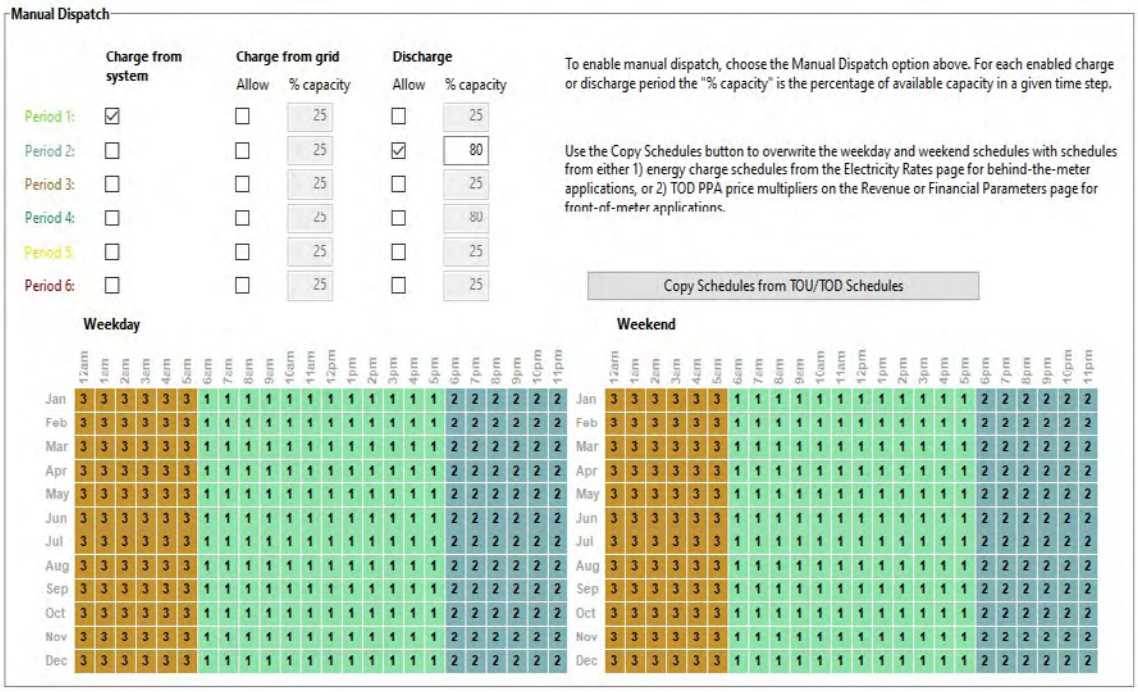
Configuración SAM de la capacidad y corriente del banco de baterías



SAM no cuenta con un catálogo de selección propia de baterías que se venda en el mercado global. Para su configuración, el usuario debe incluir todos los datos que requiere un banco de baterías (tiempo de vida, capacidad, número de baterías, voltaje de las celdas, degradación, pérdidas, despacho), con el propósito de simular un banco propio que puede usar como referencia, los parámetros técnicos y químicos de la misma, para que el proceso de simulación permita ser llevado al trabajo de campo.

Figura 7

Configuración del calendario entre semanas del banco de baterías



Resultados técnicos de simulación

La meta de este proyecto consiste en integrar un sistema de generación SFV, a un sistema de riego de forma autónoma, reemplazando el uso de fuentes tradicionales de energía fósil en las ZNI del país, utilizando como referencia, el sector rural de Fusagasugá, con el fin de brindar un efecto positivo en el impacto ambiental, reduciendo las contaminaciones emitidas por los gases de efecto invernadero, derivador del proceso de combustión de la gasolina y el diésel.

Por lo tanto, el proceso de implementación debe funcionar de tal forma que el sistema sea autosustentable y permita el cambio energético de las celdas con el banco de baterías, cuando sea necesario; de lo contrario, su función se empleará en las tareas principales a las cuales se le ha entregado una asignación.

Los principales datos que obtuvo SAM al realizar la configuración del sistema, muestran resultados de capacidad, energía y rendimiento, exponiendo valores del primer año de vida del proyecto.

Tabla 5

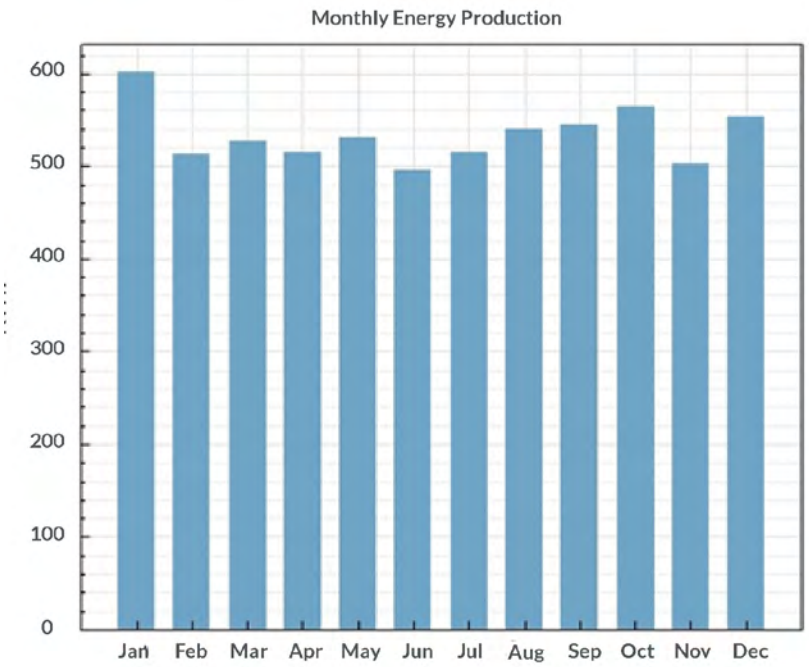
Resumen de parámetros energéticos y de rendimiento del sistema en el primer año de uso

Parámetros	Valor
Energía anual (año 1)	6.401 kWh
Factor de capacidad (año 1)	19 %
Rendimiento energético (año 1)	1.666 kWh/kW
Rendimiento de la batería	87,66 %
Carga de la batería	100 %

Otro elemento importante que SAM expone es la generación mensual de energía en el primer año; esto permite conocer los valores de producción de mayor y menor rendimiento que hubo en el primer año de vida del proyecto.

Figura 8

Producción de energía mensual para el primer año de vida útil del proyecto

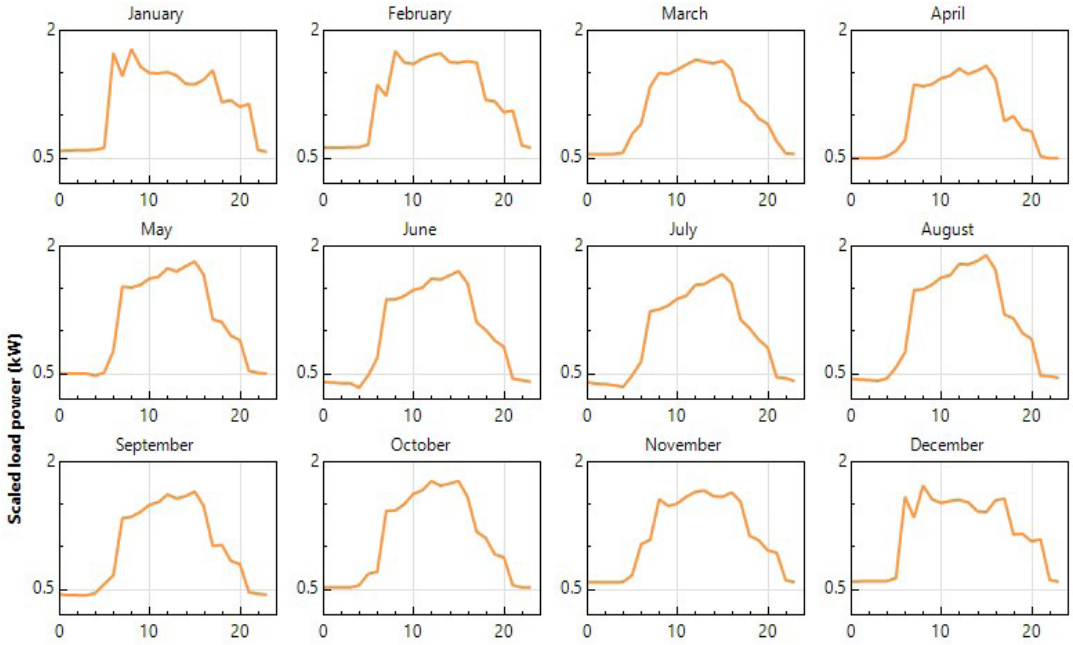


Esta variación se presenta debido a los cambios climáticos que tiene la zona de Fusagasugá a lo largo del año, siendo la temporada de lluvias que hay en mitad de año, una temporada de menor rendimiento energético, como se puede evidenciar en el mes de junio, donde los módulos solares recolectaron alrededor de 4.95 kWh, en comparación con el mes de enero, donde hay mayor producción, exponiendo datos con un valor de 6 kWh.

SAM despliega algoritmos que representan en tablas, la potencia configurada para las motobombas, en diferentes paneles que evidencian el consumo diario, semanal, mensual; y, agrega un perfil de carga, comparativo con los meses en donde se utiliza la motobomba. Este resultado permite exponer de mejor forma, el consumo que requiere el sistema dentro de un perfil de carga.

Figura 9

Perfil promedio diario mensual de un año de carga eléctrica

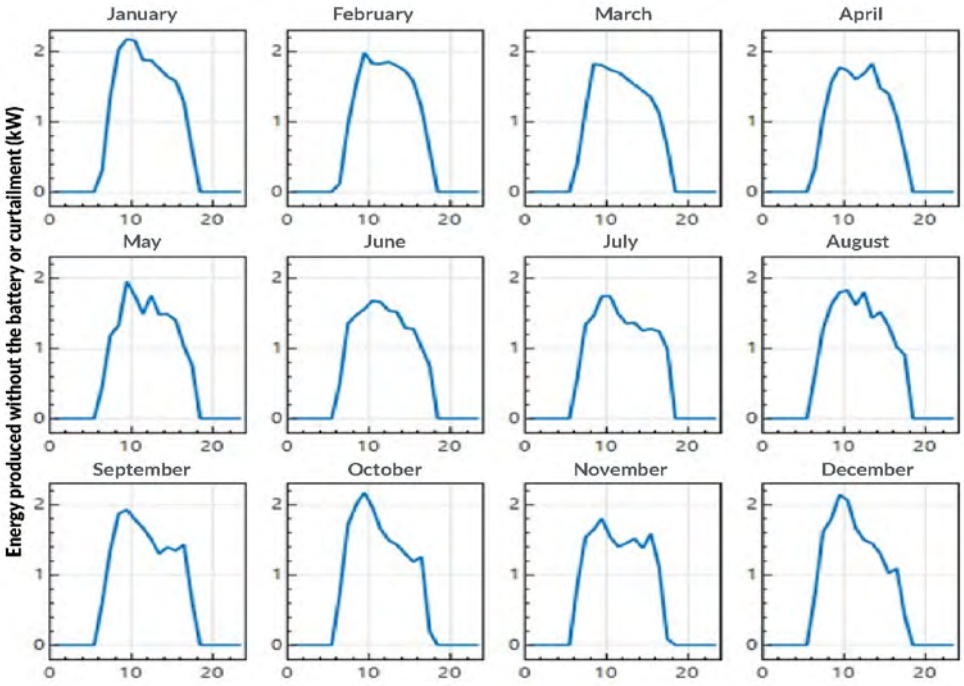


Se puede observar que, los datos ingresados en SAM muestran un consumo entre los 1.5 y los 2 kWh, entregando una mayor energía después de las 12 h y reduciendo su carga desde las 18 h, debido a la distribución explicada. Este margen se muestra debido a los picos de carga que la motobomba puede llegar a consumir dentro de los 25 minutos que requiere de trabajo.

Al realizar la configuración de los módulos en SAM, se detalla la cantidad de energía acumulada a lo largo del día, empezando sus funciones a las 5 h y concluyendo su proceso a las 18.30 h. A menor radiación, menor cantidad de energía producida, debido a la eficiencia de los paneles y al acoplamiento de seguimiento, en donde los módulos van en sincronía con el movimiento del sol, que aumenta o disminuye su producción.

Figura 10

Energía producida sin batería o reducción mensual

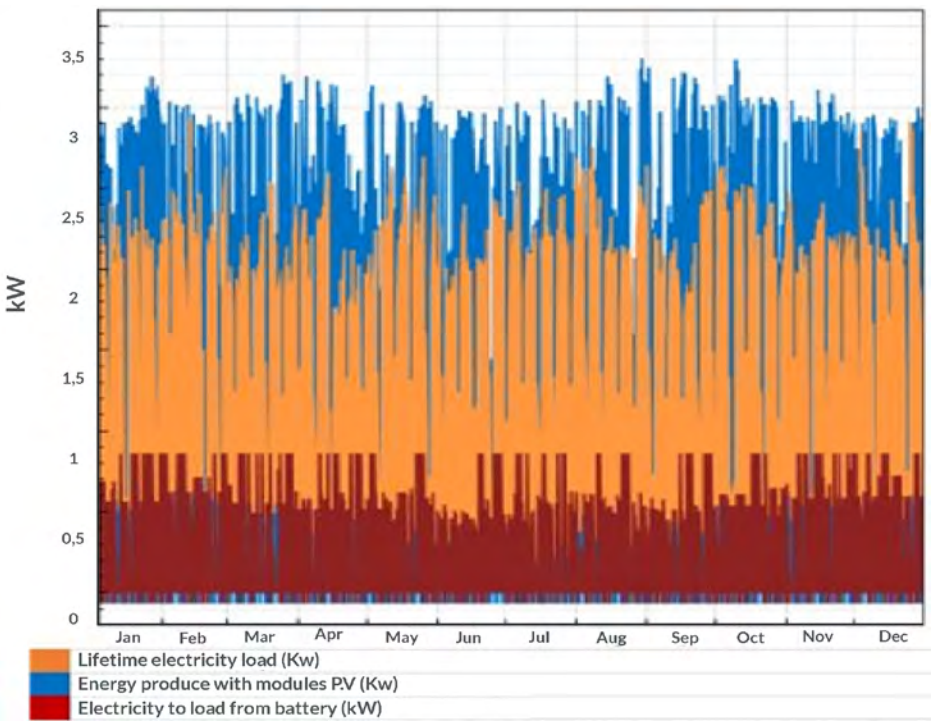


Como se logra evidenciar, con el paso de los meses el sistema genera menos energía, debido a la época de invierno y temporada de lluvias en la que entra Fusagasugá durante el año. Este es un factor que no contempla el cálculo teórico, al igual que la reserva que requieren las baterías, por lo que es necesario cubrir con más módulos la cuota energética que requiere el sistema.

El siguiente resultado sirve como conclusión en el ejercicio de simulación, en aras de exponer un diseño óptimo para la ZNI agricultora de Fusagasugá y, servir como preludio a una guía de configuración y simulación en un sistema de riego SFV en el programa SAM.

Figura 11

Resultados de carga y energéticos del sistema



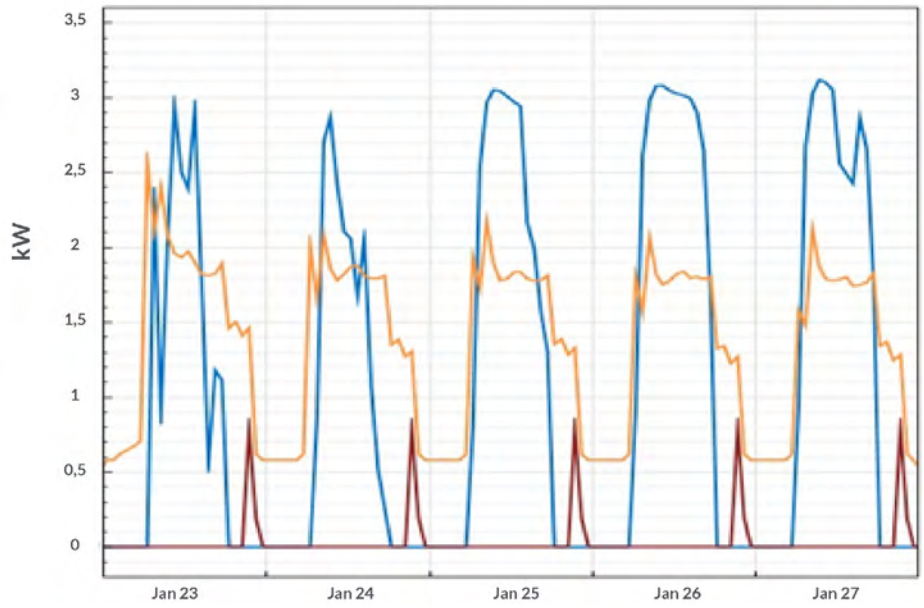
Las series de tiempo con valores instantáneos son la comparación de los resultados de carga, energía solar producida y producción energética de las baterías de forma anual. La carga generada oscila en los 1.5 a los 2 kWh; no obstante, SAM no es un software hecho para procesos de riego; los picos energéticos presentados en la Figura 11 son la muestra de un proceso de consumo comercial, por lo que es menester realizar ajustes dentro del software, para brindar resultados a favor de que el lector reconozca la utilidad de la simulación a la carga de las motobombas en cualquier horario del año.

Se concluye que, el uso de energía anual en el sistema siempre será mayor a la carga que requiere el sistema de riego y, a este resultado, las baterías cumplen con su objetivo primario de brindar energía a un sistema eléctrico alterno, ya sea de uso residencial o comercial.

Para interpretar más detalladamente los resultados expuestos, la Figura 11 tiene como objetivo, demostrar dos periodos de tiempo (enero y junio) de trabajo del sistema, donde se contempla sus comportamientos entre el mes con mayor y menor producción energética.

Figura 12

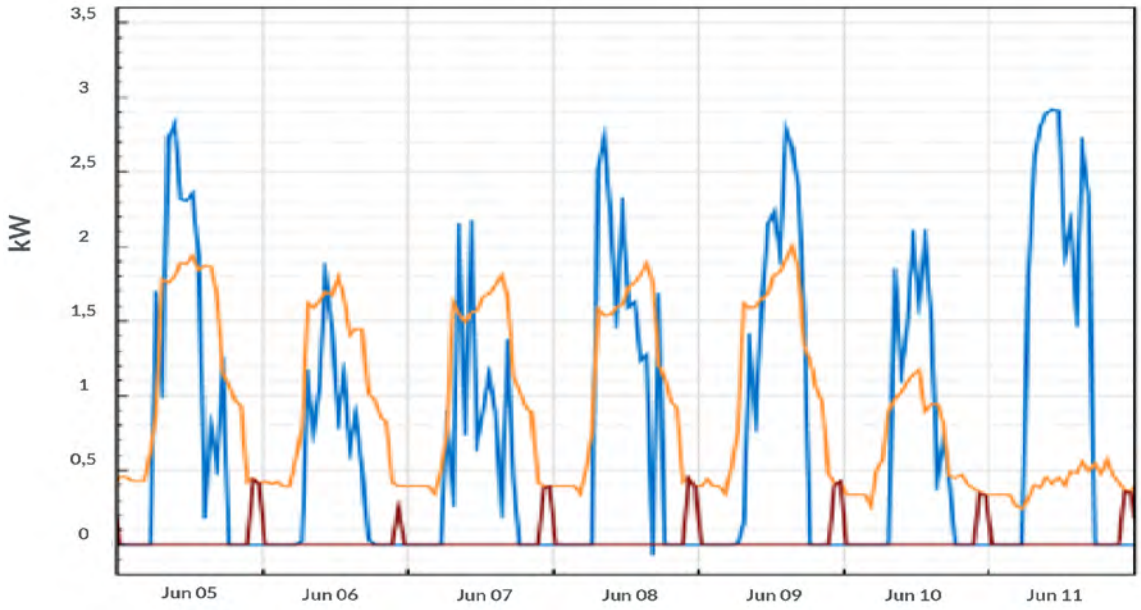
Resultados de carga y energéticos en una serie de tiempo en el mes de enero



La energía producida por los módulos solares genera la cantidad estimada para alimentar la carga de las motobombas durante todos los meses del año, suministrando alrededor de, entre los 2 a los 3.1 kWh, sin requerir de un suministro externo de electricidad durante el mes de enero, al mismo tiempo que alimenta el banco de baterías durante el día y este realiza su proceso de descarga para procesos eléctricos alternos de entre los 0.5 a los 0.85 kWh durante seis horas continuas.

Figura 13

Resultados de carga y energéticos en una serie de tiempo en el mes de junio



Durante el mes de junio, los resultados evidenciaron un cambio en la acumulación y entrega de energía, a pesar de que el sistema tuvo los mismos componentes; debido a los cambios climáticos y a la temporada de lluvias presentes en la zona de Fusagasugá, el sistema redujo su producción a un pico mínimo de 1.9 kWh el día 6 de junio, aumentando su producción a un valor mayor de los 2.5kWh el resto de la semana; sin embargo, cumplió con el objetivo de suministrar los 1.85 kWh de energía que requería el sistema de riego durante toda la semana, al igual que las baterías.

Conclusiones

Se explicó de forma detallada los procesos que se debe llevar a cabo para dimensionar y simular un modelo computacional técnico de un Sistema SFV con un banco de baterías que alimenta una motobomba que se utiliza para el riego de cultivos dentro de la ZNI de Fusagasugá, Cundinamarca, Colombia.

A través del software SAM se logró realizar una simulación cercana a la realidad, la cual define los procesos de transformación de energía de los módulos solares, obteniendo valores variables de energía generada que cumplen con el objetivo de entregar 0,926kWh por motobomba a la carga. La interacción con un banco de batería cumple con los 6000 ciclos de carga y con un porcentaje de carga del 80 %, descarga del 20 %, para la potencia de un sistema eléctrico alterno.

Luego de un proceso de análisis del banco de baterías, se determinó que SAM utiliza las baterías como una herramienta de soporte dentro del sistema, ya que no lo considera como un generador primario de energía, sino que lo utiliza como respaldo, en caso de llegar a ocurrir una falla en el sistema de generación SFV, por lo que su principal objetivo es el de cubrir el gasto energético de un sistema eléctrico alterno y, como objetivo secundario, servir como soporte al sistema de riego.

Referencias

Beard, K. W. (2019). *Linden's Handbook of Batteries* (5th ed.). McGraw-Hill

DiOrio, N., Dobos, A., Janzou. S., Nelson, A., & Lundstrom, B. (2015). *Technoeconomic modeling of battery energy storage in SAM*. National Renewable Energy Laboratory.

Gillman, P. (2015). *SAM Photovoltaic Model Technical Reference*. National Renewable Energy Laboratory.

Gurovich, L. (1985). *Fundamentos y Diseño de Sistemas de Riego*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA.

Hurtado, A., Patarroyo, A., Ocaciones, M. Á., Cruz, F., Salinas, J. D., Gutiérrez, L. A., Matéus, J. A., Villarraga, W. K., Guerrero, O. D., Ovalle, J. A. y Goyeneche, H. S. (2020). Eficiencia Energética. https://regioncentralrape.gov.co/wp-content/uploads/2020/04/Eficiencia-Energe%CC%81tica-V7.pdf

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2003). Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas y difusión. http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias_alternativas/normalizacion/ANTEPROYECTO_DE_NORMA-CELDAS_Y_BATERIAS_SECUNDARIAS_PARA_SIS.pdf

Vivas, J. (2019, 10 de febrero). Los 1.710 poblados que aún se alumbran con velas en Colombia. *El Tiempo*. https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/los-poblados-que-aun-no-tienen-energia-electrica-en-colombia-324980.

Almacenamiento de energía solar en sumideros térmicos

Alejandro Garza Galicia[1]

Resumen

En la actualidad, se está estudiando diferentes formas de mantener la continuidad de las fuentes renovables a través pilas eléctricas; sin embargo, por su costo y huella de carbón, todavía no se alcanza la rentabilidad necesaria. Considerando la problemática que representa almacenar energía en baterías, en el presente trabajo se analiza el comportamiento térmico de cuatro diferentes sustancias, para el almacenamiento de energía solar en sumideros de calor, a través de calentamiento en un concentrador de tipo parabólico. Las sales fueron llevadas a su temperatura máxima, acorde con la radiación solar promedio de 980 Wtts/m^2. Se describió el enfriamiento térmico, en función del tiempo y las condiciones ambientales, obteniéndose que, el carbonato de sodio resulta con un tiempo de almacenamiento de seis horas 28 minutos, a un rango de temperaturas de entre 77.5 °C y 112.4 °C, mientras el sulfato de sodio resultó con un tiempo menor de cuatro horas 07 minutos, a un rango de, entre 80.9 a 119 °C. De esta forma, existe la posibilidad de utilizar estos materiales en sumideros de calor para sistemas térmicos que requieran un respaldo o ahorro de energía, manteniendo la continuidad de los procesos.

Palabras clave: almacenamiento térmico solar; calor específico; sales; cambio climático.

Introducción

El planeta está sufriendo una evolución cada vez más rápida, con el desarrollo de sistemas de comunicación, transmisión de datos, equipos de control y automatización, robótica, programación con inteligencia artificial, un acelerado incremento de las actividades industriales, ciudades en constante crecimiento urbano, parques vehiculares que rebasan las capacidades de aforo en las vías, entre otros. Los servicios de todo tipo aumentan en proporción al crecimiento

[1] Universidad del Valle de Atemajac Campus GDL, Zapopan Jalisco México. Correo: a.garza@univa.mx.

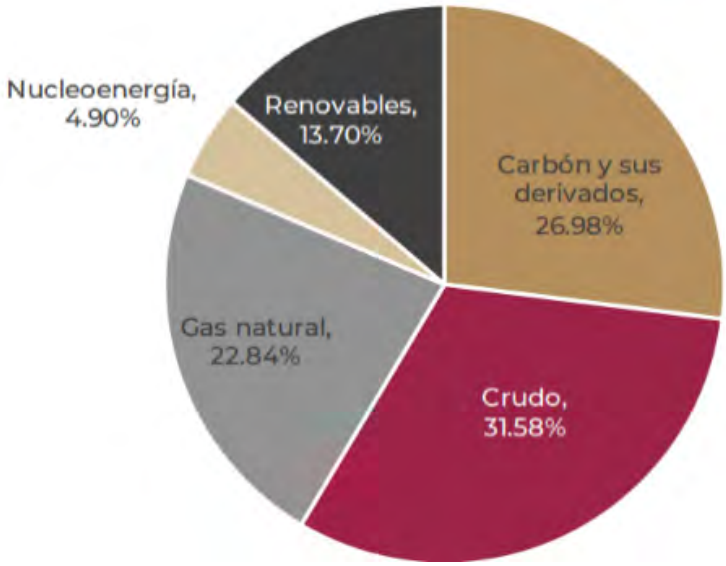
poblacional; es decir, esta sociedad está viviendo una transformación en su forma de vida; cambios que demandan más energía, mayor eficiencia, continua, sin apagones, sin variaciones de voltaje y, sobre todo, en cantidades cada vez mayores; sin embargo, este avance y desarrollo se ha visto ensombrecido porque la energía para estos procesos todavía depende, en su gran mayoría, de la combustión de carburantes fósiles, fenómeno termoquímico que permite la oxidación de un compuesto a base de carbono y nitrógeno que, ha provocado, sin duda, la aparición de grandes impactos en la salud de las personas y la biodiversidad (Ballesteros-Ballesteros y Gallego-Torres, 2019).

A lo largo de la historia, la utilización de los combustibles fósiles ha determinado el crecimiento y desarrollo de muchas naciones; el carbón tuvo un papel fundamental durante la revolución industrial, estableciendo la base para la movilidad y la satisfacción de las necesidades de la población en una época y así, dar paso a los primeros hidrocarburos derivados del petróleo, con la aparición de los primeros automóviles y con el avance bélico de la Primera y la Segunda Guerra Mundial, que provocó el impulso y desarrollo de la industria petroquímica que, para el año de 1960, ya había conformado grandes empresas de explotación y producción de refinados, abasteciendo los mercados internacionales y comenzando una era moderna para el desarrollo industrial que dio origen a la manufactura en serie, el desarrollo urbano y la movilidad motorizada, llegando a periodos más difíciles, con la ocupación de territorios, conflictos bélicos, control de precios y economías (Zabaloy y Guzowski, 2018).

Sin duda alguna, los fósiles han dejado y siguen dejando huella en la historia de las sociedades; en el presente, se continúa dependiendo de estos combustibles, como el gas natural en Europa, que ha escalado los costos de las tarifas eléctricas en los mercados españoles. El precio del barril sigue siendo un indicador económico para las importaciones y exportaciones; es decir se continúa con la dependencia; como ejemplo, el Gobierno de México (2020) reporta la disponibilidad de los fósiles en el contexto internacional, con más del 80 % como se ve en la Figura 1, donde prácticamente las renovables todavía no representan un peso sustancial respecto a su competidor, el petróleo. De esta forma, la transición energética se encuentra en una coyuntura todavía favorable a los fósiles, con un peso económico y político de las naciones que lo controlan y, desafortunadamente, asociado a un crecimiento de muchas economías por la utilización de estos combustibles llamados “sucios” (p. 83), como lo reporta Catalán (2021), por lo que muchos gobiernos los ven todavía como generadores de riqueza, como es el caso de México, que está construyendo una central petroquímica y adquirió otra en los Estados Unidos de Norte América.

Figura 1

Transición energética



Fuente: Gobierno de México (2020).

La complejidad del uso de los combustibles derivados del petróleo procede de una gama de problemáticas en todos los órdenes, por lo que vuelve la transición a las fuentes renovables, un enorme interrogante. A pesar de los esfuerzos de diferentes naciones y la lucha entre las políticas públicas para acelerar el proceso, la economía basada en la explotación de los hidrocarburos continúa en auge, con una industria automotriz que todavía desarrolla su cadena de suministro en el motor a gasolina, como uno de los factores más importantes que han hecho que siga predominando la hegemonía de los fósiles, aunque exista la confianza de grandes inversionistas en apostar a nuevos negocios con las energías limpias (Anser et al., 2020).

Si bien sigue existiendo una fuerza económica y política de los combustibles sucios, los analistas, grupos ambientalistas y científicos plantean en los diferentes foros, la necesidad de migrar a los sistemas de producción de energía limpios, como quedó de manifiesto en el Acuerdo de Paris (Naciones Unidas, 2015), donde 195 países firmaron y se comprometieron a mantener por debajo de los 2 °C el incremento de la temperatura global del planeta, provocada en gran parte por el uso de los fósiles y sus derivados. De esta manera, se establece el marco estructural para impulsar las energías limpias, a investigar para disminuir la producción de gases efecto invernadero (GEI) e instaurar el concepto de huella de carbono, como un indicador del impacto en bióxido de carbono equivalente CO_2 sobre los procesos; así, la batalla entre fósiles y renovables da un impulso a las limpias, por las graves afectaciones que han aparecido en el planeta, como el cambio climático y sus severas consecuencias de todo orden (Armesto, 2021).

Otro factor que se evidencia últimamente con más notoriedad son las enfermedades que los altos índices de contaminación en las zonas urbanas con denso tráfico han provocado, generando un bajo nivel de movilidad; un transporte público poco eficiente que hace que el uso del auto particular se intensifique y los sistemas de verificación vehicular sean de poco alcance en el control de emisiones. Se reporta una gama de padecimientos, especialmente en el sistema respiratorio y cardiovascular en niños y adultos mayores, evidencias de enfermedades en la piel, en diferentes órganos del cuerpo, atribuidas directamente a las emisiones de monóxido de carbono CO, ozono O_3, partículas PM10 y PM2.5, óxidos de nitrógeno NOx, todos ellos derivados de la combustión de gasolina, diésel, crudo, sumados a fenómenos climatológicos como elevación de temperatura en ciudades que no padecían este fenómeno, incendios, aparición de plagas por la variación microbiológica de especies debido a la temperatura y humedad, es decir, al cambio climático; desafortunadamente, al cuantificarse, estas enfermedades reportan millones de dólares en gastos que van desde consultas, hospitalizaciones, medicamentos, hasta tratamientos que pudieron ser evitados o, al menos, haber disminuido su gravedad (Limaye et al., 2019).

El sol, el viento, el agua, la materia orgánica y el hidrógeno H se ven como una tentativa de solución a la demanda mundial, a través de los diferentes dispositivos, turbomáquinas y procesos para transformar los efectos de estos fenómenos naturales en energía, trabajo, calor, electricidad, acompañados de equipos como los calentadores y concentradores solares para producir calor para cocimiento y calentamiento, los paneles fotovoltaicos que transforman la radiación solar en electricidad, las turbinas eólicas que aprovechan la cantidad de movimiento mv^2 de las corrientes de aire y las transforman en trabajo mecánico y, posteriormente, a electricidad, muy similar a la transformación en las centrales hidráulicas que aprovechan la energía potencial del agua y la transforman en electricidad, los procesos de fermentación anaerobia y aerobia para la producción de biogás y la electrólisis para separar la molécula de hidrógeno del agua.

En efecto, ya se está utilizando estas fuentes, a través de grandes plantas solares y enormes parques eólicos, siendo estas, las más desarrolladas industrial y comercialmente; sin embargo, existe la desventaja que no son continuas en su disponibilidad, debido a los horarios y los fenómenos climatológicos, por lo que pierden competitividad frente a los fósiles (Vega, 2014). En tal virtud, se ha investigado y desarrollado, sistemas para el control de entrada y salida de estas plantas y su interconexión a los sistemas de alto voltaje; al mismo tiempo, se está analizando las posibilidades de almacenar energía en baterías o pilas, con el fin de tener continuidad de la energía en horas en las que la fuente renovable no está operando y así, aprovechar las bajas en la demanda y la disponibilidad del sol o el viento para cargarlas. Esta solución implica el procesamiento de material para la batería, fabricación y posterior disposición, cuyo mayor problema es la huella de carbono que se genera; le suma su relativo tiempo de vida y, el costo de inversión (Catalán, 2021). Se considera que, con la migración a las energías verdes, el volumen

de emisiones que provocaría el uso de baterías eléctricas pudiera ser una de las desventajas para detener su entrada y disminución en el uso de los fósiles.

Esta desventaja de la disponibilidad que se plantea en el accionar de las fuentes eólicas y solares para el almacenamiento de energía, ha redireccionado los enfoques de utilizar pilas eléctricas, a usar procesos térmicos, considerando que el proceso termodinámico del sumidero de calor es un sistema que aprovecha el aislamiento, para almacenar energía en forma de calor latente y sensible, como podría ser un termotanque de un calentador solar (Figura 2), cuyo material aislante permite mantener la temperatura del agua hasta por doce horas, utilizando poliuretano, polímero con un bajo calor específico y una conductividad térmica muy baja. En términos de almacenamiento de energía, puede ser de menor eficiencia, pero tiene la gran ventaja de un tiempo de vida muy alto; la infraestructura no es compleja como sistema de control; la inversión es menor y, su rentabilidad ambiental se estima en una muy baja huella de carbono, comparativamente con las baterías (Esteire, 2010).

Figura 2

Termotanque aislado con poliuretano



Esto ha abierto una ventana de posibilidades a los especialistas en termodinámica y físico-química, para investigar las formas de captar energía solar que se suministre al sumidero, mediante configuraciones de geometría, hidráulica, mecanismos de trasferencia de calor, materiales, accesorios, sistemas de control, como lo indican Dinesh et al. (2021), Kumar et al. (2020), Jeon et al. (2013), con lo que existe la posibilidad de guardar esta energía e insertarla en los procesos térmicos, en aras de bajar los consumos eléctricos y de combustibles fósiles.

Existen diferentes planteamientos para almacenar la energía, desde la colección de la radiación solar, el tipo de equipo, los materiales, hasta el arreglo hidráulico, por lo que se planteó un esquema con base en el diseño termodinámico del sumidero, un análisis termo matemático, una valoración de la físico-química de sustancias para formar el cuerpo del sumidero, sometiendo el equipo a un flujo frío con diferentes sustancias, para realizar un análisis comparativo del funcionamiento termodinámico, que determine la mejor condición y la sustancia con funcionalidad rentable para el proceso.

Desarrollo

Sobre una base científica, el proyecto inicia con el planteamiento de la captación de la radiación solar sobre el sumidero; es decir, identificando la forma más eficiente con la cual la energía de la onda electromagnética es captada y transferida al sumidero. Los esquemas existentes van desde un colector plano, hasta sistemas esféricos o cilíndricos que requieren menor inversión (Goswami et al., 2013); sin embargo, las temperaturas no son tan altas como en sistemas móviles como la concentración solar, aunque la inversión es mayor, si se instala una instrumentación y un seguidor solar (Yilbas et al., 2016). Estos autores exponen las condiciones en las cuales el sol incrementa la temperatura de la superficie, aunque este es solo un factor, por lo que se debe considerar al sumidero, como un volumen de control, incluyendo accesorios, cuerpo y sustancia.

Los actuales sumideros de calor para almacenamiento de energía son, esencialmente, tanques de almacenamiento con recubrimiento de aislamiento; esto significa que, el cuerpo del tanque que contiene a una sustancia es revestido con un material con una conductividad térmica muy baja, como la fibra de vidrio, lana mineral o poliuretano; mientras es calentado con alguna fuente de calor, almacena la energía y, cuando se dispone la sustancia, disipa energía para el proceso (Wang et al., 2012). Este sistema sirvió como base para el sumidero planteado en este trabajo, al tener un sistema donde almacena y, al mismo tiempo, dispone de la energía. De esta forma, el principio del mismo se estableció tomando como base, las referencias de publicaciones e identificando las ventajas de la concentración solar, ya que puede alcanzar mayor temperatura y, a la vez, buscar el arreglo termodinámicamente viable para construirlo y ver las condiciones de funcionamiento.

Base de Diseño

Considerando las ventajas de la captación de energía mediante la concentración solar, se diseñó un sistema de tipo concentrador con geometría parabólica, con el cual colocar el sumidero en el foco de la parábola, para recibir la energía del sol a través del día. Sus características dimensionales fueron establecidas con el objetivo de que sirvieran a una instalación industrial constituida por una red hidráulica de calentamiento de agua de un centro deportivo y, también, que fuera una instalación de investigación científica y académica para estudiantes.

Para acoplar el diseño del concentrador solar bajo un esquema de tipo industrial y optimizar en materiales, se ajustó las dimensiones a las placas comerciales de aluminio calibre 22 acabado espejo, como se ve en la Figura 3. El marco se diseñó sobre una figura metálica que resistiera los esfuerzos del peso y la geometría parabólica; acorde al peso de la estructura, se incluyó dos soportes de refuerzos con la figura de parábola, para mantener la geometría.

Figura 3

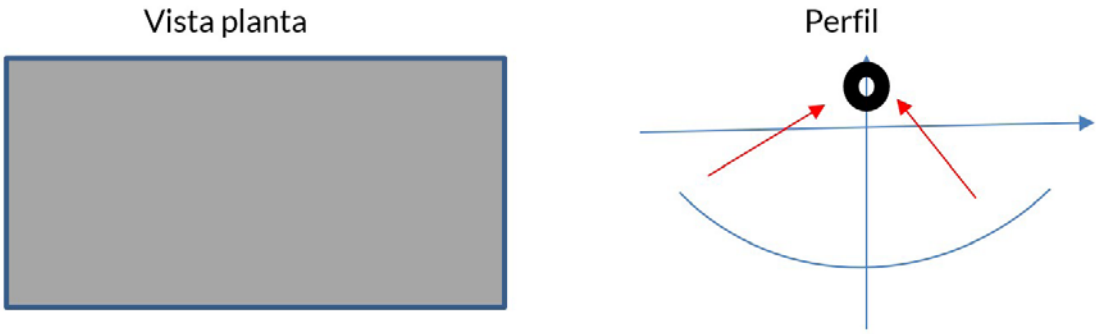
Placa de aluminio acabado espejo



Para aprovechar el máximo de radiación, el sumidero está diseñado para ser el foco de la parábola, como se aprecia en la Figura 4; es decir, el punto equidistante de todas las coordenadas que forman la parábola; de este modo, todos los vectores de la radiación inciden sobre el foco y captan la energía en forma de calor. Como se ha indicado, las configuraciones de los sumideros son diferentes, pero con baja eficiencia, por lo que se utilizó el principio del contenedor aislado, combinado con el mecanismo de transferencia de calor de intercambiador de tubos y coraza, considerando el lado de la coraza seco, con una sustancia que pueda almacenar la energía. Este tipo de dispositivos tiene una ventaja sobre los sumideros fijos: la versatilidad de drenar o hacer pasar un fluido que, generalmente, se desea calentar, mientras que el tanque se mantiene estático (Dandotiya y Banker, 2017), de suerte que, representa una flexibilidad en instalaciones industriales, al permitir manejar un flujo controlado de fluido; otro factor que se considera es el peso del intercambiador ya que, el concentrador es un sistema móvil de tipo girasol, por lo cual, adicionar masa requiere mayor potencia del actuador eléctrico para desplazar el concentrador siguiendo al sol; en este orden de ideas fue como se seleccionó el tipo de un paso en flujo unidireccional.

Figura 4

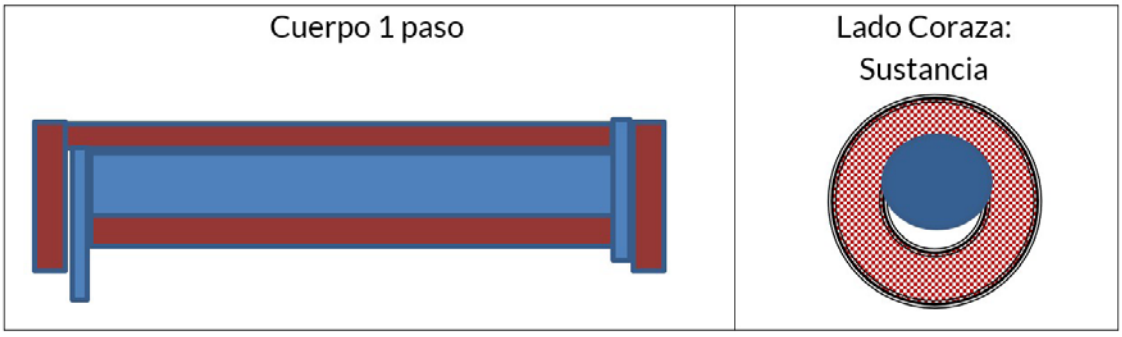
Diseño parabólico del concentrador



Dentro de la gama de intercambiadores de calor de tubos y coraza, el tipo de un paso como se observa en la Figura 5, representa una ventaja al ser modelado más sencillamente, ya que el perfil de temperaturas se aproxima a una función lineal y, en este caso, el lado de la coraza se verá llenado de la sustancia de bajo calor específico con la cual se conforma el sumidero.

Figura 5

Intercambiador de calor: Sumidero



La longitud del sumidero se ajustó al tamaño de la estructura del concentrador, considerando el largo del tubo. Respecto al diámetro, se atendió las medidas estándar de tuberías comerciales, para que el espacio entre el diámetro interior de la coraza y el exterior del tubo central, se inundara de la sustancia que almacena la energía del sol.

Materiales

Uno de los factores más importantes para optimizar el funcionamiento de los sistemas de almacenamiento de energía es el aislamiento; en este sentido, se ha desarrollado varias opciones que, inclusive, ya se encuentran disponibles comercialmente. En el caso del sumidero, la sustancia que va a captar la energía se considera que debe ser con un bajo calor especifico Cp; de aquí la importancia

de analizar la propiedad a presión constante, como se ve en la ecuación (1); la capacidad de transferir energía depende de la temperatura, pero, la condición de la estructura atómica define el fenómeno transitorio de la liberación de calor en función del tiempo, por lo que se toma este parámetro como eje de evaluación en el cual se establece el comparativo, probando diferentes sustancias con bajo calor específico, que proporcione un gradiente de entalpia con un diferencial de temperatura muy alto; esto hará que el valor de calor tienda a valores muy bajos.

$$Cp = \frac{\partial h}{\partial T} \quad \text{.....(1)}$$

El trabajo de Bravo (2018) presenta un listado de sustancias viables para utilizar en almacenamiento de energía; se puede encontrar materiales pétreos utilizados en la construcción, como el cemento; algunos polímeros muy comunes de la industria química que, actualmente, son utilizados como aislantes; se menciona materiales orgánicos como fibras de algunas cactáceas (Madhi y Nsofor, 2016), la utilización de estructuras nanotecnológicas para mejorar las características de la estructura atómica de la sustancia y aumentar la ganancia de calor; sin embargo, estos materiales tienen poca eficiencia o no están disponibles, por lo que se revisó sus propiedades de sales o cristales con bajo Cp, materiales que son comercialmente disponibles como los que se observa en la Tabla 1, cuyo costo es relativo y no afectan las condiciones del acero de los tubos del sumidero:

Tabla 1

Propiedades de algunos materiales

Sustancia	Fórmula	Densidad g/cm3	Aspecto	Cp	T Fusión °C
Cloruro de calcio	$CaCl_2$	1.55	Extra hidratado	1.89 kJ/kg°K	730
Fosfato bisódico	Na_2HPO_4	1.52	dodecahidrato	2.01 kJ/kg°K	540
Carbonato de sodio	Na_2CO_3	2.8	decahidrato	0.653 kJ/ kg°K	550
Sulfato de sodio	Na_2SO_4	2.66	decahidrato	30.64 cal/g-mol	884

Fuente: Hojas de Seguridad.

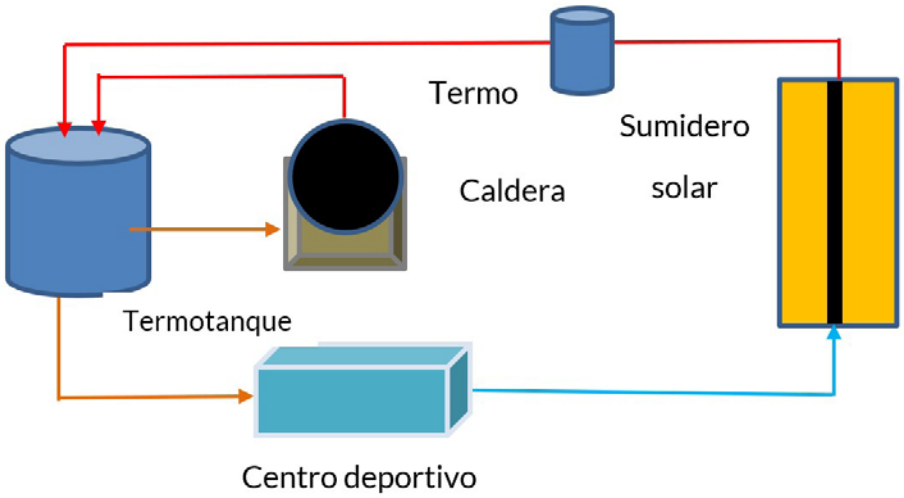
Las sustancias seleccionadas tienen un bajo calor específico y su valor es relativamente accesible en el mercado mexicano; son sustancias que hacen parte de procesos productivos de la industria química y pueden ser adquiridos en los depósitos químicos comerciales; su aspecto, en general, es parecido a las sales de cristales medianos; bajo este diseño, se plantea colocar en el intercambiador de calor, cada una de las sales, caracterizando térmicamente, como una función del tiempo.

Instalación

La Figura 6 muestra el arreglo y conexión del equipo que se instaló en el centro deportivo de una institución universitaria.

Figura 6

Arreglo y conexión del equipo



El flujo de agua se utilizará para dotar de agua caliente al centro deportivo; el funcionamiento se basa en el agua que viene de la instalación que ha perdido calor y es bombeada a la azotea a 4.5 kgf/cm^2 de presión; pasa por el sumidero de calor y es prealmacenada en un tanque secundario que controla la primera fase de alta temperatura que sale del sumidero; esta agua, ya con una ganancia de entalpia, circula hasta el termotanque principal en donde se homogeniza la temperatura a 50 °C. Considerando las pérdidas de calor en la tubería, el termotanque está conectado a una caldereta de 25 CC en paralelo para, en caso de inestabilidades de la radiación por la climatología, entrar el equipo para respaldo. El sumidero se colocó en la azotea del edificio, como se ve en la Figura 7; se ancló a la loza en un burro de PTR de 4 “, es controlado por una tarjeta programada para seguir el movimiento unidireccional del sol en el horario de 7 de la mañana a 5:30 p. m.

Figura 7

Sumidero de calor en operación



Para el manejo de las sobrepresiones, se instaló válvulas de seguridad a la admisión y a la descarga del sumidero; para permitir el movimiento del concentrador y del conjunto, se conectó mangueras flexibles de alta presión de acero inoxidable, a un cabezal de cobre y tubería de termofusión, que permite el flujo al circuito hidráulico.

Modelación

Para modelar el sumidero, se utiliza los principios matemáticos de la transferencia de calor con la base de la primera ley de la termodinámica, con la cual se establece que, la energía no se crea ni se destruye; simplemente, se transforma; así, se hizo uso de la ecuación (2) (Bird et al., 2002).

$$\rho C_p\left(\frac{\partial T}{\partial t}+v_x\frac{\partial T}{\partial x}+v_y\frac{\partial T}{\partial y}+v_z\frac{\partial T}{\partial z}\right)=k\left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right]+\mu\Phi_v \qquad (2)$$

Como el flujo inunda todo el diámetro de la tubería y, por el lado interior de la coraza, la sustancia llena la cavidad, permite tomar al sumidero como un cilindro sólido, por lo que se anulan los términos de velocidad y viscosidad. Considerando que la longitud del intercambiador no es tan grande, se asume que las pérdidas son despreciables, con lo que la expresión queda como la ecuación (3) en una sola dimensión y, dependiendo de la densidad *r*, el Cp y la conductividad térmica k, al interpretarla físicamente, indica que, en el sumidero de calor, la distribución de temperatura es una función de la longitud y del tiempo.

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \qquad (3)$$

En términos termodinámicos, se obtiene una expresión que ayuda a comprender el fenómeno de transferencia de energía y que, las características del calor específico son determinantes para su acumulación (Parry et al., 2014); esto da base para el planteamiento de la experimentación en términos de temperatura y tiempo, por lo que la fase esencial de este trabajo se estableció en colocar en operación el sumidero en el concentrador solar en días de radiación promedio de 950 Wtts/ m^2, sin presencia de nubosidad y, la determinación del perfil de temperatura en un tiempo específico, con las sustancias seleccionadas.

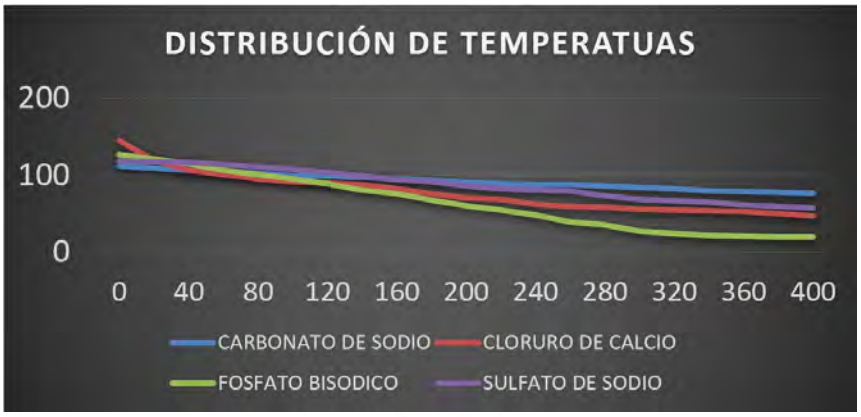
Resultados y Discusión

La operación del circuito hidráulico de este centro deportivo reporta un gasto de 80 lpm de agua, que da servicio a las actividades propias; la temperatura ambiente es de 28 °C; las pruebas fueron realizadas en horarios a partir de las 12 del día, para aprovechar la radiación del día. La temperatura de recirculación se registró en 26 °C; es decir, una vez que sale del área de servicio y nuevamente va al área de calentamiento.

El sumidero se cargó con cada una de las sustancias; al terminar cada prueba, se desmontó del concentrador, se limpió perfectamente y, nuevamente, se llenó con la siguiente sustancia. Algunas consideraciones involucradas en las pruebas fueron: la demanda de mayor agua caliente en regaderas, por presentarse eventos de competencias en el centro deportivo, que aumenta la fluencia de asistentes. Atendiendo el modelo matemático que se obtuvo, se estableció el registro y gráfica de datos de la temperatura en °C, contra el tiempo en minutos, como se puede apreciar en la Figura 8, con el fin de determinar cuál sustancia tiene mayor capacidad de almacenamiento.

Figura 8

Comportamiento térmico del sumidero temperatura T °C vs. tiempo min



Como se observa en la Figura 8, el carbonato de sodio tiene una mayor capacidad de almacenar el calor, al mantener su temperatura en los rangos más altos (77.5 °C y 112.4 °C), en un tiempo de un poco más de seis horas; esto quiere decir que, la disponibilidad de calor es más factible en sales y cristales, con este valor de calor específico. A continuación, el sulfato de sodio presentó el rango un poco por debajo del carbonato de calcio, finalizando la prueba arriba de los 58 °C y, aunque no alcanzó los 77.5 del carbonato, todavía es una muy buena temperatura, en términos de ganancia de calor. El cloruro de calcio tuvo, al inicio, un incremento significativo al alcanzar casi los 150 °C, pero, fue descendiendo hasta llegar a los 50 °C, condición que tampoco es mala, en términos de almacenamiento de energía; finalmente, el fosfato bisódico alcanzó temperatura de 125 °C; sin embargo, su energía se fue disipando hasta caer al nivel más bajo, de 26. También se observa que, todas las sustancias tienen un límite de almacenamiento y, a partir de este punto, su capacidad de almacenar energía disminuye.

Conclusiones

El almacenamiento de la energía se ha vuelto uno de los temas más importantes para la transición energética que está viviendo el mundo; las necesidades de disminuir y eficientar el uso de los combustibles fósiles, determinan la huella de carbono y la emisión de GEI, por lo que será necesario acelerar la migración hacia fuentes renovables de energía, que puedan satisfacer las demandas de las sociedades y, al mismo tiempo, disminuir la posibilidad de rebasar el límite de los 1.5 °C de la temperatura global. El uso de sustancias con bajo calor específico Cp en sumideros, operando como pilas térmicas, representa una opción muy rentable, como en el caso del carbonato de sodio, que mostró su alta capacidad de almacenar energía térmica, al igual que las otras sustancias con las cuales se experimentó, abriendo la posibilidad de investigar este tipo de dispositivos con otras sustancias y configuraciones, así como se identificó la ventaja que ofrece la concentración solar, como opción para captar energía en los sumideros, pudiéndose utilizar en procesos industriales y plantas de proceso donde se requiera energía térmica.

Referencias

Anser, M. K., Hanif, I., Alharthi, M., & Chaudhry, I. S. (2020). Impact of fossil fuels, renewable energy consumption, and industrial growth on carbon emissions in Latin American and Caribbean economies. *Atmósfera*, *33*(3), 201-213. https://doi.org/10.20937/ATM.52732

Armesto, A. (2021). Preocupación por el cambio climático, condiciones económicas individuales y priorización del medioambiente en América Latina. *Opinião Publica*, *27*(1), 1-27. https://doi.org/10.1590/1807-019120212711

Ballesteros-Ballesteros, V. A. y Gallego-Torres, A. P. (2019). Modelo de educación en energías renovables desde el compromiso público y la actitud energética. *Revista Facultad de Ingeniería*, *28*(52), 27-42. https://doi.org/10.19053/01211129.v28.n52.2019.9652

Bird, R. B., Stewart, W. E., Lightfoot, E. N. (2002). *Transport Phenomena* (2nd ed.). John Wiley & Sons Inc.

Bravo, D. (2018). Una revisión sobre materiales para almacenamiento de energía solar térmica. *Ingeniería*, *23*(2), 144-165. https://doi.org/10.14483/23448393.12510

Catalán, H. (2021). Impacto de las energías renovables en las emisiones de gases efecto invernadero en México. *Problemas del Desarrollo*, *52*(204), 59-83. https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2021.204.69611

Dandotiya, D., & Banker, D. (2017). Numerical investigation of heat transfer enhancement in a multitube thermal energy storage heat exchanger using fins. *Numerical Heat Transfer*, *72*(5), 389-400. https://doi.org/10.1080/10407782.2017.1376976

Dinesh, R., Hussain, S. I., Roseline A. A., & Kalaiselvam, S. (2021). Experimental investigation on heat transfer behavior of the novel ternary eutectic PCM embedded with MWCNT for thermal energy storage systems *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, (145), 2935-2949. https://doi.org/10.1007/s10973-020-09726-4

Esteire, E. (2010). *Energías renovables: manual técnico*. Antonio Madrid Vicente Editores.

Gobierno de México. (2022). Balance Nacional de Energía. https://www.gob.mx/sener/documentos/balance-nacional-de-energia-2019.

Goswami, Y., Neti, S., Muley, A., & Roe, G. (2013). Canned heat. *Mechanical Engineering*, *135*(6), 36-41. https://doi.org/10.1115/1.2013-JUN-2

Jeon, J., Lee, J.-H., Seo, J., Jeon, S.-G., & Kim, S. (2013). Application of PCM thermal energy storage system to reduce building energy consumption. *Journal of Thermal Analysis Calorimetry*, 111, 279-288. https://doi.org/10.1007/s10973-012-2291-9

Kumar, A., Sharma, R. K., Hagos, F. Y., Tripathi, D., & Tyagi, V. V. (2020). Improved thermal energy storage behavior of polyethylene glycolbased NEOPCM containing aluminum oxide nanoparticles for solar thermal applications. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, (143), 1881-1892. https://doi.org/10.1007/s10973-020-09976-2

Limaye, V. S., Max, W., Constible, J., & Knowlton, K. (2019). Estimating the health-related costs of 10 climate-sensitive U.S. events during 2012. *GeoHealth*, *3*(9), 245-265. https://doi.org/10.1029/2019GH000202

Madhi, J. M. & Nsofor, E. C. (2016). Melting of PCM with nanoparticles in a Triplex-Tube Thermal Energy Storage System. *ASHRAE Transactions*, *122*(2), 215.

Naciones Unidas (UN). (2015). Acuerdo de París. https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf

Parry, A. J., Eames, P. C., & Agyenim, F. B. (2014). Modeling of Thermal Energy Storage Shell-and-Tube Heat Exchanger. *Heat Transfer Engineering*, 35(1), 1-14. https://doi.org/10.1080/01457632.2013.810057

Vega, J. (2014). *Fuentes de energía: renovables y no renovables. Aplicaciones*. Editorial Alfaomega.

Wang, S., Faghri, A., & Bergman, T. L. (2012). A comparison study of sensible and latent thermal energy storage systems for concentrating solar power applications. *Numerical Heat Transfer*, *61*(11), 860-871.

Yilbas, B. S., Anwar, M. K., & Shuja, S. Z. (2016). A mobile thermal battery and thermal energy storage enhancement. *Numerical Heat Transfer*, *69*(11), 1297-1309. http://dx.doi.org/10.1080/10407782.2016.1139914.

Zabaloy, M. F. y Guzowski, C. (2018). La política de transición energética de combustibles fósiles a energías renovables: el caso de Argentina, Brasil y Uruguay en el periodo 1970-2016. *Economía Coyuntural 3*(3), 2-34.

Gestión ambiental



Reutilización de envases PET en fabricación de cubierta tipo domo

Ángela Cristina Zúñiga Guali[1]

Jenny Paola Castillo Perdomo[2]

Resumen

La reutilización y reciclaje de envases PET en diferentes sectores económicos se convierte en una opción para disminuir la contaminación que estos producen en los ecosistemas y que han generado una problemática que atañe a toda la población. Un medio factible para hacer una reutilización de estos envases es, usarlos en cubiertas tipo domo para el secado de productos agrícolas, donde se reemplaza el plástico, por botellas recicladas. La eficiencia de este material se demuestra al seguir una metodología experimental para comprobar la funcionalidad del prototipo, expuesto a condiciones ambientales en el municipio de Zipaquirá, Cundinamarca. En el seguimiento se pudo demostrar que, al llevar a cabo un buen traslapo de los envases, estos cumplen con la función propuesta que es, impedir filtraciones de agua y mantener su figura inicial. Se determina que, las botellas más adecuadas para emplear en esta cubierta son las de tres litros, por la forma lisa que el fabricante les da, lo cual permite obtener una mayor área útil. Con la finalidad de realizar una proyección a tamaño real, se sugiere hacer algunas modificaciones, para evitar posibles fallas.

Palabras clave: envases; reutilización; reciclaje; funcionalidad.

Introducción

El polietileno tereftalato (PET, por sus siglas en inglés: *polyethylene terephthalate*) se encuentra en gran parte de los productos que se consume a diario a nivel mundial: envases de alimentos, agua o gaseosas. A pesar de ser un material 100 % reutilizable, con un tiempo aproximado de degradación de, entre 100 y 1000 años (Narváez y Luna, 2014), es uno de los principales responsables de la problemática de contaminación ambiental que se vive hoy en día, especialmente en los afluentes

[1] Programa Ingeniería Civil, Corporación Universitaria Minuto de Dios, Zipaquirá-Cundinamarca, Correo: azunigagual@uniminuto.edu.co

[2] Programa Ingeniería Civil, Corporación Universitaria Minuto de Dios, Zipaquirá-Cundinamarca Correo: jcastillop6@uniminuto.edu.co

hídricos ya que, anualmente, cerca de ocho millones de toneladas de estos residuos terminan en los océanos (Miranda, 2022). Son muy pocos los países con suficientes recursos, reglamentación e industrialización necesaria para realizar la separación y aprovechamiento de este material de una manera adecuada.

La transformación de este material, para ser utilizado en diferentes industrias, como la textil, vías, hormigón, estabilización de suelos y producción de nuevas piezas o la adición a otros materiales, requiere, como en uno de los casos de reciclado de envases PET en cubiertas, la trituración y posterior fundición del material, como lo manifiestan Rodríguez et al. (2017), quienes analizaron dos sistemas de fundición:

> [En el primero, ...] fabricaron tejas curvas plásticas y placas planas cuyas dimensiones son de 15cm x 30cm, que son el resultado de vaciar muestras de hojuelas de PET reciclado de 1000ml en moldes de aluminio, fundidas cada una durante [diez] minutos, posteriormente desmoldadas, sometidas a proceso de acabado y pulido de aristas. (p. 45)

En el caso de la cubierta tipo domo, se extrae el área útil de los envases plásticos de forma manual, para que la población la pueda replicar sin necesidad de recurrir a maquinarias y herramientas que generen costos adicionales en su construcción.

En Colombia, no es usual encontrar botellas como las que menciona Bartolomé (2018) en su estudio, al referirse al constructor canadiense Donald Thomson. quien busca facilitar la reutilización del material PET y, para ello

> ...diseña una botella de aspecto rectangular, que se asemeja a un ladrillo tradicional. Gracias a la nueva forma de la botella, cuando está vacía se aplana y se alinea unas con otras, formando filas superpuestas, obteniendo así un conjunto muy similar al sistema constructivo empleado en la construcción de tejados con tejas planas cerámicas o de pizarra.
>
> Además, sus propiedades resistentes y estabilidad a la intemperie, convierten a esta botella en un candidato ideal para ser utilizado como elemento de acabado y revestimiento en construcción. (pp. 33-34).

Por temas de marcas, cada empresa genera sus propios diseños en la presentación de los envases comercializados, haciendo la estandarización una tarea poco factible, lo que genera mayor cantidad de residuos. Al tener en cuenta esta problemática de la contaminación, la desinformación sobre los procesos de aprovechamiento y reutilización de desechos sólidos en zonas de difícil acceso, se busca incorporar a esta comunidad en proyectos eco-amigables, con un enfoque hacia los objetivos de desarrollo sostenible (Naciones Unidas, 2018), especialmente, los números 6, 9 y 11, donde se puede relacionar el tener acceso a agua limpia y saneamiento, comunidades sostenibles, industria, innovación e infraestructura.

En las zonas de producción agrícola se utiliza el plástico para invernaderos en las estructuras donde se realiza el secado de productos como arroz, café, cacao, especias, entre otros; se pretende adaptar las botellas para realizar cubiertas tipo

domo y emplearlas en su lugar; para ello se busca técnicas adecuadas de manipulación y corte del material, donde se obtenga la mayor área aprovechable posible, cuyas dimensiones serán utilizadas para el diseño; y así, se construye el prototipo con los envases PET reciclados, expuesto a condiciones ambientales no controladas en el municipio de Zipaquirá, Cundinamarca, donde el clima es muy variable.

Metodología

La realización de este proyecto se manejó en tres etapas diferentes: investigativa, experimental y observación. A continuación, se describe cada una de las fases empleadas.

Investigativa

Se efectuó una investigación sobre las técnicas empleadas para el corte de envases PET, encontrando diferentes métodos, como el uso de bisturí, tijeras, cautín o cortadora industrial; también, se buscó alternativas para realizar la unión de las áreas útiles extraídas de las botellas, como el uso de la silicona líquida o caliente, doblar los extremos para hace acople entre ellas o, emplear una especie de tejido con nylon en los bordes; todo esto fue hallado por medio de lecturas de artículos, tesis, blogs en plataformas de investigación como Google Scholar, base de datos Redalyc y videos que, explicaban algunos de los procedimientos.

Experimental

En esta fase se optó por elegir un método artesanal para el desarrollo del proyecto, debido a la facilidad que se da en su realización y, a la comunidad a la cual va dirigida, pues las herramientas que se utiliza son fáciles de conseguir o, se suele tener en los hogares: bisturí, martillo, segueta, puntillas o clavos. En primera instancia, se buscó trabajar con botellas de diferentes medidas y formas, pero se seleccionó los envases de tres litros, como se muestra en la Figura 1, ya que estos permitían obtener una mayor área útil de 36 x 19 cm, gracias a su tamaño y presentación lisa, que se puede evidenciar en la Figura 2, en comparación con las botellas de menor capacidad, cuyas dimensiones y formas no permitieron su adaptación al diseño de la cubierta.

Figura 1

Envases PET tres litros



Figura 2

Lámina de PET



Al realizar los cortes de las botellas con herramientas calientes se formó un borde sobresaliente que, al momento del traslape creó protuberancia, como se muestra en la Figura 3, de modo que fue descartada esta opción. El siguiente corte seleccionado fue con bisturí, para dividir la parte superior e inferior de los envases; se prosiguió a emparejar los bordes para obtener el área útil lo más uniforme posible y así, lograr los mejores resultados.

Figura 3

Corte con cautín



En la estructura se utilizó una base de madera de 50 cm de frente por 70 cm de fondo, con láminas de triplex de espesor de 3 mm con un ancho de 4 cm y un largo de 90 cm. Después de varios intentos fallidos al querer darle forma curva a las láminas de madera, estas se quebraban, como se muestra en la Figura 4, al tratar de doblarlas poco a poco sobre un borde, con las manos o con ayuda de algún elemento curvo.

Figura 4

Prueba de curvatura de triplex



Se probó entonces otra técnica, que consistía en sumergir las láminas en agua durante doce horas para facilitar su manejo al momento de dar la curvatura, sin que presentaran fisuras cuando se ejercía fuerza; la exposición prolongada de la madera delgada al agua permitió una mejor manejabilidad y así, dar la respectiva forma del domo, como se observa en la Figura 5, en el cual se utilizó otra tira de triplex en la parte superior, para dar mayor estabilidad a la estructura y que mantuviera una separación homogénea acorde a las medidas de la lámina de PET, procurando que el traslapo quedara sobres las tiras de madera, para no realizar pegues intermedios, ya que estos pueden generar hundimientos y filtraciones.

Figura 5

Estructura de prototipo de domo



Observación

En esta última etapa se evidenció el comportamiento del prototipo del domo expuesto a condiciones naturales durante un periodo de tiempo de ocho meses, donde se inspeccionó las fallas presentadas en los traslapos, debidas a la distancia que se dejó entre las grapas que sujetaban las láminas de las botellas, con la estructura del domo. También, se percibió protuberancias (Figura 6) que formaron las botellas en estas partes; aun así, en el interior de la estructura no hubo filtraciones de agua.

Figura 6

Protuberancias en las láminas PET



En cuanto a la coloración de los envases, no hubo mayores cambios, como se aprecia en la Figura 7, pues las zonas transparentes no se tornaron amarillentas y el verde no perdió su tonalidad.

Figura 7

Prototipo de domo expuesto a intemperie



Análisis de Resultados

Se diseña y construye un prototipo con las características de las cubiertas utilizadas por los agricultores en el secado de los productos cultivados, como se observa en la Figura 8, para reemplazar el plástico por botellas recicladas de PET.

Figura 8

Proyecto marquesinas



Se sabe que el plástico ha sido utilizado en diferentes construcciones. Rochels (2010) manifiesta que

Los productos plásticos de la construcción [están basados] en un polímero resistente a la acción del fuego.

Debido a su resistencia, no requieren mantenimiento. Tampoco pierden color y, debido a que el color se les da por medio de aditivos en su fabricación, no requieren pinturas ni anticorrosivos para mantener su color original. (pp. 11-12)

En la Figura 9 se ve la comparación del estado de las láminas de las botellas trasparentes y verdes. Al estar expuestas a condiciones naturales, tendieron a opacarse por las salpicaduras de la tierra donde estaban ubicadas, pero no generaron cambios de color.

Figura 9

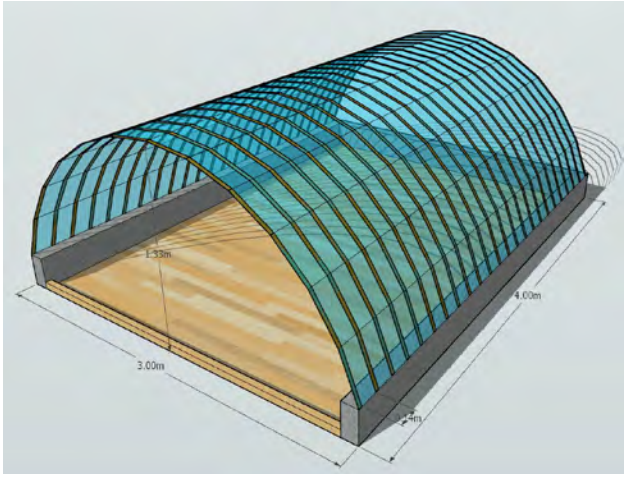
Comparación de domo



Con la investigación realizada y los resultados obtenidos, se presenta la proyección de una cubierta a escala real de tres metros de frente por cuatro metros de fondo (Figura 10, donde se reemplaza las láminas de triplex por guadua. Gracias a la accesibilidad que se tiene en las zonas rurales de Colombia, esta debe estar recién cortada o verde, pues así se facilita realizar la curvatura requerida sin sufrir grietas. Se recomienda una separación entre las láminas de guadua de 14 cm para realizar un traslapo de 5 cm entre cada área útil de PET, para evitar posibles filtraciones o generación de protuberancias en el material.

Figura 10

Diseño de cubierta



En la Tabla 1, a continuación, se cuantifica las cantidades de envases y otros materiales necesarios para la fabricación de la cubierta. En la Tabla 2 se relaciona los precios de estos; se debe tener en cuenta que los costos pueden variar, si se cambia las grapas por tachuelas o puntillas; esto depende del acceso que se tenga a estos implementos en el lugar donde se vaya a realizar el proyecto, ya que está enfocado en ayudar a las personas dedicadas a la producción agrícola y, realizar sus secaderos de manera artesanal.

Tabla 1

Materiales para cubierta a escala real

Material	Cantidad	Unidad
Lámina de guadua 3*600 cm	24	Unidad
Botellas de tres litros	276	Unidad
Grapas de 16mm, caja de 5000 Unid	1	Unidad
Puntilla de 1/2 “	2	Lb
Chazos y tornillos 100 unidades	1	Caja

Tabla 2

Costos de materiales para la cubierta a escala real año 2021

Material	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Total
Guadua	8	Unidad	$18000	$144000
Botellas	16 284	Kilo	$350	$5699
Grapas	1	Caja	$16000	$16000
Puntillas de 1/2 pulgada	2	Libra	$6600	$13200
Chazos y tornillos 100 unidades	1	Caja	$15500	$15500
Total				$194399

Conclusiones

La investigación realizada para el desarrollo de este proyecto mostró resultados positivos en el empleo de envases PET, como material alternativo en la construcción de cubiertas tipo domo. A pesar de la alta contaminación ambiental que genera el consumo de botellas plásticas, no hay normas de construcción que recomienden el uso de este material en la fabricación de cubiertas, sin tener un proceso industrializado.

Debido a las diferentes formas, texturas y tamaños dados a cada envase por los fabricantes, no todos son viables para el diseño propuesto, ya que impiden obtener un área de trabajo uniforme; en algunos casos esta área es menor, lo que requiere mayor cantidad de botellas, generando un aumento en los tiempos, materiales y costos de producción de la cubierta.

Al momento de emplear las botellas en la ejecución del prototipo, se debe tener en cuenta la adecuada manipulación del material, para no causar abolladuras en los envases, ya que esto se ve reflejado en el armado de la cubierta y la estructura final, donde se genera protuberancias, variaciones en la instalación de las láminas de PET y, posibles filtraciones a largo plazo.

Referencias

Bartolomé, M. (2018). *Construcción low cost. Reciclado de botellas Pet para su aplicación en el campo de la construcción y las instalaciones* [Tesis de Pregrado, Universidad de Valladolid]. https://uvadoc.uva.es/handle/10324/32148?locale-attribute=es

Miranda, D. (2022, 3 de julio). 20 datos sobre el problema de plástico en el mundo. National Geographic España. https://www.nationalgeographic.com.es/mundo-ng/20-datos-sobre-problema-plastico-mundo_15282

Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Naciones Unidas.

Narváez, M. S. y Luna, J. P. (2014). *Estudio de factibilidad de empresa de alquiler de máquinas para reciclaje de botellas plásticas* [Tesis de Pregrado, UIDE, Arizona State University]. http://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/909

Rochels, A. C. (2010). *Plásticos para construccion en Colombia* [Tesis de Pregrado, Universidad de Los Andes]. https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/14537/u441265.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rodríguez, L., Chávez, M. W., Lartategui, F. y Letona, A. P. (2017). Factibilidad de uso del PET reciclado en elementos de cubiertas y envolventes. *Revista Ingeniería*, *27*(2), 40-55. https://doi.org/10.15517/ri.v27i2.27076



Normas ISO 14001, Versión ISO 14001:1996, ISO 14001:2004, ISO 14001:2015

María Margarita Portilla González[1]

Cristian David Muñoz Rosero[2]

Narly Milady Rosero Solarte[3]

Resumen

La importancia de conseguir una certificación ISO radica en que les sirve a aquellas organizaciones que están interesadas en conseguir y demostrar una actuación medioambiental correcta. La certificación ISO 14001 en sistemas de gestión ambiental ya es bien conocida por todos los sectores de negocio en donde se busca la mejora continua en que una empresa controla y reduce su impacto en el medio ambiente. En el presente artículo científico se hace un análisis comparativo del cambio que han tenido las diferentes actualizaciones de la ISO, desde su inicio con la Norma 14004 de 1996, hasta la fecha, en la que rige la Norma ISO 14001 de 2015. De igual manera, se da a conocer la relevancia de otorgar la Norma en las empresas de Colombia.

***Palabras clave*:** empresa; Norma ISO 14001; normativa; organización; sistema de gestión ambiental; impacto ambiental.

Introducción

En la actualidad y, ante la necesidad y el crecimiento paulatino que deben tener las empresas para un desarrollo productivo, se ha venido implementando proyectos que demuestren el compromiso con la sostenibilidad del medio ambiente, donde no solo se produzca y se obtenga beneficios económicos, sino que también se busque el respeto a los valores éticos, a las personas, a las comunidades y al medio ambiente, como una estrategia integral que incremente el valor competitivo empresarial. Además, las empresas de todo tipo están cada vez más interesadas en alcanzar y demostrar un sólido desempeño ambiental mediante el control de los impactos de sus

[1] Magíster en Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana, Colombia. Correo: maportilla@umarina.edu.co

[2] Estudiante Décimo Semestre, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana, Colombia. Correo: cristmunoz@umariana.edu.co

[3] Estudiante Décimo Semestre, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana, Colombia. Correo: narrosero@umariana.edu.co

actividades. Las normas ISO 14001, dentro de cada una de sus actualizaciones, han contemplado una estructura organizativa, con estrategias, planes, procedimientos, prácticas, prioridades de responsabilidad y recursos, con el fin de poder determinar los objetivos ambientales que una empresa necesita para ubicarse en un sector mucho más óptimo y esencial (Bambarén-Alatrista, 2014).

Metodología

Teniendo como eje central el método descriptivo, dado que los resultados no pueden ser clasificados matemáticamente, esta investigación va dirigida básicamente a conocer los diferentes cambios que ha presentado la Norma ISO 14001 y, la importancia de su implementación en empresas de Colombia. De esta forma, el campo y tipo de la investigación es de tipo ambiental, ya que facilita la ejecución de políticas ambientales. La investigación también cuenta con un enfoque cualitativo, porque intenta determinar las necesidades, evoluciones y actualizaciones de las normas ISO 14001. Lo anterior, a través de técnicas como planificación y análisis de resultados.

Para el desarrollo de los objetivos planteados, la metodología se basó en el estudio de Jurado y Mercado (2017), quienes hicieron "una búsqueda de literatura científica relevante, utilizando como bases de datos: *ScienceDirect* y Scielo" (p. 58), principalmente por la posibilidad de acceso a ellas. Igualmente, en la presente investigación, también sirvieron Google Académico (www.scholar.google.com), ResearchGate (www.researchgate.net), Normas ICONTEC, Sistema de Gestión Ambiental (SGA) y la parte empresarial, no solo por la facilidad de acceso, sino por la confiabilidad y veracidad de la información encontrada en estas fuentes, en las cuales se revisó esencialmente, artículos de investigación, libros y artículos de revisión a nivel internacional, nacional y regional, con el objetivo de realizar un análisis comparativo de la familia de las Normas ISO, desde la primera edición Norma ISO 14001 de 1996, seguida por la segunda edición, Norma ISO 14001 de 2004, hasta la actualidad: Norma ISO 14001 de 2015.

Finalizada la etapa de búsqueda y recolección de información, se tuvo en cuenta los criterios de información a los cuales se les asignó un valor determinante, como se aprecia en la Tabla 1. De igual manera, en la descripción se da a conocer el tipo de documento que se relacionaba en la búsqueda.

Tabla 1

Criterios de selección primer objetivo

No. Criterio	Descripción	Puntaje Máximo
1	Sistemas de Gestión Ambiental, Normas ISO 14001, ISO 1996, 2004 y 2015	1
2	Sistemas de gestión ambiental	1
3	Normas y Sistemas de Gestión Ambiental	1.5
4	Formulación de sistemas de gestión ambiental	1.5

Los documentos tuvieron una valoración de 0 a 5; para el análisis y discusión, se seleccionó aquellos que alcanzaron puntajes entre 3 y 5, dado que se consideró que cumplen concretamente con el objeto de estudio. Con la depuración de la información, de los 100 documentos que estaban preseleccionados, se escogió 45 con la mejor puntuación, según los criterios establecidos; 21 tuvieron la puntuación ideal de 5 puntos, los cuales fueron los que se utilizó para el análisis y discusión de resultados en el desarrollo de la monografía.

Para el segundo objetivo se hizo nuevamente una recopilación de información detallada, segura y eficaz, empleando la metodología de Jurado y Mercado (2017), utilizada anteriormente; en este caso, en las empresas a las que les ha sido otorgada la Norma ISO 14001 versión actual 2015, conllevando posteriormente, determinar las experiencias exitosas, los beneficios y mejoras que han tenido dentro del mercado. Cabe resaltar que, para la puesta en marcha de este objetivo, se debe tener claridad de los diferentes requisitos, normativas y/o características que rige la norma desde la parte inicial, analizando los avances y modificaciones que ha presentado.

Después de la recolección de información, de preferencia en el campo empresarial, se procedió a clasificar los documentos encontrados, a los cuales se les asignó un valor de significancia y utilidad, conservando las recomendaciones planteadas por la metodología utilizada (Tabla 2).

Tabla 2

Criterios de selección segundo objetivo

No. Criterio	Descripción	Puntaje máximo
1	Documentos en donde se presente información específica de empresas a las que se les ha otorgado la Norma ISO 14001, versión 2015, en Colombia.	1
2	Documentos relacionados a sistemas de gestión ambiental.	1
3	Documentos relacionados a normas y sistemas de gestión ambiental.	1.5

La búsqueda arrojó 30 artículos de empresas, de las cuales se preseleccionó 16; cinco cumplieron con los requisitos mínimos y fueron los que se utilizó en el análisis y discusión. Las empresas que cumplieron con los más altos puntajes fueron seleccionadas para realizar el análisis de cómo fue la evolución antes y después de adquirir e implementar la Norma ISO 14001 versión 2015.

Resultados

La búsqueda dio pie a la recopilación y síntesis de la información en torno a las normas ISO 14001, con el fin de establecer un cuadro comparativo de las mismas, desde su proceso de divulgación hasta su última edición. Sin embargo, no existe información de primera mano que refiera los inicios de la norma, exactamente hacia el año de 1996, dejando fuera de base diferentes temáticas centralizadas en los inicios de los procedimientos de la política medioambiental y los sistemas de gestión ambiental. Ya para los años 2004 y 2015, la información resulta mucho más amplia, detallando las diferentes características o avances referentes a planificación, verificación, ejecución y acción, sosteniendo en cada versión, grandes avances o controles de seguimientos hacia un SGA.

De esta manera, se procedió a elaborar un cuadro comparativo de la familia de las normas ISO 14001, donde se demostró los cambios y/o actualización que han tenido en sus tres ediciones a lo largo del tiempo; esta norma es considerada fundamental en cuanto a la protección ambiental, prevención, mitigación y control de indicadores contaminantes en equilibrio con las necesidades socioeconómicas y la producción de alguna organización.

Tabla 3

Cuadro comparativo Norma ISO 14001: 1996 y Norma ISO 14001: 2004

Norma ISO 14001 - 1996	Norma ISO 14001 - 2004
2. Normas para consulta	2. Referencias normativas
No hubo cambios respecto a la referencia normativa.	
4.1 Requisitos generales	4.1 Requisitos generales
Tanto el estándar antiguo como el nuevo, esperan que se establezca y mantenga un entorno del sistema de gestión (EMS). Sin embargo, el nuevo estándar también espera que documente su EMS y para mejorarlo continuamente. Además, la sección 4.1 agrega la necesidad de definir y documentar el alcance del SGA.	
4.2 Política Medioambiental	4.2 Política ambiental
Los nuevos estándares esperan que se defina una política medioambiental.	
4.3.1 Aspectos medioambientales	4.3.1 Aspectos ambientales
Tanto los estándares antiguos como los nuevos esperan que usted establezca y mantenga un procedimiento para identificar y aclarar los requisitos legales y de otro tipo que se aplican a sus aspectos ambientales.	
4.3.2 Requisitos legales y otros	4.3.2 Requisitos legales y otros
Tanto los estándares antiguos como los nuevos esperan que se establezca y mantenga un procedimiento para identificar y aclarar los requisitos legales y de otro tipo que se aplican a sus aspectos ambientales.	
4.3.3 Objetivo y metas	4.3. Objetivos, metas y programas
Tanto los estándares antiguos como los nuevos esperan que se establezcan y mantengan objetivos y metas ambientales.	
4.4.5 Control de la documentación	4.4.5 Control de documentos
Los nuevos requisitos incluyen la necesidad de identificar los cambios que se hacen en los documentos y la necesidad de controlar los documentos externos que influyen en la planificación y el funcionamiento de su EMS.	
4.5.4 Auditoría	4.5.5 Auditoría
Mientras que la vieja norma hablaba de auditorías de gestión ambiental en general, la nueva habla de auditorías internas solamente.	

Tabla 4

Cuadro comparativo Norma ISO 14001: 2004 y Norma ISO 14001: 2015

NORMA ISO 14001 - 2004	NORMA ISO 14001 - 2015
Introducción	Introducción
La primera diferencia es que, en la Norma ISO 14001, versión 2004, solo existe un apartado, mientras que, en la 2015, este se divide en cinco apartados.	
	Apartado 0.1
	Antecedentes.
	Apartado 0.2
Objetivo del SGA; explica el propósito que persigue la norma ISO 14001 y pone especial énfasis en el enfoque sistemático para el mismo. El compromiso de todos los niveles de la empresa es un tema crucial para este.	
	Apartado 0.3.
	Factores de éxito.
	Apartado 0.4.
Modelo: planificar, hacer, verificar y actuar (PHVA); se hace mayor hincapié del ciclo PHVA que, en la norma actual, ya que se utiliza un apartado único para este tema.	
	Apartado 0.5.
El contenido de la norma internacional explica los anexos A y B y las referencias a la norma ISO 14004, que también se encuentra en revisión.	
Liderazgo	Liderazgo
	Apartado 5.1
	Liderazgo y compromiso es un nuevo requisito de la Norma ISO 14001: 2015; en este apartado se pretende la alta dirección, que demuestra el compromiso que tiene con el SGA.
	Apartado 5.2
	La política ambiental es igual para ambas normas; no cambia de lugar y los requisitos siguen siendo los mismos.

En la Tabla 4 se presenta los diferentes cambios que se llevó a cabo desde la ISO 14001: 2004 hasta la Norma ISO 14001: 2015, donde se evidencia su importancia y sincronía; se caracteriza porque es un marco para proteger al medio ambiente y responder a todas las condiciones ambientales; se llega al equilibrio bajo las necesidades socioeconómicas, siendo ese, su principal objetivo. Sin embargo, es necesario cumplir con los distintos objetivos ambientales que tiene cada empresa, como pueden ser: Protección del medio ambiente, mitigación de los riesgos para las organizaciones, cumplimiento de todas las obligaciones legales, perspectiva de una mejora continua y comunicación de la información ambiental. De esta manera, se debe tener en cuenta todos los objetivos que se quiere conseguir con la implantación del SGA basado en la Norma ISO 14001 2015, en donde una organización debe cumplir con el objetivo principal.

Identificar las experiencias exitosas de la aplicación de las normas ISO 14001, versión 2015 en Colombia, desde el año 2015 hasta 2020

Actualmente, las organizaciones pueden optimizar y mejorar todos sus procesos productivos y, asimismo, reducir los impactos negativos que están generando al medio ambiente. De esta manera, se creó la necesidad de implementar una norma de manera voluntaria, que mejore su comportamiento y otorgue oportunidades de beneficio económico.

La Norma ISO 14001 versión 2015 especifica los requisitos de un sistema de administración ambiental que genera una organización para establecer procesos y evaluar en simultánea, su eficacia. La norma puede ser aplicada a todo tipo de organizaciones, sin importar su tamaño; su éxito dependerá del compromiso de todas las funciones, en especial las de alta gerencia, con el objetivo de poder prevenir, mitigar y proteger la contaminación ambiental, en equilibrio con las necesidades socioeconómicas.

Empresas certificadas con la Norma ISO 14001 versión 2015 en Colombia

Tabla 5

Empresas certificadas con la Norma ISO 14001 2015 en Colombia

Nombre Empresa	Problemática ambiental	SGA en la empresa	Éxitos
Grupo empresarial Montaña SAS	Servicio de transporte especial de pasajeros a empresas del sector hidrocarburo, energético y particular. El impacto con mayor protagonismo del transporte lo constituye el consumo de combustibles fósiles y sus emisiones contaminantes asociadas.	La compañía busca prevenir y minimizar la generación de cargas contaminantes por vertimientos y emisiones a la atmósfera, de gases contaminantes.	Que la empresa disponga de un Programa de Gestión Ambiental; de igual manera, cumplir con todos los requisitos legales y hacer uso de técnicas para reducir y mitigar los impactos ambientales.
EPM Tratamiento de Aguas Residuales	Durante todo su ciclo de procesos requiere grandes consumos de energía eléctrica, agua, polímeros y todos los insumos requeridos para el mantenimiento de equipos electromecánicos.	SGA y de calidad, el cual permita el mejoramiento continuo y así, optimizar procesos, garantizar los cumplimientos normativos y legales en la PTAR.	Promoción, prevención, mitigación, seguimiento y control de los aspectos e impactos del orden social, económico y ambiental.
HOLCIM Colombia	Material particulado que se propaga en el aire, gases producto de la combustión y el ruido producido por la operación que, en la mayoría de los casos, se realiza durante las 24 horas.	Reducir las emisiones, consumo de agua y generación de residuos, cumpliendo los objetivos de la política ambiental.	A raíz del alcance, la verificación y análisis del SGA implementado en la fábrica de cemento bajo la Norma ISO 14001: 2015, se busca operaciones más limpias y seguras, generando así, un ambiente sano y sostenible.

Lácteos Colombia	Lavado de tanques y otros elementos: mala disposición final de los residuos líquidos; se encontró una alta producción de suero de leche de 650 litros diarios, los cuales no cuentan con ningún tipo de tratamiento.	Desarrollar sus actividades productivas minimizando los riesgos ambientales a lo largo de su cadena de valor e integrando un enfoque sostenible durante todo el proceso.	Adquisición de materias primas e insumos hasta la disposición final de los residuos generados, para determinar los aspectos e impactos ambientales causados, tomando como precedente, el diagrama de flujo de cada proceso.
Empresa PACSPA	Residuos eléctricos que contienen elementos tóxicos, tales como: arsénico, plomo, cobre y mercurio, ya que se está haciendo una mala disposición final de los residuos.	El objetivo está vinculado con el control y seguimiento de cada uno de los procesos, así como los registros y la documentación que respaldan el compromiso que tiene la empresa sobre el medio ambiente.	El objetivo del SGA está vinculado en el control y seguimiento de cada uno de los procesos, así como los registros y la documentación que respaldan el compromiso que tiene la empresa sobre el medio ambiente.

Conclusiones

De acuerdo con la información obtenida, es posible observar diferencias entre las Normas ISO 14001 de 1996, 2004 y 2015, respecto a la estructura, presentación y criterios, cumpliendo a cabalidad con nuestro objetivo general, en donde se plantea un análisis comparativo de las normas, para la certificación de empresas en Colombia, el cual se ve evidenciado a lo largo de las actualizaciones. Así mismo, los diferentes cambios permiten un avance para que la comunidad, trabajadores y entes administrativos, tanto públicos como privados, puedan tener un mejor criterio medioambiental, logrando conseguir beneficios, en control de costos, conservación de recursos y, desarrollo continuo del desempeño ambiental, asumiendo como objetivo, facilitar a las empresas, las herramientas de un SGA eficaz que logre ser integrado con otros requerimientos de gestión y, apoyar a las empresas a obtener metas ambientales y económicas.

La importancia de implementar y lograr la certificación de esta norma permite a las empresas demostrar el compromiso asumido con la protección del medio ambiente, a través de la gestión de los riesgos medioambientales asociados a la actividad desarrollada; trae consigo beneficios relevantes, de los cuales se puede destacar, el ciclo de mejora continua a través del PHVA, que está en un constante seguimiento de manera evaluativa, desde la parte técnica, administrativa, hasta la legal y ambiental, lo cual permitirá una ejecución de lo planteado de la forma más eficaz y correcta posible.

Referencias

Bambarén-Alatrista, C. (2014). Impacto ambiental de la operación de un hospital público en la ciudad de Lima, Perú [Tesis de Maestría, Universidad de Piura]. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2791/MAS_GAA_017.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Jurado, M. A. y Mercado, I. D. (2017). Revisión sistemática de técnicas no convencionales para la evaluación de la calidad del agua de ríos contaminados con plaguicidas. *Entre Ciencia e Ingeniería*, *11*(21), 56-65. https://doi.org/10.31908/19098367.3279

Diagnóstico ambiental sobre aspectos e impactos generados durante el beneficio del café especial

Luis Alexander Carvajal Pinilla[1]

Paula Julissa Calderón

Yicenia Marcela García

Resumen

El proceso del beneficio del café altera sensiblemente el entorno ambiental, afectando agua, suelo, biodiversidad circundante, causando la disminución de la calidad del café. El objetivo de este estudio es diseñar herramientas agroambientales que permitan reducir la contaminación que se produce en la actividad del beneficio del café, para un adecuado manejo y conservación de los recursos naturales. Mediante recorridos en cafetales se diligenció listas de componentes ecosistémicos, identificación de aspectos e impactos ambientales, generación de una matriz ambiental y el diagnóstico de residuos. Se registró variedad de flora y fauna, constante contaminación sobre el recurso hídrico debido al vertimiento directo de aguas residuales y acumulación puntual de cascarilla, producto del despulpado de café. La conectividad de fragmentos del bosque andino mediante corredores ecológicos en el paisaje cafetero, el beneficio del uso de bienes y servicios ambientales por parte de la comunidad, permitieron identificar nueve impactos negativos y tres positivos. Durante el proceso del beneficio de café, varios componentes ambientales son alterados; principalmente, el agua y suelo, por la inadecuada disposición de residuos, lo cual genera graves problemas de contaminación en los ecosistemas aledaños.

Palabras clave: biodiversidad; contaminación; medidas de manejo; recursos naturales.

[1] Corporación Universitaria del Huila CORHUILA, Programa Ingeniería Ambiental, Colombia. Correo: luis.carvajal@corhuila.edu.co

Introducción

El café es uno de los productos agrícolas de mayor producción y consumo a nivel mundial, del cual dependen más de 75 millones de caficultores (Velásquez y Trávez, 2019). Actualmente, se enfoca hacia el desarrollo sostenible, buscando que su actividad sea amigable con el medio ambiente y así, disminuir el impacto ambiental que esta genera (Zarta Ávila, 2018).

En Colombia, el inicio de la caficultura se remonta a 1730, con la llegada de las semillas por parte de los jesuitas. Los primeros cultivos de café crecieron en la zona oriental del país; no obstante, en 1835 se registró la primera producción comercial y, a partir de la segunda mitad del siglo XIX, se dio paso a la exportación del producto (Giovani-Ángel y Alzate-Gil, 2015). Actualmente, la producción de café es una de las actividades principales del sector agrícola, ocupando un lugar importante en la economía colombiana, direccionada por la Federación Nacional de Cafeteros, con el desarrollo de investigaciones y guías ambientales que promueven las buenas prácticas de producción, el manejo adecuado de los subproductos y, el consumo racional del agua (Niño, 2020).

En el Huila, el café hace parte de las apuestas productivas del sector agroindustrial; cobra importancia por su calidad en taza y producción de cafés especiales (Prada et al., 2017), derivado de las condiciones de fertilidad del suelo y climáticas, dadas en las cordilleras central y oriental (Noscue, 2014). Por otra parte, durante el proceso de café se genera afectaciones que pueden perjudicar la biodiversidad y su entorno, especialmente en el beneficio, donde se produce algunos impactos negativos que reducen la posibilidad de recuperación de ríos y quebradas (Fernández et al., 2020). Estos resultan de la alta contaminación que causan los desechos de la pulpa y el mucílago del café que, sin un previo proceso de descontaminación, son vertidos directamente a las fuentes hídricas, provocando un desequilibrio en el medio ambiente, que afecta la biota, el recurso hídrico y edáfico, la conectividad ecológica y ecosistemas aledaños al cultivo (Chanakya y De Alwis, 2004).

Por tal razón, se planteó diseñar herramientas agroambientales que permitan disminuir la contaminación que se produce en la actividad del beneficio del café, a fin de contribuir en la mejora de la calidad de los recursos naturales.

Metodología

Área del proyecto

El proyecto se desarrolló en el municipio de Santa María, al occidente del departamento del Huila, en el rango altitudinal entre 1.700 m s.n.m. y 2.300 m s.n.m., sobre las estribaciones de la cordillera Central en el flanco oriental, a una distancia de 54 km de la ciudad capital Neiva (Molano, 2016).

Fase 1. Diagnóstico de la situación agroambiental

Mediante recorridos por fincas cafeteras, se efectuó entrevistas abiertas a los propietarios y sus familias, relacionadas con todas las fases del cultivo del café; se hizo una lista de chequeo con los diferentes componentes ecosistémicos: agua, aire, suelo, flora y fauna, con el fin de identificar los aspectos e impactos ambientales que son producidos durante el proceso del beneficio del café, teniendo en cuenta todas las afectaciones generadas sobre cada recurso natural. Seguidamente, se procedió a generar y realizar una matriz para el sector cafetero, con el fin de conocer la importancia que tiene cada impacto en esta actividad.

La matriz que se utilizó para este proyecto es la de Conesa (Conesa, 2011), como método analítico de los impactos identificados para poder asignar una calificación y su respectiva importancia (Tabla 1), teniendo en cuenta los siguientes criterios: carácter, cobertura, magnitud, duración, reversibilidad, recuperabilidad, periodicidad, tendencia o acumulación, tipo y posibilidad de ocurrencia.

Tabla 1

Calificación de impactos con su respectiva importancia

Impactos Negativos	Importancia (I)	Impactos Positivos	Importancia (I)
Irrelevante	menor a -25	Poco importante	menor a +25
Moderado	entre -25 y menor a -50	Importante	entre +25 y +50
Severo	entre -50 y -75	Muy importante	mayor a +50
Crítico	mayor a -75		

Fuente: Amazo y Alzate (2018).

Fase 2. Herramientas agroambientales

Se diseñó herramientas ambientales para las acciones de prevención, mitigación y corrección de los impactos ambientales registrados en cada componente; posteriormente, se procedió a la elaboración de programas agroambientales que mejoraran los procesos productivos y administrativos durante el beneficio del café; finalmente, se realizó la entrega de las medidas ambientales a la comunidad cafetera.

Técnicas e instrumentos

Fueron diseñados los siguientes formatos de registro: i) listas de especies de fauna y flora, ii) evaluación observacional del recurso hídrico y edáfico, iii) valoración de la conectividad ecológica, iv) tipificación de ecosistemas aledaños, v) proceso de cultivo y beneficio del café.

Resultados y Discusión

Fase 1: Diagnóstico de la situación agro-ambiental

Durante los recorridos por las unidades productivas cafeteras se registró: i) distribución de naranjos, mandarinos, limones, guamas, aguacates, plátano y granadilla, entre el cultivo; ii) avistamiento de ardillas rojas, guaras y borugos, pava negra y cardenal por parte de la comunidad; iii) constante contaminación sobre el recurso hídrico debido al vertimiento directo de aguas residuales y acumulación puntual de cascarilla, producto del despulpado de café; iv) conectividad de fragmentos de bosque andino mediante corredores ecológicos en el paisaje cafetero (Figura 1); la comunidad se beneficia de bienes y servicios ambientales, como agua para consumo humano, leña para cocinar y purificación del aire.

Figura 1

Recorridos por las unidades cafeteras, Santa María, Huila



Fuente: elaboración propia.

Lista de chequeo

Se identificó cuatro aspectos que son producidos durante la actividad del beneficio de café, como: i) consumo de agua, ii) emisión de olores, iii) generación de residuos aprovechables y, iv) vertimientos de aguas residuales. De igual manera, se identificó doce impactos: contaminación de aguas superficiales y subterráneas; cambios en el uso del agua; alteración de la calidad del agua; aumento de la carga de sedimentos en cuerpos de aguas; afectación a especies; destrucción del ecosistema lótico; generación de malos olores; pérdida de paisaje; cobertura vegetal; aumento de fauna; generación de empleo y, alteración en calidad de vida de caficultores.

Matriz ambiental Conesa

Se identificó nueve impactos negativos y tres positivos, según los criterios de evaluación; entre los primeros, cinco fueron severos; se destaca con mayor importancia, la contaminación de aguas superficiales y subterráneas, seguido de cambios en uso del agua y alteración de la calidad del agua; cuatro impactos fueron moderados: destrucción del ecosistema lótico, con la más alta importancia; entre los impactos positivos, uno esencial: aumento de fauna y dos, muy importantes: generación de empleo y alteración en calidad de vida de caficultores (Tabla 2).

Tabla 2

Matriz ambiental Conesa, unidades cafeteras, Santa María, Huila

Actividades / Impactos			Beneficio del café (unidad productiva)	
Factores	**Componentes**	**Impactos ambientales**	**Importancia (I)**	**Calificación**
Abiótico	Agua	1. Cambios en el uso del agua	-70	Severo
		2. Alteración de la calidad del agua	-70	Severo
		3. Contaminación de las aguas superficiales y subterráneas	-74	Severo
		4. Aumento de la carga de sedimentos en cuerpos de aguas	-55	Severo
		5. Destrucción del ecosistema lótico	-44	Moderado
	Aire	6. Generación de malos olores	-41	Moderado

Biótico	Flora	7. Pérdida de paisaje	-40	Moderado
		8. Pérdida de la cobertura vegetal	-40	Moderado
	Fauna	9. Aumento de la fauna	+47	Importante
		10. Afectación a las especies	-54	Severo
Socio-económico y cultural	Comunidad	11. Alteración en la calidad de vida de caficultores	+51	Muy importante
		12. Generación de empleo	+52	Muy importante

Programas agroambientales

Realizada la matriz de evaluación, se procedió a agrupar los impactos similares, para poder establecer unas medidas ambientales y, posteriormente, determinar los programas de educación ambiental (Tabla 3), sostenibilidad eco-amigable en el beneficio del café (Tabla 4), aprovechamiento de subproductos derivados del café (Tabla 5), manejo y disposición de vertimientos (Tabla 6) y, conservación de sistemas agro-ambientales (Tabla 7) que, de ser implementadas masivamente, lograrán prevenir, mitigar o corregir los impactos ambientales negativos que se generan durante la actividad del beneficio del café.

Tabla 3

Programa N° 1 Educación agroambiental, unidades cafeteras, Santa María, Huila

Medidas de manejo
1. Estrategias amigables con el medio ambiente • Uso responsable del agua: durante el beneficio del café, el gasto de agua es excesivo; por lo tanto, se recomienda cerrar conscientemente las llaves que alimentan de agua al beneficiadero, cuando este haya llegado a su límite. • Recircular aguas de lavado del café: utilizar el agua para la misma operación; es decir, las aguas del tercer y cuarto lavado. • Reutilización de las aguas: por ejemplo, del tercer y cuarto lavado, para el riego de plantas. **2. Capacitaciones a caficultores** • Para tener un buen cultivo de café, se debe considerar ciertos comportamientos ambientales que permiten la conservación de factores bióticos y abióticos; por lo tanto, se brindará una capacitación informativa a cargo de un voluntario que pertenezca a algunas de las siguientes entidades: Corporación Autónoma Regional, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, universidades o profesionales con conocimientos en las áreas ambientales. • La duración de las capacitaciones será de una hora cada seis meses. • Los temas a desarrollar en las capacitaciones son: ✓ Beneficios y adecuado manejo de los recursos naturales. ✓ Importancia de preservar o conservar el recurso hídrico y la biodiversidad. **3. Talleres para el aprovechamiento de subproductos** La temática a trabajar en dos talleres durante dos horas cada seis meses: • Subproductos de café, su aprovechamiento y ventajas • Contenido de la pulpa de café.

Fuente: elaboración propia

Tabla 4

Programa N° 2 Sostenibilidad eco-amigable en el beneficio del café, unidades cafeteras, Santa María, Huila

Medidas de manejo
1. Sistemas de tratamiento de agua en el beneficio de café Se establecerá tres sistemas de tratamiento para descontaminar las aguas residuales generadas en el lavado de café. I. Plantas acuáticas en tratamientos de aguas mieles de café Para el tratamiento de aguas mieles derivadas de la pulpa de café, se utiliza plantas acuáticas como el jacinto y las lentejas de agua, que han demostrado tener un alto nivel de eficiencia en la remoción de contaminantes; además, tienen la capacidad de extraer nutrientes de las aguas residuales (Rodríguez Valencia, 2009). II. Filtro primario con microorganismos eficaces (EM) Los microorganismos eficaces tienen la capacidad de disminuir la contaminación sobre el medio ambiente de las aguas residuales del café, proceso que consiste en dos etapas: a) Se necesita un lecho granulométrico en un tanque, el cual consiste primero, en poner una capa de piedras de 20 cm desde la superficie; seguidamente, se coloca una malla para evitar invertir los materiales; la segunda capa de 20 cm contiene gravilla lavada y, en la última capa, se instala un aro con malla para evitar el ingreso de impurezas al lecho filtrante. Igualmente, se debe instalar dos llaves de paso que controlarán el flujo desde el tanque tina hasta el filtro. b) Se utiliza la actividad biológica de EM para tratar las aguas mieles y, cultivar la cepa de estos; se utiliza la mezcla de bacterias fototróficas, levaduras, bacterias productoras de ácido láctico y hongos de fermentación. En este proceso se utiliza miel de purga, como principal fuente energética para conservar la cepa (García-Güiza, 2017). III. Sistema modular de tratamiento anaerobio (SMTA) Este sistema fue diseñado en Cenicafé, para descontaminar las aguas residuales generadas en el lavado del café, originadas en beneficiaderos **húmedos donde se retira el mucílago o baba de café por el método de fermentación natural.** Los componentes esenciales de los SMTA son: los reactores hidrolíticos-acidogénicos RHA; la Recámara de Dosificación RD y el Reactor Metanogénico RM (Díaz y Vesga, 2013).
2. Tecnologías de beneficiadores ecológicos Este es un proceso de beneficio de café amigable con el medio ambiente que, también permite obtener café con la calidad física y de taza, característico del café colombiano (Rodríguez et al., 2015).

I. Beneficio del café despulpado sin agua de la tecnología Becolsub
II. Beneficio ecológico de café utilizando la tecnología Ecomill

3. **Prácticas para prevenir la erosión de suelos**

Se recomienda adoptar una serie de prácticas para conservar el buen estado de los suelos; se debe adecuar y localizar el terreno de vertimientos para situar franjas protectoras, cunetas y filtros de guadua.

4. **Área para la disposición final de los residuos**

Se construye una fosa techada para almacenar y procesar la pulpa y el mucílago de café; estos representan el 100 % de los residuos que se generan durante el proceso del beneficio de café (Rodríguez et al., 2015).

Fuente: elaboración propia

Tabla 5

Programa N° 3 Aprovechamiento de subproductos derivados del café, unidades cafeteras, Santa María, Huila

Medidas de manejo
1. Talleres para la preparación de los subproductos del café • Se desarrollará tres talleres para promover la elaboración de los subproductos derivados del café, cada cuatro meses por un año, con una intensidad de dos horas. I. Producción de abono a partir de la pulpa de café II. Dulce a partir de la pulpa de café III. Vino de café
2. Capacitaciones sobre las aguas mieles como fertilizantes orgánicos • Se realizará dos capacitaciones cada seis meses durante un año, con una intensidad de dos horas. • El procedimiento del lavado de café da como resultado, gran cantidad de aguas mieles que contienen un alto nivel de carga contaminante que puede afectar los diferentes ecosistemas a su alrededor; por lo tanto, se puede reutilizar, transformándola en fertilizantes orgánicos. A continuación, se presenta los temas a trabajar en esta capacitación: • ¿Qué son las aguas mieles? • Beneficios de reutilizar las aguas mieles • Ventajas de los fertilizantes orgánicos • ¿Como se elabora el fertilizante orgánico?

Tabla 6

Programa N° 4 Manejo y disposición de vertimientos, unidades cafeteras, Santa María, Huila

Medidas de manejo

1. Reutilización de aguas residuales

Para evitar que las aguas residuales del proceso de café, que no tienen ningún tipo de tratamiento lleguen en cantidad a su disposición final que, generalmente, es una fuente hídrica, se recomienda la utilización de la tercera y cuarta lavada en:

- Riego a plantas o cultivos
- Servicios sanitarios

Las aguas residuales a las que se les da un tratamiento previo (ver Programa No. 2), puede ser reutilizadas de la siguiente manera:

- Como riego a los cultivos de café o huertas
- Lavado de café
- Usos domésticos.

2. Plantas absorbentes

Algunas especies de plantas, para la depuración de las aguas mieles, se caracterizan por vivir enraizadas en el suelo; sus tallos y hojas pueden llegar hasta dos o tres metros de altura:

- Juncáceas como juncos (*Juncus)*
- Tifáceas como enea (*Typha angustifolia*)
- Iridáceas como lirio amarillo (*Iris pseudacorus)*

Tabla 7

Programa N° 5 Conservación de sistemas agro-ambientales, unidades cafeteras, Santa María, Huila

Medidas de manejo
1. **Conservación de las áreas verdes** • Actualmente, los cafetales en nuestro país y en otros países megadiversos tienen una gran importancia social y biológica; por lo tanto, es de vital importancia preservar la biodiversidad y las áreas verdes que componen estas zonas. • Una solución a los principales problemas de la expansión cafetera es que los caficultores reconozcan la importancia de la relación que existe entre su producción y la biodiversidad, para así preservar el buen estado de los recursos ecosistémicos y sus servicios ambientales. • También es importante tener en cuenta que, la conectividad entre sus distintos corredores o paisajes con los sistemas productivos de café permite el movimiento y el intercambio de distintas especies, sean vegetales o animales; de igual manera, funcionan como refugio, alimento y hábitat; por esta razón, deben ser conservados.
2. **Reforestación con plantas nativas** • Para contrarrestar el daño ambiental que se genera con el proceso del cultivo de café, se recomienda reforestar con plantas nativas, para restaurar aquellas tierras que han sido abandonadas y así, poder revertir el daño causado por la deforestación. • Reforestar con plantas nativas de la región es de gran importancia ya que estas se adaptan con mayor naturalidad al medio ambiente en el cual son plantadas, debido a que se les facilita la interacción con las demás especies.

Conclusiones

Durante el proceso del café se genera la contaminación sobre el agua, lo que genera gran impacto ambiental sobre la vida de los ecosistemas hídricos; por esta razón, se estableció cinco programas, como herramientas para disminuir los daños ambientales y mejorar la calidad de los recursos naturales y su entorno.

Las herramientas agro-ambientales permitirán prevenir, mitigar y corregir los problemas generados por el proceso del beneficio de café en unidades cafeteras productivas; fueron diseñadas con el fin de mejorar la calidad de este proceso y así, poder dar un manejo apropiado a los recursos naturales que hacen parte de esta actividad.

Durante el beneficio de café se genera residuos sólidos que deben ser aprovechados o reutilizados, para la elaboración de subproductos y así, dar un buen uso, para disminuir la contaminación sobre el suelo y recurso hídrico, ya que, cuidar el agua deber ser un compromiso de todos, dado que, no solo es esencial para la vida, sino también para tener una buena productividad agrícola.

Referencias

Amazo, J. S., & Alzate, A. M. (2018). Valoración cualitativa del impacto ambiental en una planta productora de aceite de palma en colombia. *Questionar Investigación Específica*, *6*(1), 9-24. https://doi.org/10.29097/23461098.245

Chanakya, H. &. De Alwis, A. (2004). Environmental issues and management in primary coffee processing. *Process Safety and Environmental Protection*, *82*(4), 291-300. https://doi.org/10.1205/095758204323162319

Conesa, V. (2011). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental* (4.ª ed.). Ediciones Mundi Prensa.

Díaz, S. X. y Vesga, E. R. (2013). Identificación del manejo de subproductos del beneficio del café en las fincas localizadas en la parte alta de la microcuenca La Sancotea, vereda Alto de Reinas, Socorro-Santander. *El Centauro*, *5*(8), 19-30.

Fernández, Y., Sotto, K. D. y Vargas, L. A. (2020). Impactos ambientales de la producción de café y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados. *Producción + Limpia*, 93-110. https://doi.org/10.22507/pml.v15n1a7

García-Güiza, Y. (2017). *Establecimiento de un sistema filtro para tratamiento de aguas mieles en una finca del municipio de Ibagué, promoviendo los tres pilares de producción y sostenibilidad (económico, social y ambiental)* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/13501/39754197.pdf;jsessionid=DC10CD29067FA3DAA2F25893A641DC41.jvm1?sequence=1

Giovani-Ángel, L. y Alzate-Gil, J. P. (2015). *Ensamble, puesta a punto y operación de secador mecánico de café con acople de bomba de calor* [Tesis de Pregrado, Instituto Tecnológico Metropolitano. https://repositorio.itm.edu.co/handle/20.500.12622/1630?show=full

Molano, V. H. (2016). *Colonización prehispánica de los valles transversales al río Magdalena, cordillera Central Santa María, Huila* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/56715

Niño, F. A. (2020). *Elaboración de proyectos para la semi-industrialización del sector caficultor de Santander según la metodología PMI* [Tesis de Especialización, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/40714/faninoh.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Noscue, E. A. (2014). *Adopción de los sistemas agroforestales con el cultivo del café (Coffea arábica)* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD]. https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/2654/52860556.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Prada, J. F., Arias, C. J. y Cerquera, O. H. (2017). La producción cafetera y su impacto en el crecimiento económico del departamento del Huila, Colombia. *Ánfora*, 45-66. https://doi.org/10.30854/anf.v24.n42.2017.163

Rodríguez Valencia, N. (2009). *Estudio de un biosistema integrado para el postratamiento de las aguas residuales del café utilizando macrófitas acuáticas* [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia]. https://pdfs.semanticscholar.org/859e/3e23d49349dc40abccff91938af3828cb939.pdf

Rodríguez, N., Sanz, J. R., Oliveros, C. E. y Ramírez, C. A. (2015). *Beneficio del café en Colombia. Prácticas y estrategias para el ahorro, uso eficiente del agua y el control de la contaminación hídrica en el proceso de beneficio húmedo del café*. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.

Velásquez, C. y Trávez, M. (2019). *Café especial, una alternativa para el sector cafetero en Colombia* [Tesis de Pregrado, Universidad EAFIT]. https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/15236/Mateo_Travez_Camilo_Velasquez_2019.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Zarta Ávila, P. (2018). La sustentabilidad o sostenibilidad: Un concepto poderoso para la humanidad. *Tabula Rasa*, *28*, 409-423. https://doi.org/10.25058/20112742.n28.18

Una revisión sobre investigaciones en basura marina en Colombia: Aportes, desafíos y oportunidades

Javier Andrés Esteban-Muñoz[1]

Dora Luz Gómez-Aguilar[2]

Resumen

Los océanos se caracterizan por ser vitales para nuestro planeta Tierra, dado que regulan el clima; en ellos se genera alimentos que sirven de consumo para los seres humanos; por medio del movimiento de las olas se produce el intercambio gaseoso que permite el aumento de las concentraciones de oxígeno; y, a su vez, son el lugar que ocupan varias especies animales y vegetales. Desafortunadamente, día a día, por las diferentes actividades humanas a nivel mundial, se han visto afectados en un 75 %, por contaminación, debido a que, la mayoría de los ríos que desembocan en ellos, los contaminan, en un 90 % aproximadamente. Por esta razón, evitar su deterioro y resaltar la importancia de este recurso, se encuentra contemplado en el Objetivo del Desarrollo Sostenible 14 (Naciones Unidas, 2018); adicionalmente, las diversas actividades de pesca artesanal los han ido deteriorando progresivamente.

Dado lo anterior, se busca socializar los resultados de una revisión bibliográfica llevada a cabo en el periodo 2000 - 2021 dentro de las bases de datos Scopus y Web of Science (WoS) acerca del tema: basura marina en Colombia. La investigación fue de corte cualitativo, de alcance exploratorio-descriptivo, cuyo fin fue analizar la tendencia en cuanto a lo mencionado en el contexto colombiano, así como los lugares y situaciones investigadas. Adicionalmente, los aportes, desafíos, oportunidades y posibles propuestas para la reducción y/o mitigación de la situación abordada por los autores en sus manuscritos. Con relación a los resultados y análisis, se revisó y seleccionó 21 productos investigativos, mostrando la mayor producción en el año 2020. Asimismo, se da cuenta de los desafíos, oportunidades, vacíos en términos de la formulación de políticas ambientales, gestión y manejo de residuos sólidos, como, por ejemplo, los plásticos en las playas del caribe colombiano, la protección de las áreas marinas y, bases de datos sobre información de la salud acuática. Finalmente, se muestra los resultados de investigaciones en algunas zonas intervenidas en Colombia.

Palabras clave: basura marina; Colombia; revisión bibliográfica; bases de datos; plásticos.

[1] Departamento de Química, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá D.C. Correo: jaestebanm@upn.edu.co

[2] Departamento de Química, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá D.C. Correo: dgomez@pedagogica.edu.co

Introducción

Esta revisión documental de basura marina en Colombia se llevó a cabo con el objetivo de resaltar la importancia de los océanos a nivel mundial, dado que, diariamente ha ido aumentando la contaminación en estos ecosistemas. Cabe indicar que, los contaminantes son de diferente naturaleza: química, orgánicos, inorgánicos y microorganismos, pero, los que aparecen mayoritariamente son los plásticos, como un residuo sólido de tipo flotante, los cuales han sido registrados desde el año de 1995 (Clunie y Hendricks, 1995). Actualmente, se puede detectar más de 100.000 sustancias en el medio ambiente acuático marino. Sin embargo, se sabe poco sobre la toxicidad de la mayoría de ellos (Schipper, 2009, citado por Parra-Luna et al., 2020).

Dentro de algunas de las funciones que desempeñan los océanos, están: ocupan un volumen del 97,5 % total del agua en nuestro planeta (Fernández, 2012); son fuente de recursos biológicos alimentarios; producen, al menos, el 50 % de oxígeno en nuestro planeta; absorben anualmente el 25 % de CO_2 que se agrega a la atmósfera; son reguladores del clima en nuestro planeta y, también, son considerados un importante recurso energético (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2009).

Dado lo anterior, las preguntas que orientaron la investigación realizada fueron formuladas en los siguientes términos:

1. ¿Cuál es la tendencia investigativa en cuanto a la situación de basura marina en el contexto colombiano en el periodo de tiempo 2000 - 2021?
2. ¿Cuáles son los lugares de Colombia y situaciones alrededor de la basura marina que han sido investigados y escritos en artículos?
3. ¿Cuáles son los aportes, desafíos, oportunidades y posibles propuestas para la reducción y/o mitigación de la situación de basura marina en las zonas investigadas, de acuerdo con lo expresado en los artículos por parte de los investigadores?

Metodología

La investigación fue de tipo cualitativo, cuyo alcance era exploratorio-descriptivo. Se llevó a cabo la búsqueda y revisión de artículos científicos en las bases de datos de SCOPUS y Web of Science (WoS) en el periodo de tiempo 2000 - 2021. La indagación empleó palabras clave o tesauros en idiomas español e inglés como, por ejemplo: basura marina, *marine debris*, Colombia.

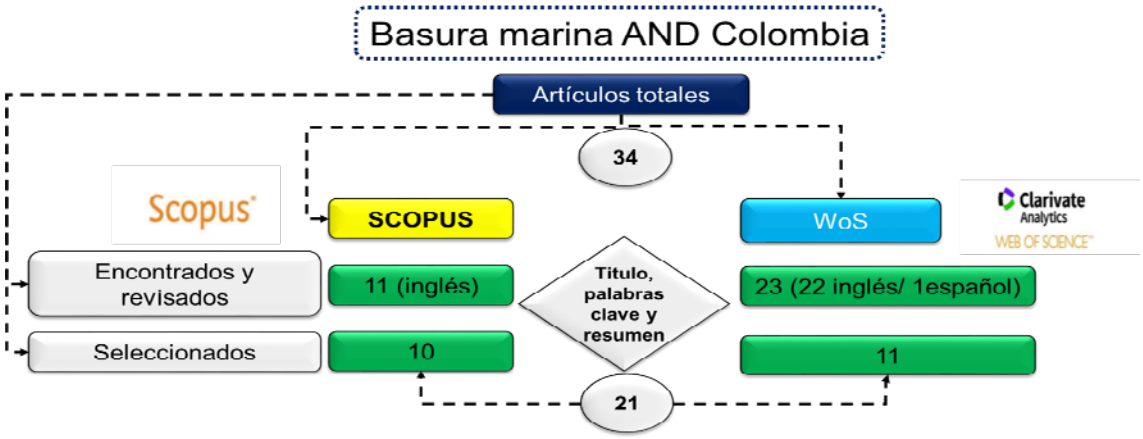
Posteriormente, la selección de los manuscritos se realizó desde la lectura del título, el resumen y las palabras clave; asimismo, que estuvieran relacionados con el tema de la basura marina en Colombia.

Resultados

De los 34 artículos en total que se encontró en las bases de datos de Scopus y WoS, once fueron de la primera y, 23 de la segunda. Después de la revisión y selección -según los criterios mencionados-, se retomó 21:

Figura 1

Artículos encontrados, revisados y seleccionados de las bases de datos de SCOPUS y WoS con relación al tema: basura marina en Colombia



En la Tabla 1, a continuación, se expone los 21 artículos seleccionados, así como el autor, el título, instituciones y la revista donde están alojados. Con relación a estos se observó que, del intervalo de tiempo planteado inicialmente (2000-2020) se comenzó a reportar divulgaciones en cuanto al tema objeto de estudio en Colombia, desde 2015 hasta 2021.

Tabla 1

Especificaciones de los artículos seleccionados de las bases de datos de SCOPUS y WoS (2015-2021)

Año	Título	Instituciones	Revista	Referencia
		SCOPUS		
2021	Behind the scenes for the designation of the Corales de Profundidad National Natural Park of Colombia	Marine and Coastal Research Institute– INVEMAR; National Natural Parks of Colombia; Ministry of Environment and Sustainable Development; National Hydrocarbon Agency	Frontiers in Marine Science	Alonso et al. (2021)
2021	Abundance, distribution, and characteristics of microplastics in coastal surface waters of the Colombian Caribbean and Pacific	Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras 'José Benito Vives de Andréis' –INVEMAR, Programa Calidad Ambiental Marina; Red de Vigilancia para la Conservación y Protección de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia – REDCAM; Red de Investigación de los Estresores Marino Costeros de Latinoamérica y el Caribe – REMARCO; Universidade Federal Fluminense, Instituto de Física, Laboratório de Radioecologia e Alterações Ambientais (LARA)	Environmental Science and Pollution Research	Garcés-Ordóñez et al. (2021)

2020	Plastic litter pollution along sandy beaches in the Caribbean and Pacific coast of Colombia	Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras 'José Benito Vives de Andréis' –INVEMAR; Red de Vigilancia para la Conservación y Protección de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia – REDCAM; Red de Investigación de los Estresores Marino Costeros de Latinoamérica y el Caribe – REMARCO; Universidade Federal Fluminense, Instituto de Física, Laboratório de Radioecologia e Alterações Ambientais (LARA)	Environmental Pollution	Gárces-Ordóñez et al. (2020c)
2020	The impact of tourism on marine litter pollution on Santa Marta beaches, Colombian Caribbean	Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andréis" –INVEMAR; Red de Vigilancia para la Conservación y Protección de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia – REDCAM; Red de Investigación de los Estresores Marino Costeros de Latinoamérica y el Caribe – REMARCO; Universidade Federal Fluminense, Instituto de Física, Laboratório de Radioecologia e Alterações Ambientais (LARA)	Marine Pollution Bulletin	Garcés-Ordóñez et al. (2020b)
2020	Prevalence of microplastic contamination in the digestive tract of fishes from mangrove ecosystem in Cispata, Colombian Caribbean	Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andréis" –INVEMAR; Red de Vigilancia para la Conservación y Protección de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia – REDCAM; Red de Investigación de los Estresores Marino Costeros de Latinoamérica y el Caribe – REMARCO; Universidad de Magdalena	Marine Pollution Bulletin	Garcés-Ordóñez et al. (2020a)

2020	The invasive species Perna viridis (*Linnaeus, 1758 - Bivalvia: Mytilidae*) on artificial substrates: A baseline assessment for the Colombian Caribbean Sea	Universidad del Atlántico	Marine Pollution Bulletin	Gracia y Rangel (2020)
2020	Marine litter arrived: Distribution and potential sources on an unpopulated atoll in the Seaflower Biosphere Reserve, Caribbean Sea	Universidad de la Costa; Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas - CIOH; Escuela Naval de Suboficiales ARC Barranquilla; Leibniz Institute for Baltic Sea Research	Marine Pollution Bulletin	Portz et al. (2020)
2020	The impact of anthropogenic litter on Colombia's central Caribbean beaches	Universidad del Atlántico, Grand Valley State University	Marine Pollution Bulletin	Rangel-Buitrago et al. (2020)
2019	Quantification of microplastics along the Caribbean Coastline of Colombia: Pollution profile and biological effects on *Caenorhabditis elegans*	Universidad de Cartagena	Marine Pollution Bulletin	Acosta-Coley et al. (2019)
2019	Marine litter and microplastic pollution on mangrove soils of the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombian Caribbean	Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andréis" –INVEMAR; Universidad Jorge Tadeo Lozano; Universidad del Magdalena	Marine Pollution Bulletin	Garcés-Ordóñez et al. (2019)
2019	Inhabiting the technosphere: The encroachment of anthropogenic marine litter in Neotropical mangrove forests and its use as habitat by macrobenthic biota	Universidad del Valle	Marine Pollution Bulletin	Riascos et al. (2019)

2019	Impactos de la contaminación por basura marina en el ecosistema de manglar de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano	Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andréis" – INVEMAR; Ecopetrol	REVMAR Revistas Ciencias Marinas y Costeras	Gárces y Bayona (2019)
2019	Litter impacts on cleanliness and environmental status of Atlantico department beaches, Colombian Caribbean coast	Universidad del Atlántico	Ocean and Coastal Management	Rangel-Buitrago et al. (2019)
2018	Litterimpactsonbeach/dunesystems along the Atlantico Department, the Caribbean Coastline of Colombia	Universidad del Atlántico; University of Wales: Trinity Saint David Swansea	Marine Pollution Bulletin	Rangel-Buitrago et al. (2018c)
2018	Abundance and distribution of beach litter along the Atlantico Department, Caribbean coast of Colombia	Universidad del Atlántico	Marine Pollution Bulletin	Rangel-Buitrago et al. (2018b)
2018	Killing the goose with the golden eggs: Litter effects on scenic quality of the Caribbean coast of Colombia	Universidad del Atlántico; Universidad de Cádiz; University of Wales: Trinity Saint David (Swansea)	Marine Pollution Bulletin	Rangel-Buitrago et al. (2018a)
2018	Beach litter and woody-debris colonizers on the Atlantico department Caribbean coastline, Colombia	Universidad del Atlántico; Universidad de Granada	Marine Pollution Bulletin	Gracia et al. (2018)

Contenido

2017	Magnitudes, sources, and management of beach litter along the Atlantico department coastline, Caribbean coast of Colombia	Universidad del Atlántico; University of Wales: Trinity Saint David (Swansea); Interdisciplinary Centre of Social Sciences, (CICS.NOVA.FCSH/UNL)	Ocean & Coastal Management	Rangel-Buitrago et al. (2017)
2017	Medellin Declaration on Marine Litter in Life Cycle Assessment and Management	FSLCI and The Life Cycle Group CyVi, Université de Bordeaux – ISM; RICV and Sustainable Recycling Industries & Life Cycle Management, World Resources Forum, Lerchenfeldstrasse	The International Journal of Life Cycle Assessment	Sonneman y Valdivia (2017)
2016	Litter impacts on scenery and tourism on the Colombian north Caribbean coast	University of Wales; Universidad del Atlántico; Universidad de Cádiz; Universidad de la Costa	Tourism Management	Williams et al. (2016)
2015	Design of an index for monitoring the environmental quality of tourist beaches from a holistic approach	Playascol Corporation E.U, Universidad del Magdalena, Fundacion Universitaria Tecnológico Comfenalco	Ocean & Coastal Management	Botero et al. (2015)

En términos de la cantidad de manuscritos por año, se tiene uno para 2015 y uno para 2016, respectivamente; dos para 2017, cuatro en 2018; cinco en 2019; seis en 2020; y, dos en 2021. Esto muestra el incremento paulatino frente a la publicación de artículos sobre el tema de basura marina en algunos lugares del territorio colombiano -que más adelante se especificará-.

Para el caso de las instituciones de los autores que han sido partícipes en las investigaciones, están: INVEMAR, Parques Naturales Nacionales de Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), Agencia Nacional de Hidrocarburos, Ecopetrol, Universidad del Atlántico, Universidad de la Costa, Universidad del Valle, Universidad de Cartagena, Universidad del Magdalena, Universidad Jorge Tadeo Lozano, REDCAM, REMARCO, Escuela Naval de Suboficiales ARC Barranquilla, University of Wales, Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, Playascol Corporation E.E.U.U., Universidad de Cádiz y Universidad de Granada.

Frente a las revistas indexadas, donde se alojan los artículos, están -en orden de mayor a menor aparición-: *Marine Pollution Bulletin*, *Ocean & Coastal Management*, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *Frontiers in Marine Science*, *Environmental Science and Pollution Research*, *Environmental Pollution*, REVMAR (Revistas Ciencias Marinas y Costeras) y *Tourism Management*.

Por otro lado, en el análisis de contenido de los artículos seleccionados, se utilizó el software NVivo 12 Pro para observar, en un primer momento, las palabras más citadas por los autores allí. Posteriormente, desde un árbol de palabras, los desafíos y oportunidades que expusieron los autores en los escritos; finalmente, los vacíos que aún están presentes o que quedan en el campo investigativo sobre la basura marina en Colombia:

Todo lo anterior, se muestra en las Figuras 2, 3, 4 y 5, a continuación:

Figura 2

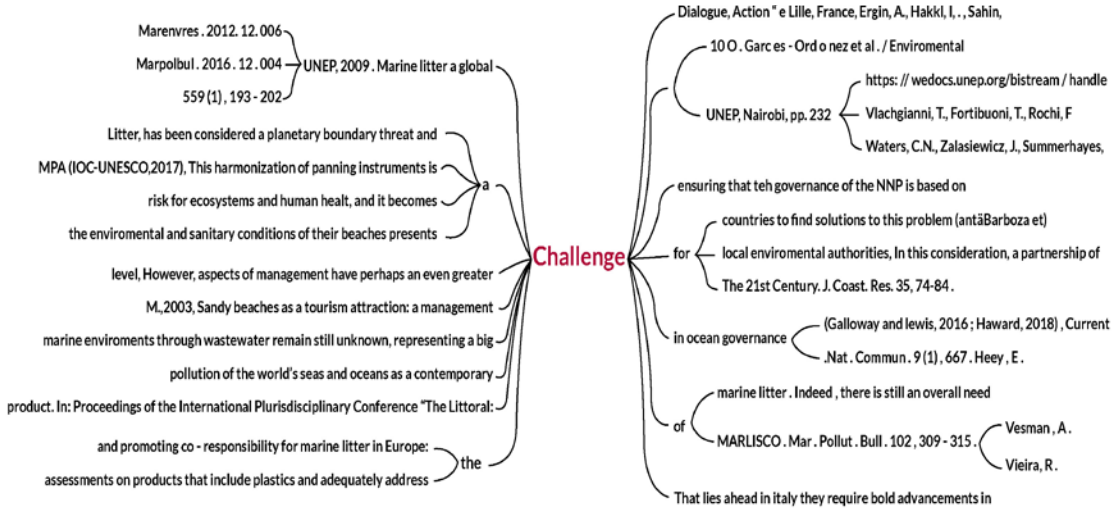
Nube de palabras más mencionadas por los autores en los artículos seleccionados



Fuente: elaboración propia con base en NVivo 12 Pro

Figura 3

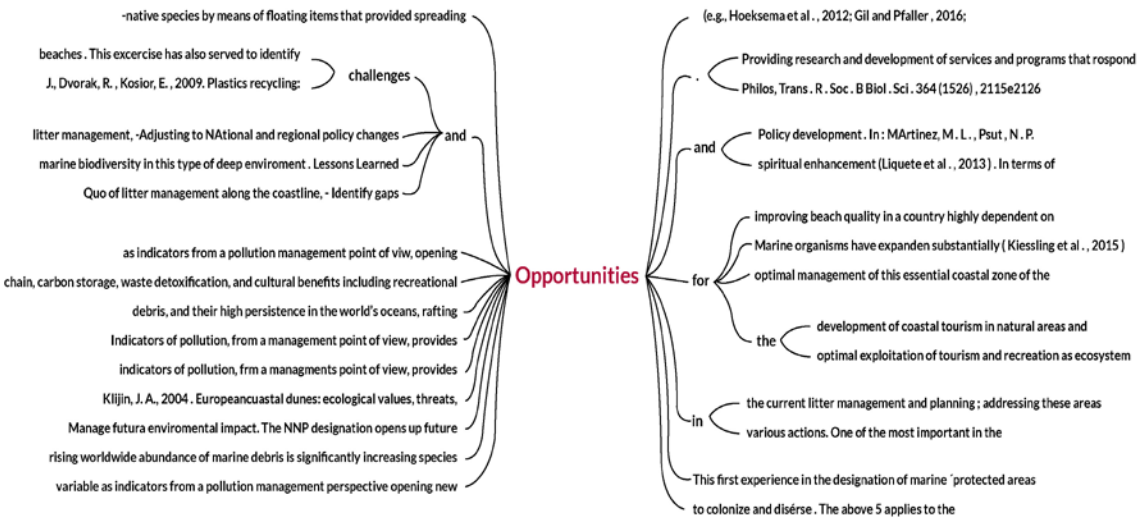
Árbol de palabras en cuanto a los desafíos mencionados por los autores en los artículos seleccionados



Fuente: elaboración propia con base en NVivo 12 Pro.

Figura 4

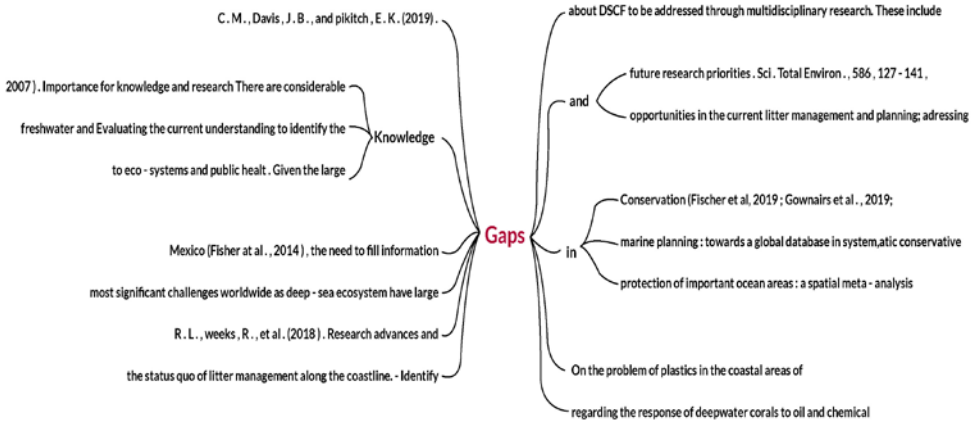
Árbol de palabras en cuanto a las oportunidades mencionadas por los autores en los artículos seleccionados



Fuente: elaboración propia con base en NVivo 12 Pro.

Figura 5

Árbol de palabras en cuanto a los vacíos mencionadas por los autores en los artículos seleccionados



Fuente: elaboración propia con base en NVivo 12 Pro

Para el caso de la Figura 2, se observó que las palabras más citadas -de mayor a menor prelación- son: basura marina, playas, costas colombianas, costas del caribe colombianas, manejo ambiental, contaminación por plásticos, micro plásticos, turismo, antropogénico, ecosistemas acuáticos.

Esto demuestra, como primer acercamiento al tema, que algunas de las investigaciones centraron su atención alrededor de la categoría de plásticos y micro plásticos -como residuos sólidos que pertenecen a la basura marina- alrededor de las playas de las costas del Caribe colombianas, su manejo ambiental, factores asociados a actividades antropogénicas o, por turismo.

Con relación a la Figura 3, se muestra que la basura marina es un desafío, no solamente en Colombia, sino a nivel mundial; así mismo, se presenta un reto en el manejo y gestión ambiental de residuos sólidos en las playas costeras en el siglo XXI y, la formulación de regulaciones por parte de las autoridades ambientales locales. Finalmente, la evaluación de productos que incluyen plásticos y su disposición adecuada.

En la Figura 4, en cuanto a la investigación sobre la basura marina en Colombia, los autores ponen en la mesa la urgente necesidad de lo siguiente: el mejoramiento de la calidad de las playas costeras, manejo y reciclaje de la basura marina (particularmente de plásticos), ajustes y cambios a las políticas nacionales y regionales del territorio colombiano en cuanto a la biodiversidad y protección de áreas marinas, turismo -lo cual puede llevar a plantear nuevas investigaciones en este aspecto-, establecimiento de indicadores de calidad, teniendo como eje transversal, el tema de basura marina.

Por último, en la Figura 5 se ilustra los vacíos que exponen los autores en sus escritos, expresando que aún faltan investigaciones alrededor del análisis de la protección de zonas oceánicas colombianas, los problemas de salud pública y de los ecosistemas asociados a los plásticos de las áreas costeras, las bases de información sistematizada que den cuenta de los corales de aguas profundas por presencias de agentes químicos y grasas y, conservación marina.

En la Tabla 2, a modo de ejemplo, se presenta el análisis de contenido de dos artículos de los 21 seleccionados, dilucidando el área y la situación objeto de estudio, algunos resultados, la importancia para el conocimiento, las investigaciones futuras y la propuesta para la reducción y/o mitigación de la problemática abordada:

Tabla 2

Análisis de contenido de algunos artículos seleccionados de la revisión bibliográfica realizada

Autor	Área de estudio	Situación objeto de estudio	Resultados	Importancia para el conocimiento y las investigaciones futuras	Propuesta para la reducción y/o mitigación de la problemática
Garcés-Ordóñez et al. (2020b)	43 playas arenosas colombianas -de regiones del pacífico y el caribe- dentro de 15 municipios (San Andrés, Santa Marta, Cartagena, San Antero, Buenaventura, entre otros).	Contaminación por plásticos (macro y micro plásticos) e impacto sobre los ecosistemas marinos aledaños.	Un total de 2 257 macro-micro-plásticos fueron identificados en las zonas investigadas. Entre estos se encontró: bolsas plásticas, piezas de poliestireno y plástico de 2.5 cm a 50 cm, botellas, contenedores, cosméticos, zapatos, sandalias, redes, ropa, esponjas, recipientes de grasas y aceites, cintas de tinta. Polímeros (polipropileno, poli estireno, polietileno, PET, PVC, poliuretano). Acerca de las posible fuentes de esta basura, los autores lo atribuyeron al turismo y actividades recreativas, pobres prácticas sobre el manejo de residuos, pesca, compras.	Desde esta investigación se muestra los diferentes contaminantes sólidos, las cantidades e impacto sobre las zonas costeras colombianas. Frente a ello, se hace un llamado a las autoridades ambientales, sobre la urgente necesidad de regular la producción de plásticos y su uso excesivo.	Esta investigación abrió un camino hacia los diferentes contaminantes de naturaleza orgánica tipo sólido, en los cuales se necesita: a) seguir investigando en cuanto a su manejo y producción en las zonas aledañas y las intervenidas en la investigación; b) desarrollar programas frente al uso y manejo de macro y micro plásticos en actividades de turismo, pesca, recreación, entre otras: c) formular programas de reciclaje para la disposición de los residuos en las playas, para evitar que estos lleguen a los ecosistemas marinos.

Contenido

Acosta-Coley (2019)	Lugares de la costa del caribe colombiano (Río Sinú, Canal del Dique, Islas del Rosario, Parque Natural Nacional de Corales de San Bernardo y Rosario, Río Magdalena, Arrecife de Corales Varadero, Barranquilla, y el Río Ranchería)	Contaminación por micro plásticos y su efecto biológico sobre Caenorhabditis elegans	Se halló más de 40 tipos de micro plásticos, de diferentes formas, colores y tamaños. Asimismo, en cuanto a la letalidad en el crecimiento, locomoción del nematodo C. Elegans mostró incidencias de los micro plásticos sobre el organismo, mostrando reducciones en el crecimiento y en la locomoción.	El análisis cuantitativo de micro plásticos llevado a cabo en el caribe colombiano, puede ser tomado como una base para investigaciones futuras. Se hace necesario monitorear la producción de plásticos, así como los pellets provenientes de la bahía de Cartagena. Este levantamiento invita a la formulación de políticas de reciclaje de los plásticos y la educación ambiental.	Formulación de políticas en materia de vigilancia de industrias que producen plásticos, de forma particular, los pellets. Conformación de comités y agencias de protección ambiental para vigilar la disposición de micro plásticos en fuentes hídricas como el Río Magdalena.

En la Tabla 2 se aprecia algunos de los lugares donde se ha hecho intervención: San Andrés, Santa Marta, Cartagena, el río Magdalena, Islas del Rosario, entre otros, debido a uno de los contaminantes que hacen parte de la basura marina, correspondiente a los macro-micro-plásticos. De la situación problémica que abordaron los autores, hacen énfasis en las pocas investigaciones alrededor de este aspecto en Colombia, reportando como resultados, la recolección y análisis fisicoquímicos entre 40 a 2 257 plásticos de diferente tamaño y composición química (entre los cuales hay presencia de botellas, contenedores, polímeros –PET, PVC, poliuretano-.

De acuerdo con las investigaciones, los autores dilucidaron que estas pueden ser tomadas como iniciativas para comenzar a formular iniciativas o regulaciones alrededor del control y manejo de plásticos en las zonas intervenidas y aledañas, haciendo llamados a las autoridades ambientales para que vigilen este tipo de situaciones que, no solo afectan las playas, sino la salud ambiental, humana y de los ecosistemas acuáticos.

Conclusiones

A partir de la revisión bibliográfica realizada en el periodo de tiempo de 2000 - 2020 dentro de las bases de datos de SCOPUS y WoS, se puede establecer que hay muy poca investigación alrededor de la basura marina en Colombia, como lo afirmaban los autores mencionados. Este levantamiento de información se podría tomar como una iniciativa para la conformación de líneas de investigaciones alrededor de la temática mencionada.

Asimismo, frente a los desafíos, aportes y vacíos que exponían los autores en sus manuscritos, es evidente que aún el tema de la basura marina en Colombia, en términos de manejo y gestión ambiental, formulación de políticas y regulaciones ambientales, educación ambiental, es un campo que se está abriendo paulatinamente. Esto se puede observar desde las primeras publicaciones que se comenzó a reportar dentro de las bases de datos seleccionadas, tomando en consideración el intervalo de tiempo planteado.

Por último, los autores del presente estudio expresamos que, la educación ambiental, desde los primeros niveles educativos, es uno de los pilares que debe fortalecerse en todas las regiones del territorio colombiano, involucrando el tema de la basura marina como un eje transversal al currículo, particularmente en Química y Biología; pues, desde allí, en la formación ciudadana de los educandos, se puede articular dicha situación ambiental como una Cuestión Socialmente Viva (CSV) y una Cuestión Socio Ambiental (CSA) donde se enfatice en las repercusiones desde lo social, económico, ambiental, religioso, cultural y político, con el fin de fortalecer el pensamiento crítico y la toma de decisiones.

Referencias

Acosta-Coley, I., Duran-Izquierdo, M., Rodríguez-Cavallo, E., Mercado-Camargo, J., Méndez-Cuadro, D., & Olivero-Verbel, J. (2019). Quantification of microplastics along the Caribbean Coastline of Colombia: Pollution profile and biological effects on Caenorhabditis elegans. *Marine Pollution Bulletin*, *146*, 574-583. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.084

Alonso, D., Vides-Casado, M., Arias-Isaza, F., Zambrano, H., Rodríguez, E., Rocha-Gutiérrez, V., Herrón, P., & Castillo, A. (2021). Behind the scenes for the designation of the Corales de Profundidad National Natural Park of Colombia. *Frontiers in Marine Science*, *8*. https://doi.org/10.3389/fmars.2021.567438

Botero, C., Pereira, C., Tosic, M., & Manjarrez, G. (2015). Design of an index for monitoring the environmental quality of tourist beaches from a holistic approach. *Ocean & Coastal Management, 108*, 65-73. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.07.017

Clunie, W. F. & Hendricks, D. W. (1995). Refuse pollution of seas and oceans. *Water Science and Technology, 32*(7), 13-23.

Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química viva*, *11*(3), 147-170

Garcés-Ordóñez, O., Castillo-Olaya, V. A., Granados-Briceño, A. F., Blandón, L. M., & Espinosa, L. F. (2019). Marine litter and microplastic pollution on mangrove soils of the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombian Caribbean. *Marine Pollution Bulletin*, *145*, 455-462. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.058

Garcés-Ordóñez, O. y Bayona, M. R. (2019). Impactos de la contaminación por basura marina en el ecosistema de manglar de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 145-165. https://doi.org/10.15359/revmar.11-2.8

Garcés-Ordóñez, O., Mejía-Esquivia, K. A., Sierra-Labastidas, T., Patiño, A., Blandón, L. M., & Espinosa, L. F. (2020a). Prevalence of microplastic contamination in the digestive tract of fishes from mangrove ecosystem in Cispata, Colombian Caribbean. *Marine Pollution Bulletin*, *154*. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111085

Garcés-Ordóñez, O., Espinosa, L. F., Pereira, R., & Costa, M. (2020b). The impact of tourism on marine litter pollution on Santa Marta beaches, Colombian Caribbean. *Marine Pollution Bulletin*, 160, 111558. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111558

Garcés-Ordóñez, O., Espinosa, L. F., Pereira, R., Barroso, B., Cardoso, I., & Meigikos, R. (2020c). Plastic litter pollution along sandy beaches in the Caribbean and Pacific coast of Colombia. *Environmental Pollution*, *267*. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115495

Garcés-Ordóñez, O., Espinosa, L. F., Costa, M., Salles, L. B., & Meigikos, R. (2021). Abundance, distribution, and characteristics of microplastics in coastal surface waters of the Colombian Caribbean and Pacific. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*, 43431-43442. https://doi.org/10.1007/s11356-021-13723-x

Gracia, A., Rangel-Buitrago, N., & Flórez, P. (2018). Beach litter and woody-debris colonizers on the Atlantico department Caribbean coastline, Colombia. *Marine Pollution Bulletin*, *128*, 185-196. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.01.017

Gracia, A. y Rangel, N. (2020). The invasive species Perna viridis (Linnaeus, 1758 - Bivalvia: Mytilidae) on artificial substrates: A baseline assessment for the Colombian Caribbean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, *152*, https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110926

Naciones Unidas y CEPAL. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y El Caribe.* Naciones Unidas.

Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2009). ONU resalta la importancia de los océanos. https://news.un.org/es/story/2009/06/1165871

Parra-Luna, M., Martín-Pozo, L., Hidalgo, F., & Zafra-Gómez, A. (2020). Common sea urchin (*Paracentrotus lividus*) and sea cucumber of the genus *Holothuria* as bioindicators of pollution in the study of chemical contaminants in aquatic media. A revision. *Ecological Indicators*, *113*, 106185. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1470160X20301229?via%3Dihub

Portz, L., Manzolli, R. P., Herrera, G. V., Garcia, L. L., Villate, D. A., & Ivar do Sul, J. A. (2020). Marine litter arrived: Distribution and potential sources on an unpopulated atoll in the Seaflower Biosphere Reserve, Caribbean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, *157*, 111323. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111323

Rangel-Buitrago, N., Williams, A., Anfuso, G., Arias, M., & Gracia C., A. (2017). Magnitudes, sources, and management of beach litter along the Atlantico department coastline, *Caribbean coast of Colombia. Ocean & Coastal Management*, *138*, 142-157. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.01.021

Rangel-Buitrago, N., Williams, A., & Anfuso, G. (2018a). Killing the goose with the golden eggs: Litter effects on scenic quality of the Caribbean coast of Colombia. *Marine Pollution Bulletin*, *127*, 22-38. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.11.023

Rangel-Buitrago, N., Gracia C., A., Vélez-Mendoza, A., Mantilla-Barbosa, E., Arana, V. A., Trilleras, J., & Arroyo-Olarte, H. (2018b). Abundance and distribution of beach litter along the Atlantico Department, Caribbean coast of Colombia. *Marine Pollution Bulletin*, *136*, 435-447. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.09.040

Rangel-Buitrago, N., Castro-Barros, J. D., Gracia, A., Villamil, J. D., & Williams, A. T. (2018c). Litter impacts on beach/dune systems along the Atlantico Department, the Caribbean Coastline of Colombia. *Marine Pollution Bulletin*, *137*, 35-44. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.10.009

Rangel-Buitrago, N., Mendoza, A. V., Gracia, A., Mantilla-Barbosa, E., Arana, V. A., Trilleras, J., & Arroyo-Olarte, H. (2019). Litter impacts on cleanliness and environmental status of Atlantico department beaches, Colombian Caribbean coast. *Ocean & Coastal Management*, *179*, 104835. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104835

Rangel-Buitrago, N., Vélez-Mendoza, A., Gracia, A., & Neal, W. J. (2020). The impact of anthropogenic litter on Colombia's central Caribbean beaches. *Marine Pollution Bulletin*, *152*, 110909. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110909

Riascos, J. M., Valencia, N., Peña, E. J., & Cantera, J. R. (2019). Inhabiting the technosphere: The encroachment of anthropogenic marine litter in Neotropical mangrove forests and its use as habitat by macrobenthic biota. *Marine Pollution Bulletin*, *142*, 559-568. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.04.010

Sonnemann, G., & Valdivia, S. (2017). Medellin Declaration on Marine Litter in Life Cycle Assessment and Management. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *22*(10), 1637-1639. https://doi.org/10.1007/s11367-017-1382-z

Williams, A. T., Rangel-Buitrago, N. G., Anfuso, G., Cervantes, O., & Botero, C. M. (2016). Litter impacts on scenery and tourism on the Colombian north Caribbean coast. *Tourism Management*, *55*, 209-224. https://doi.org/10.1016/j.tourman.2016.02.008

Manejo integral de acueducto de la vereda Mejía del municipio de Yacuanquer

Yuliana Alejandra Montilla Gualguan[1]
Rosa Hortencia Chamorro García[2]
Johana Alejandra Ortega Salas[3]
María Margarita Portilla Gonzáles[4]

Resumen

El fortalecimiento del prestador de servicio de acueducto es indispensable e importante para el sector rural; por ende, las acciones encaminadas al mejoramiento y conservación de este servicio son de vital importancia; por ello, esta investigación tuvo como objetivo, diseñar estrategias socioambientales, técnicas, financieras, para el manejo integral del acueducto de la vereda Mejía del municipio de Yacuanquer; para lograrlo, se realizó un diagnóstico de cada componente. Una vez realizado el diagnóstico, se efectuó una revisión y análisis de información secundaria; para la selección de estrategias se aplicó la matriz DOFA y, con el resultado obtenido, se pudo deducir las necesidades, fortalezas, amenazas y oportunidades de cada componente del acueducto rural. Mediante la matriz de priorización de problemas se pudo escoger y adaptar diferentes estrategias que favorecieron los fallos que, tanto la junta administradora como la infraestructura del acueducto, presentaban. Se concluye que, la calidad de agua del acueducto no es apta para consumo humano, ya que se encontró falencias en cada uno de los componentes, identificando problemas de infraestructura, mantenimiento y carencia de un sistema de tratamiento como es el proceso de cloración del agua.

Palabras clave: microcuenca; estrategias; acueducto rural; agua potable; junta administradora de acueducto.

[1] Universidad Mariana, Colombia. Correo: yumontilla@umariana.edu.co
[2] Universidad Mariana, Colombia. Correo: roschamorro@umariana.edu.co
[3] Universidad Mariana, Colombia. Correo: johanaortega@umariana.edu.co
[4] Universidad Mariana, Colombia. Correo: maportilla@umariana.edu.co

Introducción

El acceso al agua y su disponibilidad son relevantes para el ser humano, debido a que es un derecho fundamental y un recurso importante para la vida; sin embargo, en muchas comunidades rurales hay condiciones de vulnerabilidad, porque no tienen acceso a agua potable, exponiéndose así, a bacterias, microorganismos y agentes contaminantes, incrementando el riesgo de contraer enfermedades que pueden llegar a ocasionar la muerte (Suaza et al., 2017).

En cuanto a la zona de estudio, la calidad del agua para consumo humano en general, es mala, debido a que el acueducto de la vereda Mejía no presta el servicio con una planta de tratamiento; solo un sistema de desinfección. Esta situación se hace visible con el índice de riesgo de la calidad de agua para la vereda, evidenciando un riesgo inviable; este diagnóstico presenta una gran vulnerabilidad en la salud y el bienestar de las personas que habitan en el campo (Plan de Desarrollo Municipal de Yacuanquer, 2016).

En este caso específico, la asociación encargada de la administración del recurso hídrico es la Junta Administradora de Agua (JAA). Con este estudio se pretendió contribuir con estrategias de manejo integrales para el fortalecimiento de la organización en este sector rural, mediante la implementación de estrategias de gestión que beneficien a los actores implicados, teniendo en cuenta los componentes técnico, ambiental, social y financiero.

Metodología

Para el desarrollo del primer objetivo, se hizo un reconocimiento de la vereda y su respectivo acueducto, con una visita de campo que permitió detallar los componentes físicos como la microcuenca abastecedora, la bocatoma, los tanques, la conducción y las redes de distribución. Mediante información secundaria, se llevó a cabo el diagnóstico social, ambiental y financiero.

A partir del diagnóstico de cada componente, se elaboró un análisis mediante la matriz DOFA, con la cual se identificó fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidades, con el fin de aplicar la matriz de priorización para la selección de estrategias con las cuales se propuso soluciones a las problemáticas encontradas.

Resultados

Componente técnico

Se realizó una visita al acueducto de la vereda Mejía, donde se determinó el estado de las instalaciones y su infraestructura. Se identificó que, la bocatoma consta de dos compartimientos: el primero funciona como desarenador y, el segundo, es donde se realiza la conexión de tuberías. Cuenta con tres cámaras de quiebre, una válvula

de ventosa y una válvula de purga, las cuales se encuentran en regular estado; el tanque de almacenamiento está en mal estado, presentando agrietamientos; sus accesorios están deteriorados. No cuenta con un proceso de potabilización; por ende, no presenta ni un sistema de cloración.

Por otra parte, para la operación y mantenimiento del sistema de acueducto, según el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2000), para el lavado y limpieza de estructuras de captación aguas abajo, se requiere de labores mínimas de mantenimiento; en este caso, para el nivel de complejidad medio, se recomienda la limpieza una vez al año y, por lo observado, la junta no está cumpliendo con este requerimiento.

Componente ambiental

En este componente se analizó el estado de la microcuenca y la calidad de agua que es suministrada a la comunidad. La microcuenca La Magdalena se ubica dentro del Parque Nacional denominado 'Santuario de Flora y Fauna de Galeras'. La conservación de la microcuenca hace que se pueda garantizar una fuente de agua adecuada; sin embargo, se lleva acciones como la tala de árboles nativos y la erosión. En esta zona existe una progresiva y acelerada ampliación de la zona ganadera; incluso, en aquellas partes que bien podrían ser de la zona de amortiguamiento.

En cuanto a la calidad del agua para consumo humano, en general, es mala, ya que evidencia un Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA) de 90, lo que implica un riesgo inviable, debido a que el acueducto de la zona de estudio no presta el servicio con una planta de tratamiento. Este diagnóstico muestra una gran vulnerabilidad en la salud y en el bienestar de las personas que habitan en el campo.

Componente social

Para investigar sobre este componente, se recogió información secundaria, teniendo en cuenta elementos como la demografía, educación, actividades productivas. La vereda Mejía está conformada por 262 habitantes, quienes están divididos en: 136 mujeres y 126 hombres. La población depende de la agricultura, la ganadería y del sector agropecuario. En educación, la vereda ha sufrido un proceso de desplazamiento de los estudiantes del sector rural al sector urbano, lo cual pone en peligro la existencia de sus establecimientos educativos, dado el número reducido de estudiantes, lo que provocaría el cierre de los mismos y el retiro del docente.

Componente financiero

En algunos aspectos se evidencia que la junta administradora tiene una cuenta bancaria; hacen un recaudo anual de $10.000, donde la tarifa es determinada por la JAA, con base en los gastos de operación y mantenimiento del sistema, aprobada

en asamblea general. El número de suscriptores que se encuentran al día es de 43 y, un número de 9 que están en mora, dando un total de 52 suscriptores.

Una vez identificados los problemas de cada uno de los componentes, se procedió a desarrollar estrategias mediante la matriz de priorización, donde se realizó una selección para el componente técnico, ambiental, social o financiero, que se menciona a continuación:

Estrategias componente técnico

1. **Implementación de desinfección al sistema de tratamiento de la vereda Mejía:** el objetivo de la desinfección del agua es asegurar que el consumidor reciba agua esencialmente salubre, teniendo en cuenta que la zona de estudio no cuenta con un sistema de tratamiento o desinfección; por lo tanto, es necesario que se implemente, con el propósito de prevenir cualquier tipo de enfermedad.
2. **Programas de mantenimiento del acueducto rural de la vereda Mejía:** es esencial incorporar estos programas de mantenimiento rutinario, preventivo y correctivo, para determinar las características de deterioro y evaluar la condición de mantenimiento. El mantenimiento preventivo correctivo se dirige a la reparación de los componentes que, se sabe, están deteriorados, como tuberías de agua, válvulas reductoras de presión y tanque de almacenamiento.

Estrategias componente ambiental

1. **Programas de reforestación en la parte alta de la bocatoma del acueducto de Mejía:** la reforestación con especies nativas es una alternativa viable; es una acción sumamente importante, ya que los árboles son grandes depuradores de contaminación, ayudan a la reducción del efecto invernadero, contribuyen a la conservación del agua y, disminuyen la erosión del suelo.
2. **Recuperación de zona forestal protectora y conservación de la microcuenca Magdalena:** esta estrategia consiste en realizar campañas de buen uso de agua, buenas prácticas agrícolas y formación de grupos ecológicos dentro de la comunidad, que contribuyan a la conservación de las fuentes hídricas y garantizar la oferta hídrica para cubrir las necesidades presentes y futuras de la población y así, conservar los ecosistemas y su biodiversidad.
3. **Formulación de plan de uso eficiente y ahorro de agua para la vereda Mejía:** se realiza como instrumento de planificación, de análisis técnico y financiero de la situación actual de la microcuenca y de los sistemas de acueducto, buscando alcanzar metas de reducción de pérdidas, mejoramiento de las

microcuencas abastecedoras de acueducto y los sistemas de acueducto, encaminados a garantizar una cantidad y calidad suficiente que permita avanzar en la sostenibilidad del recurso.

Estrategias componente social

1. **Capacitación y fortalecimiento a las organizaciones prestadoras del servicio de acueducto de la vereda Mejía:** se busca, a través de la realización de talleres y jornadas educativas, capacitar a la JAA, en la gestión colectiva del agua. Se debe contar con la participación de todos los actores, como la administración municipal, la autoridad ambiental y otras instituciones competentes en estos temas.

Estrategias componente financiero

1. **Captación de recursos y sostenibilidad financiera del acueducto rural de la vereda Mejía:** mediante esta estrategia se busca modificar la tarifa de pago a los usuarios; una modificación tarifaria que sea una posible solución al problema; sin embargo, llegar a un consenso con la comunidad para implementar estas medidas requiere de un proceso de capacitación y educación constante, para que esta alternativa pueda ser aplicada de manera exitosa.
2. **Inversión social en el territorio de la vereda Mejía:** es necesaria la inversión social en el territorio, de modo que se realice una mejora en el sistema de acueducto, prestando un servicio de calidad a los habitantes; esto requiere la inversión, por parte del gobierno de la región, en la implementación de un sistema básico de acueducto, con los servicios de tratamiento de aguas y recolección de residuos, por medio de estrategias que tengan en cuenta las condiciones técnicas, sociales y económicas de la región.

Conclusiones

A partir del diagnóstico, se pudo identificar las falencias que existen en cada uno de los componentes, identificando problemas de infraestructura, mantenimiento, carencia de un sistema de tratamiento como es el proceso de cloración del agua, que afecta directamente la calidad del agua, siendo esta, no apta para el consumo humano.

Considerando las estrategias planteadas, tanto en beneficio de la junta prestadora del servicio de acueducto como de la comunidad en general, estas son muy accesibles para poder ser implantadas por medio de gestión de proyectos y así, ser presentadas a las entidades encargadas de este servicio.

Referencias

Alcaldía Municipal de Yacuanquer, Nariño. (2016). Plan de Desarrollo 2016-2019. Yacuanquer con equidad. http://www.yacuanquer-narino.gov.co/planes/plan-de-desarrollo-2016-2019-yacuanquer-con-equidad.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2000). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS). https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulob-030714.pdf

Suaza, U. A., Amaya, C. F. y García, J. A. (2017). *Los acueductos como medio para potencializar el desarrollo en las comunidades rurales de Colombia* [Tesis de Especialización, Corporación Universitaria Minuto de Dios]. https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/5433/1/TEGP_SuazaArboledaUrielAlonso_2017.pdf

Programa ecoambiental para las empresas promotoras de turismo en Paicol, Huila

Janitza Endo Reyes[1]

Luis Alexander Carvajal Pinilla

Resumen

El presente trabajo aborda el análisis para el desarrollo de un programa ecoambiental que lleve consigo diferentes estrategias para las empresas que ofrecen servicios de turismo de naturaleza en el municipio de Paicol, Huila. El programa busca dar continuidad sostenible, en términos ambientales, al desarrollo del turismo local y, además, generar beneficios para el medio ambiente y la comunidad en general. Con el fin de mejorar el turismo en las empresas, se realiza mejoras para un turismo sostenible y sustentable, donde se aspira prevenir, mitigar y compensar. En los casos extremos donde no se pueda minimizar el riesgo, el proyecto busca contribuir a la reducción de las amenazas que se han venido presentando sobre los recursos naturales y que han aumentado con el transcurso de los años; no obstante, el programa busca eludir la carga de estrés para los ecosistemas de la región.

Palabras clave: eco-ambiental; turismo sostenible; recursos naturales; ecosistemas.

Introducción

El turismo es uno de los principales sectores económicos a nivel internacional; actualmente, se lleva a cabo nuevas formas de turismo con prácticas de forma sostenible, con la finalidad de mejorar tanto el desarrollo socioeconómico de las comunidades locales a través de su potencial cultural, patrimonial y natural, así como, la conservación de los recursos naturales, culturales y patrimoniales (Orgaz, 2013).

El crecimiento del turismo impone nuevos retos para la sociedad, en los cuales el ser humano desempeña un papel importante; por ejemplo, el de educarse y tener sentido de pertenencia por los bienes, servicios o recursos que la naturaleza provee. En este sentido, paulatinamente, es fundamental generar conciencia ambiental, para poder brindar a las futuras generaciones, un medio ambiente sano y, dejar la enseñanza del respeto y la conservación de la naturaleza.

El ecoturismo se ha vuelto una actividad económica de gran relevancia en áreas naturales de todo el mundo; proporciona oportunidades para que los visitantes experimenten las poderosas manifestaciones de la naturaleza y la cultura y, aprendan acerca de la

[1] Corporación Universitaria del Huila. Ingeniería Ambiental, Neiva, Colombia. Correo: janitza_20182@corhuila.edu.co

importancia de la conservación de la biodiversidad y de las culturas locales. Al mismo tiempo, el ecoturismo genera ingresos para la conservación y beneficios económicos a las comunidades que viven en áreas rurales y remotas (Drumm et al., 2004).

Es esencial articular la educación ambiental con el turismo, para promover el turismo sostenible dentro de la industria del mismo, como una tendencia global creciente para enverdecer la economía (Holle, 2007). Abordar la educación ambiental y el turismo sostenible como ejes del desarrollo humano y el tratamiento que a este campo de acción se les da en los medios informativos, se constituye en elemento de interés para la investigación, pues un tratamiento sistematizado y con responsabilidad social, contribuirá con la resolución de una problemática emergente en el contexto actual (Viteri, 2012).

El municipio de Paicol cuenta con gran biodiversidad y variedad de servicios de turismo, los cuales requieren como componente principal, el cuidado y la conservación del medio ambiente. En la actualidad existen diversas empresas de turismo que acercan a la riqueza y biodiversidad del municipio; por eso, surge la necesidad de implementar un programa ecoambiental que funcione como herramienta de apoyo para las empresas turísticas y, permita la sostenibilidad ambiental, social y económica.

Desarrollo

Área de estudio

El municipio de Paicol está localizado en el departamento del Huila; cuenta con diversas áreas en las que, además de apreciar la belleza de la naturaleza, permite hacer actividades ecológicas.

Metodología

Se realizó un diagnóstico (información característica del municipio, economía, sitios representativos, biodiversidad, factores sociales, económicos y ambientales), con el fin de analizar la situación ambiental y social, tanto del municipio como de las empresas prestadoras de servicios de turismo del lugar.

Para efectuar el diagnóstico y la recolección de datos, se ejecutó visitas técnicas para hacer reconocimiento de los sitios turísticos, poder conocer los impactos generados y el estado del medio ambiente, como consecuencia de las actividades turísticas.

Resultados

Una vez empleado este diagnóstico, se identificó el problema o el foco de la investigación: las empresas no cuentan con programas ecoambientales que hagan de las actividades, una manera sostenible o amigable con el medio ambiente; por el contrario, existe carencia de educación y cultura ambiental.

Discusión

El diagnóstico permitió reconocer las fortalezas y debilidades de las empresas frente al turismo ecológico, mediante la interacción con los representantes y con la comunidad en general. Con el análisis de la situación actual del municipio se logró constatar que es importante implementar un programa ecoambiental para las empresas promotoras de turismo; y, de esta forma, tener un manejo responsable, al promover el turismo como fuente de economía.

El diseño de estrategias potenciales establecidas dentro del programa en mención, es un método para ejecutar el programa; se sugiere variedad de actividades a realizar, para que las prácticas ofrecidas cumplan con el objetivo de brindar un turismo amigable con el medio ambiente y, a la vez, ayuda al crecimiento económico del municipio.

Conclusiones

El diagnóstico y la información obtenida permiten considerar la implementación del programa ecoambiental, teniendo en cuenta que el municipio cuenta con presencia de diferentes empresas que ofrecen el servicio de turismo, para dar a conocer los lugares majestuosos con los que cuenta Paicol, llenos de diversidad de especies, cascadas imponentes, ríos, etc.

Al implementar el programa en cada empresa, lo que se hace es evitar o minimizar los impactos negativos que puedan desprenderse de las actividades ecológicas que se practica a diario, promoviendo un turismo sostenible y, al mismo tiempo, un desarrollo económico, social y ambiental para el municipio.

Referencias

Drumm, A., Moore, A., Terborgh, J., Patterson, C. y Soles, A. (2004). *Desarrollo del Ecoturismo – Un manual para los profesionales de la conservación, Volumen II* (2.ª ed.). The Nature Conservancy.

Holle, K. (2007). El turismo como negocio sostenible: el turismo aumenta su atractivo a través de la reducción en la emisión de gases y otras formas de contaminación. *Perú Económico, 30*(7).

Orgaz, F. (2013). El turismo comunitario como herramienta para el desarrollo sostenible de destinos subdesarrollados. *Nómadas, Revista Crítica de Ciencias Sociales y Jurídicas*, (38). http://dx.doi.org/10.5209/rev_NOMA.2013.v38.42908

Viteri, W. F. (2012). *La educación ambiental informal en medios impresos y la proyección del turismo sostenible en el cantón Patate durante diciembre 2009* [Tesis de Maestría, Universidad Técnica de Ambato]. https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/2507

Alteración del río Suárez en el sector Boca Puente San Luis, por las actividades antrópicas y el vertido de las aguas residuales procedentes del municipio de Puente Nacional Santander

Nelson Andrey Navas Gallo[1]

Ginna Isabel Monsalve Delgado[2]

Resumen

El río Suárez es considerado uno de los afluentes hídricos más importantes del departamento de Santander, pero presenta una problemática ambiental, como muchos otros cauces de Colombia: recibe las aguas residuales, sin ningún tipo de tratamiento o, con un tratamiento nulo de diferentes municipalidades o urbanizaciones. Es así como, este proyecto analiza los impactos ambientales que son generados en el sector Boca Puente San Luis, lugar donde este río recibe las aguas residuales del municipio de Puente Nacional.

Para lograr esta valoración se hizo necesario desarrollar una línea base ambiental de los diferentes medios: abiótico, biótico y social. A través de visitas de campo se ejecutó inventarios de flora y fauna, proseguidos de un análisis de muestras de parámetros: físicos, químicos y biológicos, de acuerdo con la Resolución 0631 del año 2015 y una comparativa agua arriba y aguas abajo respecto al vertimiento municipal. Finalmente, se formuló estrategias ambientales para mitigar, minimizar y/o, prevenir las alteraciones ambientales que son generadas sobre este recurso ambiental.

El método para la valoración de los impactos ambientales fue el de Leopold, con el cual se analizó cada una de las actividades que generan aguas residuales, ya sean de índole doméstica o no doméstica y, la afectación a cada uno de los recursos. Por último, se observa que los resultados de las muestras superan significativamente los indicados por la norma, evidenciando la alteración significativa de este recurso hídrico.

Palabras clave: agua residual; fuente hídrica; impacto ambiental; vertimiento.

[1] Unidades tecnológicas de Santander, Bucaramanga, Colombia. Correo: Ingnavasg14@gmail.com
[2] Unidades tecnológicas de Santander, Bucaramanga, Colombia. Correo: ginaisa29@gmail.com

Introducción

A lo largo del tiempo, la contaminación de los recursos ambientales se ha convertido en una de las grandes problemáticas mundiales; factores tanto naturales como antropogénicos han generado impactos casi irremediables sobre los recursos naturales. En Colombia, a través de los años, se ha reflejado graves afectaciones en la calidad de vida, debido al crecimiento de fuentes de inoculación, pues el desarrollo del país ha causado proyectos, obras e industrias que desencadenan, directa o indirectamente, algún tipo de residuo cuya composición contamina el medio y los recursos, ya sean renovables o no renovables; para estos últimos, su remediación o recuperación se hace más compleja. Dentro del daño a recursos no renovales se encuentra el deterioro del recurso hídrico y la alta vulnerabilidad del agua respecto a los contaminantes. El uso del preciado líquido ha llevado a exponer este tema en tratados internacionales como la Resolución 64/292 de la Asamblea General de las Naciones Unidas (2010) sobre derecho humano al agua, donde se recalca el agua como fuente de vida, y la importancia del saneamiento público.

Las aguas superficiales se han llevado la peor parte en cuanto al tema de la contaminación, pues están más expuestas a vertimientos generados por las distintas industrias o, por desechos domésticos, considerados como uno de los factores que provocan alteración en la calidad del agua. Otro factor que causa la contaminación del agua son los derrames accidentales de petróleo, que afectan a los animales y las plantas acuáticas de forma muy negativa, provocando la muerte de peces y, por ende, generando cambios en los ecosistemas. Por tanto, podemos decir que los principales efectos de la contaminación del agua influyen, fundamentalmente, en la desaparición de los ecosistemas acuáticos (Pérez-Fuentes et al., s.f.).

Sin embargo, el agua subterránea y los acuíferos no se han librado de la contaminación, pues debido a actividades como la producción agrícola a gran escala, donde prima el uso de componentes químicos por medio de filtraciones de estas sustancias por el suelo o, por medio de escorrentía, los plaguicidas, abonos químicos, insecticidas y otros compuestos, llegan directamente al agua subterránea, convirtiéndose en declinadores de la calidad de la misma (Dalpiaz et al., 2018).

Otro gran adversario del planeta y sus recursos, son los residuos sólidos generados por el hombre. El Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE, 2020) en sus datos sobre generación de residuos sólidos posiciona a las industrias, como las mayores generadoras de residuos sólidos, cuya disposición final no siempre es la mejor, pues un gran porcentaje de estos termina en mares, ríos, lagos y océanos, disminuyendo la posibilidad a muchas comunidades, de agua potable o agua para consumo habitual, pues Colombia, como muchos países subdesarrollados, no cuenta con un sistema de plantas de tratamiento de agua residual en las grandes ciudades y, mucho menos, en pequeñas poblaciones (Gómez-Duarte, 2018).

Todos estos factores y/o contaminantes, han generado graves impactos ambientales sobre los recursos naturales, para lo cual se hace necesario efectuar una evaluación

de los mismos, antes de ejercer cualquier actividad sobre el medio, para asegurar su calidad y saber de qué manera dicho proyecto, obra o actividad, los afectará. En este proceso participan varias partes con diferentes intereses y experiencias, centrándose siempre en la preservación, conservación y remediación del medio ambiente (Soto et al., 2018), pues, actualmente, gozar de los recursos naturales forma parte de uno de los derechos primordiales para las personas; y, su deterioro, destrucción, desgaste o destrozo, por las manos humanas, de una u otra forma vulneran tales derechos; en algunos casos, ya los recursos evidencian una muy baja calidad; otras veces, están en condiciones deplorables y, lamentablemente, muchas veces no se puede tener acceso a ellos por el daño causado.

Desarrollo

Metodología

La metodología del proyecto fue descriptiva, con un enfoque tanto cualitativo como cuantitativo. A continuación, se presenta cada una de las fases desarrolladas:

1. **Identificación de la zona de estudio**: a través de visitas, se recolectó información primaria para analizar cada uno de los componentes, tanto bióticos, como abióticos y antrópicos del municipio. De igual forma, se obtuvo información secundaria del Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) (Alcaldía Municipal, 2016). Posterior a ello, se identificó las principales actividades antrópicas del municipio de Puente Nacional.
2. **Caracterización del cuerpo de agua:** para esta fase se realizó un muestreo fisicoquímico de los parámetros en campo, según lo estipulado en la Resolución 0631 de 2015: demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO), pH, temperatura, caudal, sólidos totales, grasas y aceites, con el propósito de analizar los resultados con los valores límites máximos permisibles establecidos en la normatividad mencionada. Las muestras fueron procesadas por un laboratorio acreditado ante el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
3. **Evaluación del impacto ambiental:** producto de la identificación de los impactos ambientales, se hizo la valoración de acuerdo con el método matricial de Leopold, relacionando las intersecciones entre los factores ambientales y las actividades, donde se numera con dos valores: uno indica la magnitud (de -10 a +10) y, el segundo, la importancia (de 1 a 10) del impacto de la actividad respecto a cada factor ambiental.

Resultados y Discusión

La caracterización del río Suárez sector Boca Puente San Luis del municipio de Puente Nacional Santander se llevó a cabo mediante un trabajo de campo donde se realizó la medición del caudal en tres puntos específicos: uno, en el vertimiento, con el método volumétrico y dos, sobre el río: uno aguas arriba y otro aguas abajo, para los cuales se utilizó el método de flotador, datos que fueron plasmados en la Tabla 1, a continuación:

Tabla 1

Caudales registrados en el río Suárez

Lugar	Método utilizado	Resultado (L/s)
Vertimiento	Volumétrico	6,660 L/s
Aguas arriba	Flotador	$1,87x10^{-5}$ L/s
Aguas abajo	Flotador	$1.95x10^{-5}$ L/s

Fuente: elaboración propia

De igual forma, se hizo la toma de muestras significativas en el sitio de estudio, las cuales fueron sometidas a un análisis por parte del laboratorio acreditado; los resultados arrojados fueron sometidos a una comparación con la Resolución 631 de 2015, la cual se muestra en la Tabla 2 y permite observar cuáles de los parámetros cumplen con la legislación vigente para Colombia.

Tabla 2

Comparación: resultados obtenidos y Resolución 631 de 2015

Parámetro	Valor Resolución 631 de 2015	Valores dados en el monitoreo	Cumple	No cumple
DBO_5 (mg/L de O_2)	90	328		X
DQO (mg/L de O_2)	180	1.149		X
Sólidos totales (mg/L)	90	199		X
Grasas y aceites (mg/L)	20	48,1		X

pH Unidades de pH	6-9	7,01	X	
Coliformes (NMP / 100 mL)	N/A	$3{,}30 \times 10^{7}$		X

Fuente: elaboración propia

Los resultados arrojados por el laboratorio indicaron que, el valor de DBO_5 y DQO supera significativamente los límites permisibles por la Resolución 631 de 2015, planteando que estas alteraciones son derivadas de las empresas de los bocadillos en sus procesos de producción, de los químicos usados para los procesos de agricultura y de los residuos provenientes de talleres automotores, ya que se ubican aledaños a la zona de descarga. Por otra parte, el resultado obtenido para sólidos totales dobla el valor permitido por la normativa, especulando que, el posible generador de esta alteración sean las mejoras viales que se están realizando en el municipio, al igual que las construcciones de nuevas viviendas.

Como indica Romero (2004), la biodegradabilidad del agua puede ser poca o, muy biodegradable; según una comparativa establecida con el autor, el agua de la fuente hídrica del río Suárez, se considera biodegradable. Para la evaluación de los impactos ambientales, se inició con una identificación de las actividades desarrolladas en Puente Nacional, las cuales se puede evidenciar en la Tabla 3 (Arboleda, 2008).

Tabla 3

Identificación de las actividades desarrolladas en el municipio

Agricultura
Actividades recreacionales (Balnearios)
Generación de aguas residuales domésticas (ARD)
Arreglos viales
Construcción de viviendas
Ganadería
Fabricación de bocadillos
Automotores
Porcicultura

Fuente: elaboración propia

Para la evaluación de los impactos directos e indirectos, se efectuó una lista de chequeo de los mismos, evaluando su incidencia con cada actividad realizada en el municipio de Puente Nacional, como se aprecia en la Tabla 4.

Tabla 4

Matriz de Evaluación de impactos

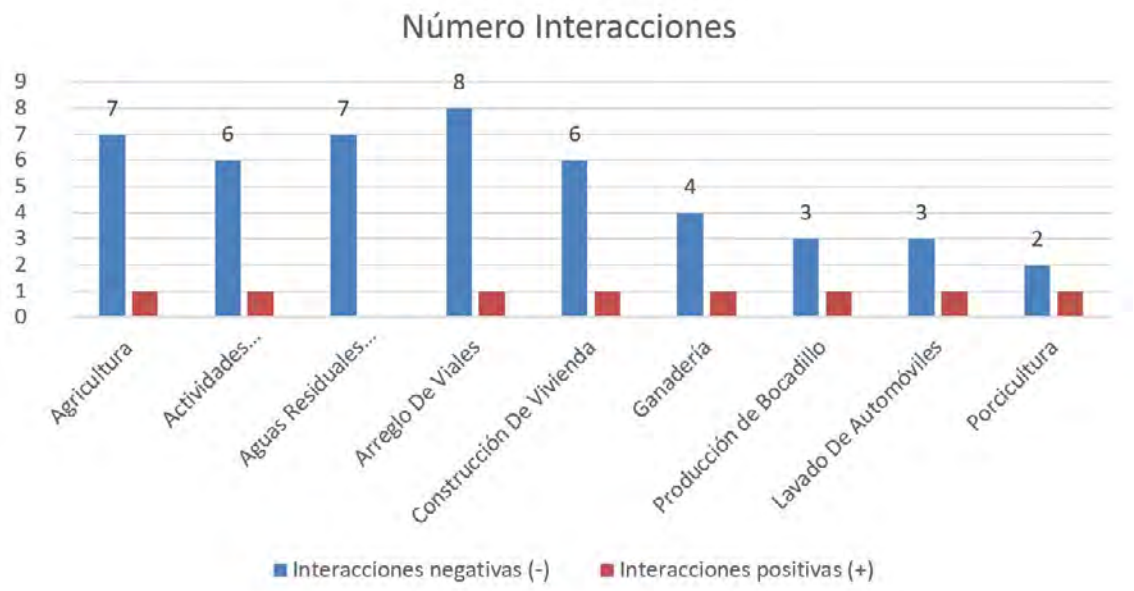
Actividades que generan impactos ambientales	Medio Abiótico					Medio Biótico			Medio socio económico		Síntesis			
	Suelos	Hidrología	Calidad del aire	Ruido	Paisaje	Ecosistema Acuático	Fauna	Flora	Económico	Adaptación cultural	Número de Interacciones +	Número de Interacciones -	∑ +	∑ -
Agricultura	X	X	X		X	X	X	X	X		1	7	12	204
Actividades Recreacionales (Balnearios)	X	X			X	X		X	X	X	1	6	35	156
Generación de ARD	X	X	X		X	X	X	X			0	7		210
Arreglos viales	X	X	X	X	X	X		X	X		1	8	42	163
Construcción de vivienda	X	X	X	X	X				X		1	6	42	133
Ganadería	X	X				X		X	X		1	4	42	88
Producción de bocadillo		X	X			X			X		1	3	56	78
Lavado de automóviles	X	X				X			X		1	3	15	70
Porcicultura	X	X							X		1	2	25	32
Interacciones +									8		8			
Interacciones -	8	9	6	2	5	7	2	6	0	1		46		
∑ +									269	35			269	
∑ -	268	319	101	24	98	173	42	74	0	35				1134

Fuente: elaboración propia

Producto de la evaluación, se obtuvo las interacciones en cada una de las actividades desarrollas en el municipio. Según la Figura 1, se plasma que las actividades pertinentes a arreglos de viviendas, la construcción y la generación de aguas residuales, son las actividades que más impactos generan.

Figura 1

Número de interacciones



Fuente: elaboración propia

En el análisis de la evaluación de impactos ambientales se obtuvo la síntesis de las variaciones positivas y negativas, como se plasma en la Tabla 5 y Figura 2. Se determina que, la actividad que más alteraciones negativas provoca es la generación de aguas residuales, tanto domésticas como no domésticas, representando este tipo de residuos, un gran problema para los ecosistemas y la salud de los habitantes aledaños a la zona.

Tabla 5

Síntesis de la evaluación de impactos ambientales

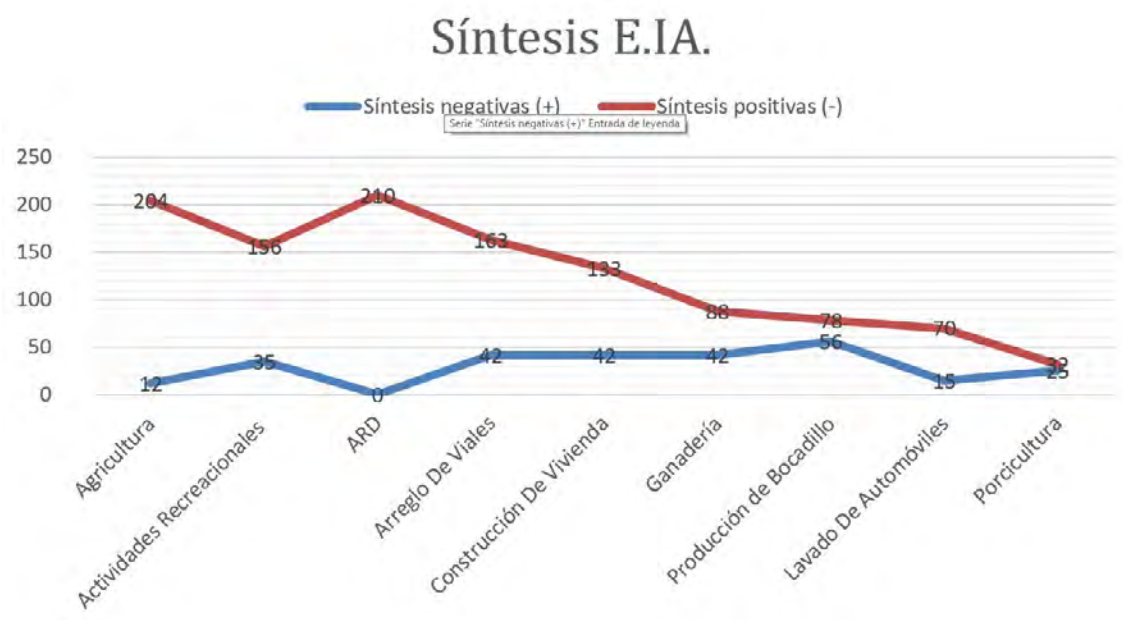
Actividades identificadas en la zona objeto de estudio	Síntesis negativas (+)	Síntesis positivas (-)
Agricultura	12	204
Actividades recreacionales	35	156

ARD	0	210
Arreglos viales	42	163
Construcción de vivienda	42	133
Ganadería	42	88
Producción de bocadillo	56	78
Lavado de automóviles	15	70
Porcicultura	25	32

Fuente: elaboración propia

Figura 2

Síntesis de la evaluación de impactos ambientales



Fuente: elaboración propia

Conclusiones

Según los análisis realizados a la fuente hídrica río Suárez, sector Boca Puente San Luis del municipio de Puente Nacional Santander, los parámetros como DQO Y DBO_5 superan notablemente los valores permitidos, según la normativa vigente para Colombia: Resolución 631 de 2015.

Mediante la EIA se infiere que, hace falta la puesta en marcha de la implementación de nuevas tecnologías que permitan el tratamiento de las aguas residuales antes de ser vertidas directamente en los cuerpos de agua, al igual que, un plan maestro de alcantarillado, ya que el municipio carece de uno. También, se debe hacer la ampliación de las redes de alcantarillado con las que no cuentan los tres sectores: Monserrate, Las Cuatro y La Floresta, que hacen parte del casco urbano, con el fin de que exista un solo punto de vertimiento y así, poder disminuir la contaminación de las descargas en los cuerpos hídricos, aplicando un único tratamiento de aguas residuales para todos los sectores del municipio.

Referencias

Alcaldía Municipal. (2016). Plan de Desarrollo Municipal 2016-2019. https://cpd.blob.core.windows.net/test1/68572planDesarrollo.pdf

Arboleda, J. A. (2008). Manual de Evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades. https://es.slideshare.net/eliaalejo1/manual-eia-jorge-arboleda-1

Dalpiaz, M. J., Milesi, L. A. y Andriulo, A. E. (2018). Estimación del riesgo de contaminación del agua subterránea por plaguicidas en suelos de la Pampa Ondulada. *Revista de Tecnología Agropecuaria RTA*, *10*(37), 51-53.

Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE). (2020). Encuesta Ambiental Industrial (EAI). https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/EAI/2020/bol_EAI_2020.pdf

Gómez-Duarte, O. (2018). Contaminación del agua en países de bajos y medianos recursos, un problema de salud pública global. *Revista de la Facultad de Medicina*, *66*(1), 7-8. https://doi.org/10.15446/revfacmed.v66n1.70775

Naciones Unidas. (2010). Asamblea General. Resolución aprobada por la Asamblea General el 28 de julio de 2010. https://digitallibrary.un.org/record/687002/files/A_RES_64_292-ES.pdf

Pérez-Fuentes, M. C., Gázquez, J. J., Molero, M. M., Barragán, A. B., Martos, Á., Simón, M. M. y Sisto, M. (Comp.). (s.f.). *Avances de investigación en salud a lo largo del ciclo vital. Volumen II*. ASUNIVEP.

Resolución 0631 de 2015. (2015, 17 de marzo). https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-631-de-2015/

Romero, J. (2004). *Tratamiento de Aguas Residuales - Teoría y Principios de Diseño*. Escuela Colombiana de Ingeniería.

Soto, V. C., Suárez, N. H., y Arrieta, S. C. (2018). Análisis comparativo de los métodos de evaluación de impacto ambiental aplicados en el subsector vial en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, *RIAA*, *9*(2), 281-294.

Gestión Ambiental Pública para el desarrollo de la acuicultura de pequeña y mediana escala en Chile

Christian Díaz Peralta[1]

Catterina Sobenes Vennekool[2]

Francisca Sandoval Martínez[3]

Carolina Moya Pérez[4]

Resumen

El objetivo de este trabajo fue describir y establecer una guía de la gestión ambiental pública para la presentación de proyectos productivos del cultivo de algas o moluscos en Chile, de pequeña y mediana escala. Se revisó la normativa y se identificó los antecedentes establecidos en el Reglamento del Sistema de Evaluación Ambiental para los contenidos mínimos comunes y específicos de la Declaración de Impacto Ambiental, junto con los criterios técnicos correspondientes a los permisos ambientales sectoriales y estudios ambientales. De igual forma, se identificó que participan al menos cinco normativas relacionadas y siete servicios públicos. La aplicación de las normativas en los proyectos de *Crasssotrea gigas* y *Durvillaea antarctica* genera, respectivamente, una disminución del VAN en 82,6 %, y 54 %; en la TIR 35,1 % y 33,5 % y los costos fijos incrementan en 10,4 % en ambos casos, y aumenta el capital de trabajo en 9,1 % y 9,6 %, respectivamente. En conclusión, la gestión ambiental pública para el desarrollo de acuicultura de algas o moluscos de pequeña y mediana escala es un proceso técnico y normativo de alta complejidad, debido a las autorizaciones de los distintos organismos públicos de Chile, lo cual se trasforma en una barrera para la sustentabilidad económica de la actividad productiva.

Palabras clave: acuicultura de pequeña escala, gestión pública acuícola, Chile.

[1] Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de la Santísima Concepción. Centro de Investigación en Biodiversidad y Ambientes Sustentables (CIBAS), Universidad Católica de la Santísima Concepción. Correo electrónico: chdiaz@ucsc.cl

[2] Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de la Santísima Concepción. Centro de Investigación en Biodiversidad y Ambientes Sustentables (CIBAS), Universidad Católica de la Santísima Concepción. Correo electrónico: csobenes@ucsc.cl

[3] Magister en Medio Ambiente, Facultad de Ingeniería y Facultad de Ciencias, Universidad Católica de la Santísima Concepción. Correo electrónico: francisca.sandoval@ucsc.cl

[4] Consultora Cabaltué, Chile. Correo electrónico: carolina@cabaltue.cl

Introducción

En Chile, la acuicultura ha presentado un crecimiento sostenido durante el último quinquenio, con un incremento de las cosechas, entre 2015 y 2020, que alcanzó una tasa de crecimiento de 126,4 % (Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, 2015; 2020), con cosechas de 582.100 ton a 1.318.000 ton a finales de 2020. Este sector económico se sustenta en especies principales salmonídeas que han sido las dominantes tanto en toneladas de cosecha como en los volúmenes y valores de exportación (Salgado et al., 2015); las especies secundarias son moluscos bivalvos y algas marinas (Santos y Ramos, 2018). Este crecimiento de la industria acuícola y las exigencias de los mercados destino han configurado la necesidad de disponer de un marco regulatorio actualizado y con un enfoque en la sustentabilidad ambiental.

Estas nuevas normativas también aplican para la acuicultura de pequeña y mediana escala de moluscos y algas, actividad que, en Chile, según se establece en la Ley General de Pesca y Acuicultura de Chile (Ley 18892/1989), se puede emplazar en diferentes espacios marítimos regulados, a saber: concesiones de acuicultura, permiso de escasa importancia (PEI), espacios marinos costeros de pueblos originarios (ECMPO), y áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos (AMERB). Dependiendo del volumen de producción y la superficie de cultivo de los proyectos, estos pueden clasificar para ser presentados al Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), con el fin de describir la línea base de la zona de emplazamiento del proyecto y evaluar el impacto ambiental de los mismos. Para ciertas condiciones de volumen y superficie, algunos proyectos de acuicultura deben ingresar al SEA, mediante una declaración de impacto ambiental (DIA), ya que no generan efectos, características o circunstancias del Art. 11 de la Ley 19300/1994 (Ley de Bases del Medio Ambiente de Chile).

En este contexto, la aplicación de la gestión ambiental pública de proyectos acuícola marinos de pequeña y mediana escala se ha transformado en una condición de restricción para los productores, debido a la complejidad de los procesos administrativos públicos y al impacto económico a las inversiones y costos que deben cubrir para el estudio de impacto ambiental y las exigencias ambientales y sanitarias para el desarrollo de la actividad acuícola. Los proyectos de evaluación de impacto ambiental son elaborados y coordinados por consultoras privadas; dichos proyectos deben cumplir con las actuales normativas chilenas junto con desarrollar los estudios necesarios para ingresar una DIA al SEA. Esto ha generado que los productores pequeños y medianos se desmotiven al momento de realizar proyectos de acuicultura a pequeña escala (APE), ya que desconocen la estructura de la DIA y el proceso de tramitología para presentar la iniciativa en el SEA.

Considerando la problemática anterior, el presente artículo tiene como objetivo describir la gestión ambiental pública aplicada a la acuicultura en Chile y su impacto económico en los proyectos de acuicultura de pequeña y mediana escala de moluscos y algas.

Desarrollo

Aspectos metodológicos generales

El presente trabajo se focaliza en describir el marco normativo e instituciones públicas asociadas a proyectos de acuicultura marina costera de moluscos y algas en Chile, considerando como grupo objetivo a los pescadores artesanales y acuicultores de pequeña y mediana escala, que, por las características productivas, clasifican para ser sometidos al SEA. Para evaluar el efecto económico del cumplimiento de la normativa ambiental, se consideraron proyectos de cultivo para las especies de molusco ostra del Pacífico (*Crassostrea gigas*) y la macroalga cochayuyo (*Durvillaea antarctica*) y la infraestructura de operación en el mar y tierra, según Universidad Católica de la Santísima Concepción (2015).

Normativa ambiental y acuícola en la acuicultura marina de pequeña y mediana escala

El marco jurídico principal asociado a la normativa ambiental, acuícola y sanitaria en Chile se centra en los siguientes cuerpos normativos:

i. Constitución Política de la República de Chile (D.S. N°100/1980) establece, en el artículo 19, N.º 8, el derecho de vivir en un medio ambiente libre de contaminación; es deber del Estado velar para que este derecho no sea afectado y tutelar la preservación de la naturaleza; y art. 19 N.º 9, el derecho a la protección de la salud.

ii. Ley General de Pesca y Acuicultura (Ley Nº 18892/1989) y sus modificaciones (Ley 21370/2021), corresponde al marco regulatorio para la administración sustentable de los recursos hidrobiológicos, considerando las regulaciones pesqueras e innovaciones en el ordenamiento de la actividad pesquera y acuícola. Esta ley se basa en el enfoque ecosistémico y en los principios de sostenibilidad y precautorio.

iii. Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente (Ley 19300/1994) establece la regulación ambiental, considerando el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental. De esta manera, establece y regula los instrumentos de gestión ambiental como la evaluación ambiental estratégica (EAE), el sistema de evaluación de impacto ambiental (SEIA) y el acceso a la información ambiental, la responsabilidad por daño ambiental, la fiscalización y el Fondo de Protección Ambiental y la institucionalidad ambiental de Chile.

iv. Decreto 40/2012 Reglamento del Sistema de Evaluación del Impacto Ambiental establece las disposiciones por las cuales se regirá el sistema de evaluación de impacto ambiental y la participación de la comunidad en el proceso de evaluación de impacto ambiental, de conformidad con los preceptos de la Ley 19300/1994.

v. Decreto Supremo 320/2001 establece el Reglamento Ambiental para la Acuicultura (RAMA); en el artículo 3, se constituyen los instrumentos para la conservación y evaluación de las capacidades de los cuerpos de agua, los requisitos de operación previstos en las normas generales y especiales del mismo.

vi. Resolución Exenta 3612/2009 establece los contenidos y metodologías de análisis para la elaboración de la caracterización preliminar de sitio y de la información ambiental a que se refieren los artículos 2 letras e) y p) y 15 del Decreto Supremo 320/2001.

La implementación de estas normativas se realiza por una institucionalidad pública chilena que tiene como objetivo gestionar las autorizaciones de los proyectos de acuicultura:

i. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA, s.f.). Su misión corresponde a "regular y administrar la actividad pesquera y de acuicultura, a través de políticas, normas y medidas de administración, bajo enfoque precautorio y ecosistémico que promueva la conservación y sustentabilidad de los recursos hidrobiológicos para el desarrollo productivo del sector" (párr. 1), depende del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo.

ii. Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA, s.f.). Tiene como misión "contribuir a la sustentabilidad del sector y a la protección de los recursos hidrobiológicos y su medio ambiente, a través de una fiscalización integral y gestión sanitaria que influye en el comportamiento sectorial promoviendo el cumplimiento de las normas" (párr. 1), depende del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo.

iii. Servicio de Evaluación Ambiental (SEA, s.f.). Su misión corresponde a:

Contribuir al desarrollo sustentable, la preservación y conservación de los recursos naturales y la calidad de vida de los habitantes del país, por medio de la gestión del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, asegurando una calificación ambiental transparente, técnica y eficiente en coordinación con los organismos del Estado, fomentando y facilitando la participación ciudadana en los procesos de evaluación, con el propósito de mitigar, compensar y/o reparar los impactos ambientales significativos. (párr. 1)

Pertenece al Ministerio del Medio Ambiente.

iv. Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante (Armada de Chile DIRECTEMAR, s.f.). Le corresponde la fiscalización del cumplimiento de las leyes y acuerdos marítimos internacionales vigentes, para dar seguridad de navegación, proteger la vida humana en el mar, preservar el medio ambiente acuático y los recursos naturales marinos y fiscalizar las actividades que se desarrollan el ámbito de la jurisdicción, con el propósito de contribuir al desarrollo marítimo de la nación, depende de la Armada de Chile.

v. Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA, s.f.). Constituye el servicio oficial, técnico y permanente del Estado en materias de hidrografía y oceanografía. Su misión es "proporcionar elementos técnicos, informaciones y asistencia técnica destinada a dar seguridad a la navegación en las vías fluviales y lacustres, aguas interiores, mar territorial y en alta mar contigua al litoral de Chile" (párr. 1), pertenece a la Armada de Chile.

Considerando este marco normativo e institucionalidad pública, a continuación, se detallan los componentes de la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) para el cultivo de algas y moluscos, acorde con art. 3, Letra n, del Decreto Supremo 40/2012 (ver Tabla 1), donde se indica los límites de producción y superficie para que un proyecto acuícola ingrese al SEA.

Tabla 1

Límites de producción (ton) y superficie (ha) por recurso biológico establecido en el D.S. 40/2012, Art. 3, Letra n

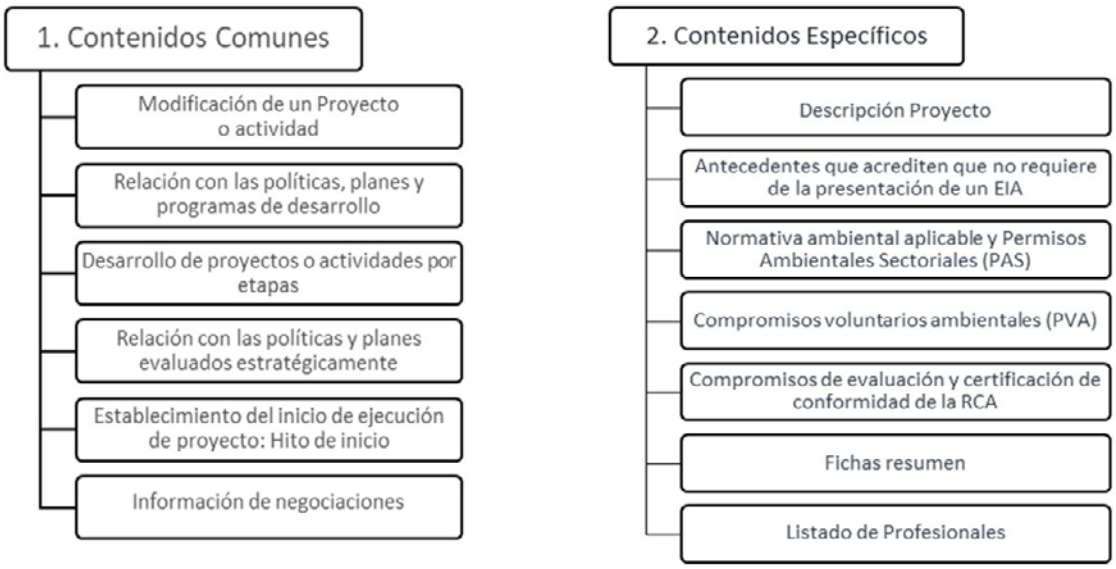
Letra	Recurso	Sistemas de producción	Superficie (Ha.)	Producción anual (ton)
n1	Macroalgas	Extensivo	≥ 10	≥ 500
n2	Moluscos filtradores	Extensivo	≥ 6	≥ 300
n3	Equinodermos, crustáceos y moluscos no filtradores, peces y otras especies	Intensivo	≥ 6	≥ 35

Fuente: elaboración propia

En la DIA, se establecen los criterios técnicos solicitados para la presentación del proyecto ante el Servicio de Evaluación Ambiental, tanto para los contenidos mínimos como los específicos (ver Figura 1).

Figura 1

Contenidos mínimos comunes y específicos que contiene una Declaración de Impacto Ambiental en proyectos de cultivos marinos para moluscos y algas según el Decreto Supremo 40/2012



Fuente: Elaboración propia.

Los contenidos comunes acordes con los artículos 12 al 17 del Decreto Supremo 40/2012, establece que la DIA debe contener lo siguiente:

a. Indicar si el proyecto sometido corresponde a una modificación, de ser así, indicar las Resolución de Calificación Ambiental (RCA) del proyecto o actividad que se verá modificado e indicando de qué forma.

b. Presentar las relaciones entre el proyecto o actividad con las políticas, planes y programas de desarrollo regional, así como los planes de desarrollo comunal del área de influencia (AI). Para ello, se presenta un formato tipo, que contendrá la relación indicada para describir la evaluación, tanto en los aspectos que se ven favorecidos, neutral o perjudicados por el proyecto. Esto último se presenta de manera general, ya que como se indicó anteriormente, estas relaciones pueden variar según el territorio donde se emplace el proyecto.

c. Respecto al desarrollo del proyecto por etapas, se debe indicar que no se pueden fraccionar los proyectos, en tanto, si se declara que el proyecto se realizará por etapas por razones fundadas, estas deben ser descritas con sus objetivos, obras o acciones asociadas y las razones o circunstancias que dependen para realizarse así, como también la duración estimada de cada una.

d. Considerar las políticas y planes evaluados estratégicamente que estén relacionados con el proyecto en la compatibilidad, actividades del uso del territorio (instrumentos de planificación) y los objetivos de tales políticas y planes. Se debe describir la relación de cada etapa del proyecto con políticas, planes y programas de desarrollo regional y comunal.

e. Se deberá indicar el acto o faena mínima que dé cuenta del inicio de la ejecución de modo sistemático y permanente del proyecto (hito de inicio del proyecto).

f. Se deberá informar a la autoridad ambiental, en caso de existir, antes del ingreso al proceso de evaluación, negociaciones o intereses con los interesados, con el objeto a acordar medidas de mitigación o compensación ambiental. De ser así, se debe individualizar a las personas, presentar el contenido y resultado. De igual manera, se debe informar, al Director Regional de SEA, si estas negociaciones se realizan durante el proceso de evaluación ambiental.

Respecto a los contenidos específicos, según la Figura 1, estos se encuentran descritos en el artículo 19 del Decreto Supremo 40/2012, que se sintetizan a continuación:

a. Describir antecedentes generales y tipo de proyecto a desarrollar (moluscos y algas).

b. Se debe acreditar, según los antecedentes técnicos, que el proyecto en cuestión no requiere la presentación de un estudio de impacto ambiental (EIA); por tanto, se detallarán los estudios ambientales junto con sus contenidos técnicos necesarios para descartar los efectos, características o circunstancias del Art. 11 de la Ley 19300/1994 y los Art. 6 al 10 del Decreto Supremo 40/2012.

c. Se establece la documentación y antecedentes que acrediten el cumplimiento de la normativa ambiental aplicable y los permisos ambientales sectoriales (PAS) pertinentes a la tipología de proyecto, según corresponda, de acuerdo con lo establecido en el Decreto Supremo 40/2012.

d. Se deben presentar los compromisos ambientales voluntarios mediante una ficha que incorpora indicadores de cumplimiento en el tiempo.

e. Se debe presentar el compromiso de someterse a un proceso de evaluación y certificación de conformidad de la RCA.

f. Se presenta una ficha resumen que contiene, en forma resumida, los antecedentes expuestos anteriormente, según formato del SEA.

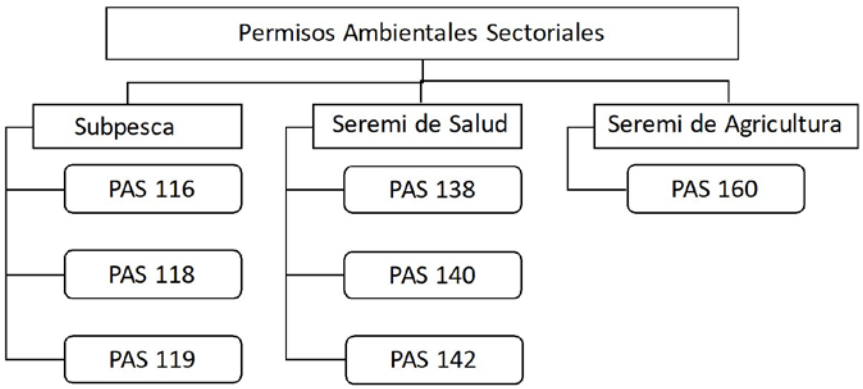
g. Por último, debe generar un listado que contenga los nombres de las personas

que participaron en la elaboración de la DIA, incluyendo profesionales y tareas específicas que desarrollaron, según formato tipo.

Para presentar la DIA, como se indicó en el punto c, se debe considerar los PAS que se obtiene de tres servicios públicos para este tipo de proyectos acuícolas. En la Figura 2, se presenta la dependencia de los PAS con los respectivos servicios.

Figura 2

Dependencia administrativa pública de los permisos ambientales sectoriales (PAS) para un proyecto de acuicultura marina de pequeña y mediana escala en Chile



Fuente: elaboración propia

Acorde con la Figura 2, de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (Subpesca) dependen los PAS 116, referidos al permiso para realizar actividades de acuicultura, será el establecido en la Ley 18.892/1989 y sus modificaciones; PAS 118, relacionado con el permiso para realizar actividades de acuicultura en áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos, será el establecido en el artículo 7 del Decreto Supremo 314/2004, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, Reglamento de Actividades de Acuicultura en Áreas de Manejo y Explotación de Recursos, y PAS 119, con relación al permiso para realizar pesca de investigación, necesaria para el seguimiento de las poblaciones de especies hidrobiológicas, según la Ley 18892/1989 y sus modificaciones.

Por su parte, de la Secretaría Regional del Ministerio de Salud (Seremi de Salud) depende el PAS 138, que se relaciona con el permiso para la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier obra pública o particular destinada a la evacuación, tratamiento o disposición final de desagües, aguas servidas de cualquier naturaleza, según la Ley 725/1967 que establece el Código Sanitario del Ministerio de Salud; PAS 140, referido a la obtención del permiso para la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier planta de tratamiento de basuras y desperdicios de cualquier clase, o para la instalación de todo lugar destinado a la acumulación, selección, industrialización, comercio o disposición final de basuras y desperdicios de cualquier clase, según el Código Sanitario, y el PAS 142, con el cual se obtiene permiso para la construcción de sitios

de almacenamiento de residuos peligrosos, según el Decreto Supremo 148/2003, que establece el Reglamento Sanitario sobre manejo de residuos peligrosos.

Finalmente, la Secretaría Regional del Ministerio de Agricultura (Seremi de Agricultura) otorga el PAS 160, relacionado con el permiso para subdividir y urbanizar terrenos rurales para complementar alguna actividad industrial con viviendas, dotar de equipamiento algún sector rural, así como para las construcciones industriales, de equipamiento, turismo y poblaciones fuera de los límites urbanos, según la Ley 458/1975 sobre Urbanismo y Construcciones del Ministerio de la Vivienda y Urbanismo.

Evaluación del impacto económico de la normativa ambiental aplicable en proyectos de acuicultura de pequeña escala (APE)

Las especies seleccionadas para evaluar el impacto económico de la normativa ambiental en el desarrollo de la APE en Chile son las siguientes: *Crassostrea gigas* (ostra del Pacífico) y *Durvillaea antarctica* (cochayuyo), las cuales se caracterizan por su valor comercial para el consumo humano. El cultivo se inicia con semillas obtenidas desde *hatchery*, que provee el sector privado, y su posterior crecimiento en una zona costera apta para el cultivo.

Las tecnologías de cultivo suspendido son conocidas y diseñadas bajo el supuesto de una operación en un sitio con una profundidad máxima de 20 m, velocidades de corriente menores a 1 nudo y con un fondo marino; no cambia en el periodo de evaluación.

La evaluación de prefactibilidad económica asume que la actividad comercial se desarrolla en un mercado oligopolista, donde los productos cultivados son similares entre los oferentes, los productores reducen costos mediante economías de escala, y la principal barrera de ingreso de una nueva empresa a la actividad es la elevada inversión y la escasa disponibilidad en el corto plazo de concesión marina y/o AMERB.

La evaluación económica realizada incorpora economías de escala en los costos fijos y en la inversión inicial de infraestructura y equipamiento, se asumió una producción constante en el horizonte de evaluación. No se consideran tasas de crecimiento anual de la producción debido a que el objetivo fue realizar una evaluación económica que permita estimar el impacto de la normativa ambiental en el mediano plazo. El horizonte de evaluación fue 5 años.

La evaluación económica a nivel de prefactibilidad se realizó con base en una zona del borde costero de 10 hectáreas para *C. gigas* y de 6 hectáreas para *D. antarctica* (ver Tabla 1), a fin de estar en el límite de la producción para someterse al sistema de evaluación ambiental (Decreto Supremo 40/2012, Art. 3, Letra n).

Metodología de evaluación económica

Se aplicó una metodología de evaluación económica común para las dos especies. Se consideró como inversión inicial la construcción de un galpón o bodega en tierra, y una plataforma de trabajo para ser instalada en el mar. Además, se consideró la inversión de una embarcación de 9 m de eslora y su equipamiento, motor fuera de borda, compresor y equipo de buceo.

Estructura de la evaluación económica

Por cada especie y tecnología seleccionada se estimaron los siguientes elementos para construir el flujo de caja, en dólares estadounidense (US$):

a. **Inversión de la tecnología seleccionada**: se estimaron las principales inversiones en la construcción de la tecnología de cultivo, agrupándolos en sistema de fondeo, de flotación, de crecimiento y de armado e instalación.

b. **Inversión en primera siembra**: según la especie objetivo, se estimaron los parámetros de producción como densidad de siembra, mortalidad y/o desprendimiento. Además, se consideró el precio de venta de semilla, mediante consulta a proveedores de la zona norte, centro y sur del país.

c. **Costos fijos**: se incorpora la contratación de personal a plazo indefinido de un encargado de centro, un buzo, vigilante y operario (personal permanente). Se asume que estas contrataciones cumplen con la actual normativa de leyes sociales y de mutualidad. Además, se estima el costo de mantenimiento en un 3 % de la inversión inicial, costo en patente por concesiones de acuicultura (pago a las arcas públicas por uso de zonas de playa, terrenos de playa, porción de agua y fondo, rocas donde se cultivan las especies o grupos de especies hidrobiológicas, indicadas en la correspondiente resolución o autorización), y costo de administración y ventas.

d. **Costos variables**: consideran los costos de cosecha y siembra anual (incluye personal eventual por faena), mantenimiento de las unidades de crecimiento, seguros de las inversiones y de la producción.

e. **Precio de transferencia**: este precio asume la transacción entre agentes no relacionados, es decir, son independientes. El criterio adoptado para fijar el precio de transferencia fue adicionar un porcentaje variable a los costos de producción unitarios, considerando el precio de los productos desembarcados por extracción. Se asume el precio de transferencia del producto puesto en el muelle, una vez cosechado.

f. **Estimación de producción**: para cada especie, se considera la producción por año asumiendo una mortalidad o desprendimiento del ciclo productivo.

g. **Inversión en capital de trabajo**: con el propósito de asegurar la operación del proyecto, se utilizó la metodología del déficit acumulado máximo modificada (Sapag, 2011). Se calculó, mensualmente durante el primer año, los flujos de ingresos y egresos proyectados y se determinó su cuantía como el equivalente al déficit acumulado máximo adicionando el costo total de operación del mes

siguiente. Se aplicó esta modificación al método como una forma de acercase a la realidad, ya que, por la experiencia de los autores en trabajo de campo, se buscó minimizar los riesgos en imprevistos operacionales, propio de este tipo de actividades productivas, que conllevan la falta de liquidez durante la operación.

h. **Depreciación**: Se estimó la vida útil en 5 años para los sistemas de flotación y fondeo, embarcación y compresor, y 10 años para el galpón y motor, acorde con el Servicio de Impuestos Internos de Chile.

i. **Impuesto a las utilidades**: Se consideró una tasa de impuesto de primera categoría del 27,0 % para el periodo de evaluación, según la norma tributaria.

j. **Valor de salvamento**: Como valor de liquidación se estimó el 80 % de activos en operación en tecnologías e infraestructura y equipamiento corregido por los potenciales flujos futuros (Sapag, 2011).

k. **Tasa de costo del capital**: Se estimó una tasa base más la tasa de riesgo sistemático, equivalente a 12,0 % (Zúñiga y Soria, 2009).

Indicadores económicos

Se estimaron tres indicadores económicos, a saber:

i. **Valor actual neto (VAN):** Corresponde a la actualización de los flujos futuros estimados a cinco años.

ii. **Tasa Interna de Retorno (TIR):** Corresponde a la tasa de descuento cuando el VAN se hace cero.

iii. **Ingreso Mensual per cápita (IMC):** A partir del VAN se estimó el ingreso mensual y se dividió por los distintos números de socios de la organización o empresa, representado mediante un gráfico de dispersión.

Resultados de la evaluación económica de efectos normativa para proyectos APE

En la Tabla 2 se presenta los parámetros operacionales para el cultivo de *C. gigas* y *D. antarctica*. Los sistemas de cultivo son *longline* simple para *C. gigas* y *longline* triple para *D. antarctica*. En las unidades de crecimiento y en la densidad de siembra, se aplicaron parámetros utilizados por el sector industrial acuicultor chileno.

Tabla 2

Parámetros operacionales del cultivo marino de C. gigas y D. antarctica

Item	*Crassostrea gigas*	*Durvillaea antarctic*a
Tecnología de cultivo	*Longline* simple	*Longline* triple
Unidad de crecimiento	Bandejas	Línea

Densidad de siembra	36 semilla/bandeja	2 plántulas/m lineal
Número de *longline* por hectáreas	2	2
Mortalidad/Desprendimiento (%)	5	10

En la Tabla 3 se presenta una síntesis de las inversiones, costos fijos y variables e indicadores económicos con y sin la aplicación de las normativas ambientales para cada tipo de recurso cultivado. En la parte inferior de la Tabla se muestra los cambios que se producen sin la aplicación de la normativa.

Tabla 3

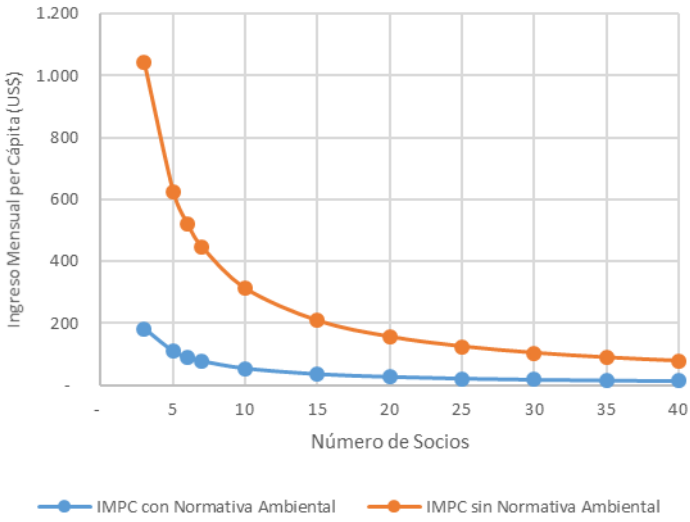
Inversiones, costos, precios e indicadores económicos por tipo de cultivo marino con y sin aplicación de normativa ambiental para los recursos C. gigas y D. antarctica

Ítem	***Crassostrea gigas***	***Durvillaea antarctica***
Con normativa ambiental	**Valor (US$)**	**Valor (US$)**
Inversiones		
Sistemas de cultivos	5.006	2.316
Infraestructura	3.951	4.074
Equipamiento	10.556	9.691
Primera siembra	6.222	593
Capital de trabajo	44.251	38.848
Normativa ambiental	14.072	7.407
Costos Fijos	51.476	50.366
Costos Variables	7.525	1.431
Depreciación anual	1.753	1.596
Precio por kilo	6,17	0,36
VAN (12 %)	**6.531**	**17.759**
TIR (%)	**13,3**	**18,2**
Sin Normativa Ambiental		
Capital de trabajo	**40.224**	**35.516**
Costos fijos	**46.107**	**45.923**
VAN (12 %)	**37.477**	**39.131**
TIR (%)	**20,5**	**27,4**

En el cultivo de *C. gigas* se observa que, aplicar la normativa (Res. Ex. 3612/2009 y el D.S. 40/2014) genera una disminución del valor actual neto de 82,6 % y en la TIR en 35,1 % respecto a la situación sin normativa ambiental aplicada. Los costos fijos incrementan en un 10,4 % y el capital de trabajo aumenta en 9,1 %. Estos cambios afectan directamente al ingreso mensual per cápita de los posibles socios de una organización que desarrolla el cultivo (ver Figura 3).

Figura 3

Ingreso mensual per cápita (US$) para el cultivo marino de Crassostrea gigas con y sin aplicación de la normativa ambiental, según el número de socios de la organización que participan en el ingreso

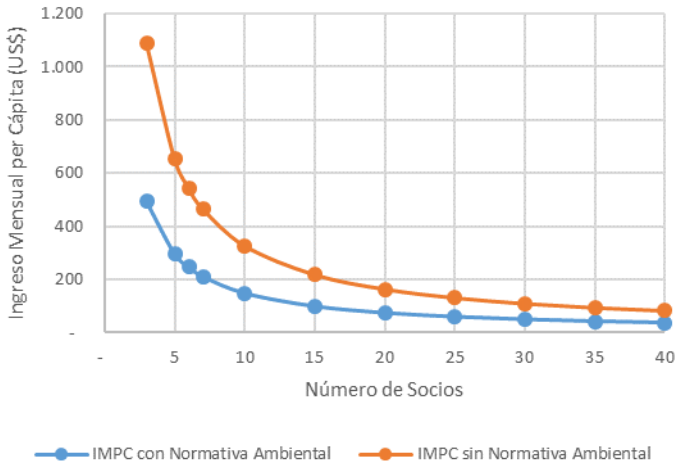


En la Figura 3, se observa que, al aplicar la normativa ambiental cuando se tienen 3 o más socios el ingreso mensual per cápita (IMPC) no alcanza a los US$ 414, que corresponde al salario mínimo en Chile. Cuando la organización tiene tres socios, el IMPC baja de US$ 1041 a 181 (82,6 %). Si el proyecto se evalúa sin la aplicación de la normativa, el máximo número de socios que puede tener la organización son siete, ya que su IMPC será superior al salario mínimo, pasado este número de socios la motivación económica para el desarrollo de la actividad acuícola disminuye, debido al costo de oportunidad de cada persona.

Para el caso del cultivo de *D. antarctica*, la aplicación de las mismas normativas genera una disminución del valor actual neto de 54,6 % y en la TIR en 33,5 %. Los costos fijos incrementan en un 10,4 % y el capital de trabajo aumenta en un 9,6 %. Estos cambios afectan el resultado económico para socios que podrían participar en la organización (ver Figura 4).

Figura 4

Ingreso mensual per cápita (US$) para el cultivo marino de Durvillaea antarctica con y sin aplicación de la normativa ambiental, según el número de socios de la organización que participan en el ingreso



Según la Figura 4, se observa que, al aplicar la normativa ambiental cuando se tiene tres o más socios el ingreso mensual per cápita (IMPC) alcanza US$ 493; si la organización tiene cinco socios, el IMPC es US$ 296, baja respecto al salario mínimo de Chile (US$ 414). Sin aplicación de la normativa, el IMPC sube a US$ 1087 cuando son tres socios, es decir, aumenta en un 54,6 %; bajo esta condición de no aplicación, el IMPC se aproxima al salario mínimo hasta ocho socios.

En ambos cultivos se observa que la aplicación de la normativa a pequeña escala de producción inhibe la producción de manera colectiva mediante organizaciones sociales.

Conclusiones

La gestión ambiental pública en Chile, para el funcionamiento de la acuicultura, posee un marco normativo constituido por dos principales leyes, dos decretos y una resolución que permiten regular el funcionamiento, con el fin de asegurar que se ejecute una actividad ambientalmente sostenible. Para su orgánica, participan principalmente siete instituciones directamente relacionadas.

Los proyectos de acuicultura de pequeña y mediana escala orientados al cultivo de algas o moluscos deben ser sometidos al SEIA mediante una DIA; este es un proceso técnico y normativo complejo que requiere de autorizaciones de distintos ministerios para el desarrollo de la actividad productiva. Los costos de cumplimiento de la normativa ambiental exigen un tamaño de producción que permita viabilizar económicamente la acuicultura de pequeña escala. Esto se debe considerar en la política pública pertinente.

El tamaño de producción para proyectos de acuicultura de pequeña y mediana escala en *C. gigas* y *D. antarctica* debe ser evaluado según el número de socios que participan en la actividad. Esta evaluación se debe realizar como una acción previa a su desarrollo, a fin de asegurar su viabilidad económica y ambiental.

Referencias

Armada de Chile DIRECTEMAR. (s.f.). Misión y Visión. https://www.directemar.cl/directemar/organizacion/mision-y-vision

Constitución Política de la República de Chile [Const.]. (1980). Decreto Supremo 100/1980. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=242302

Decreto 40. (2012, 30 de octubre). Ministerio del Medio Ambiente, República de Chile. https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1053563

Decreto Supremo 148. (2003, 12 de junio). Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos. Ministerio de Salud, República de Chile. https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=226458

Decreto Supremo 314. (2004, 24 de diciembre). Reglamento de Actividades de Acuicultura en Áreas de Manejo y Explotación de Recursos. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, República de Chile. https://www.subpesca.cl/portal/615/articles-6296_documento.pdf

Decreto Supremo 320. (2001, 14 de diciembre). Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción-Subsecretaría de Pesca, República de Chile. https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=192512

Ley 18892 Ley General de Pesca y Acuicultura. (1989, 23 de diciembre). Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, República de Chile. https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=30265

Ley 19300 Ley de Bases Generales del Medio Ambiente. (1994, 9 de marzo). Ministerio Secretaría General de la Presidencia. República de Chile. https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=30667

Ley 21370. (2021, 25 de agosto). Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. República de Chile. https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1164124

Ley 458 Ley General sobre Urbanismo y Construcciones. (1975, 18 de diciembre). Ministerio de la Vivienda y Urbanismo, República de Chile. https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=13560

Ley 725 Código Sanitario. (1967, 11 de diciembre). Ministerio de Salud Pública, República de Chile. https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=5595

Resolución 3612 Exenta. (2009, 6 de noviembre). Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, República de Chile. https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1007817

0the impacts from salmon aquaculture in the Chilean Patagonia. *Ocean & Coastal Management*, *118*(B), 189-204. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.07.016

Santos, L., & Ramos, F. (2018). Antimicrobial resistance in aquaculture: Current knowledge and alternatives to tackle the problem. *International Journal of Antimicrobial Agents*, *52*(2), 135-143. https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2018.03.010

Sapag, N. (2011). *Proyectos de inversión, Formulación y Evaluación* (2.ª ed.). Pearson Educación.

Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). (s.f.). Misión. https://www.sea.gob.cl/sea/mision

Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA). (s.f.). Misión y Visión. http://www.shoa.cl/php/index.php

Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura. (s.f.). ¿Qué es SERNAPESCA? http://www.sernapesca.cl/que-es-sernapesca

Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. (2015). Informe sectorial de pesca y acuicultura. https://www.subpesca.cl/portal/618/articles-92002_documento.pdf

Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. (2020). Informe sectorial de pesca y acuicultura. https://www.subpesca.cl/portal/618/articles-109626_documento.pdf

Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. (s.f.). Acerca de la Subsecretaría. *Subpesca*. https://www.subpesca.cl/portal/616/w3-propertyvalue-538.html

Universidad Católica de la Santísima Concepción. (2015). *Estudio de emplazamiento de áreas de acuicultura de pequeña escala en la zona sur (VI a XIV regiones)* (Informe Final Proyecto FIPA 2013-24). https://www.subpesca.cl/fipa/613/articles-89342_informe_final.pdf

Zúñiga, S. y Soria, K. (2009). Costo del capital en el sector pesquero-acuícola chileno. *Interciencia*, *34*(8), 543-550. https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/01/543-ZU%C3%91IGA-8.pdf

Ordenamiento Territorial



Estimación de socavación local en Puentes. Caso de Estudio, Río San Pedro, Valle de Sibundoy

Fredy Alejandro Galindo González[1]
Francisco Ricardo Mafla Chamorro[2]
Dickson Arturo Burgos Bastidas[3]
Daniela Melissa Echeverría Ramírez[4]

Resumen

La estimación de la profundidad de socavación local asociada a un período de retorno de 50 y 100 años en un estudio de caso en el puente sobre el río San Pedro, parte de un análisis hidrológico, hidráulico y la aplicación de una simulación unidimensional con *Hydrological Engineering Center – River Analysis System*. Se valida en la necesidad de realizar un diagnóstico con relación a la presencia de falla hidráulica, considerando la hidrología, sedimentología e hidráulica perenne a la cuenca hidrográfica de la zona de influencia y las condiciones morfométricas actuales de los estribos, evaluando así la profundidad máxima de socavación y, verificando si las especificaciones de diseño hidráulico cumplen con la vigente norma colombiana de diseño de puentes.

La profundidad de socavación medida desde el suelo aledaño a la pata del estribo 2,41 m (estribo izquierdo) y 1,95 m (estribo derecho) mediante el método de Froehlich para un período de retorno Tr=100 años, permite concluir que, el empotramiento del estribo (1,5 m) no satisface los requerimientos mínimos de profundidad de 600 mm por debajo de la socavación potencial; por ende, la profundidad de desplante del estribo se encuentra por encima de la línea de socavación estimada que representaría una posible falla hidráulica.

Palabras clave: socavación local; falla hidráulica; estribo de puente; erosión; deposición.

[1] Universidad Mariana, Programa de Ingeniería Civil, Colombia. Correo: fagalindo@umariana.edu.co
[2] Universidad Mariana, Programa de Ingeniería Ambiental, Colombia. Correo: fmaffla@umariana.edu.co
[3] Universidad Mariana, Programa de Ingeniería Civil, Colombia. Correo: dicburgos@umariana.edu.co
[4] Universidad Mariana, Programa de Ingeniería Civil, Colombia. Correo: daecheverria@umariana.edu.co.

Introducción

En la historia, los puentes en el mundo evidencian que la socavación es estadísticamente la principal causa de fallas provocadas en las pilas y estribos, debido a que, gran parte de los diseños no están adecuados a la capacidad de los ríos aluviales, dando como resultado, la socavación de las fundaciones y cimientos en las estructuras hidráulicas (Martínez y Ramírez, 2000). Colombia no es la excepción y, según estudios realizados desde el año 1986, aproximadamente el 64 % de colapso de puentes se debe, principalmente, a problemas de socavación y sobrecarga hidráulica, como consecuencia del desbordamiento de cauces por inundación (Bedoya y Cerón, 2015). Actualmente, la tecnología disponible no se ha desarrollado suficientemente para proporcionar estimados de socavación confiables en condiciones tanto variables como complejas por espacio y tiempo, como sucede en la dinámica e incluso, en el entorno de los ríos. Así, se hace necesario estudiar este fenómeno usando modelos numéricos y computacionales que permitan caracterizar y predecir de manera aproximada la forma de la socavación local de acuerdo con la interacción entre el comportamiento del transporte sedimentológico, las particularidades del flujo (época de estiaje y creciente) y las características propias de las condiciones de la zona en estudio (Ochoa, 2017).

Bajo este planteamiento, se despliega una actividad investigativa pretenciosa que permite proponer una metodología para determinar la profundidad de socavación, como resultado de analizar la base del estribo del puente sobre el río San Pedro en el Valle de Sibundoy, junto a la influencia de los parámetros geomorfológicos, geotécnicos, hidráulicos y morfométricos en la modelación con HEC – RAS (*Hydrological Engineering Center – River Analysis System*), que permite simular flujos en cauces naturales o canales artificiales.

Para el desarrollo de la investigación se ha determinado aspectos claramente definidos y estructurados que se detalla a continuación: en la primera parte se desarrolla la metodología bajo la que se delimita el sistema, se define los indicadores de acuerdo con el Código Colombiano de Puentes (CCP, Instituto Nacional de Vías, INVÍAS, 2015), se recolecta los datos requeridos mediante muestreo e información contrastada por las autoridades autónomas regionales (Corpoamazonia) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM); posteriormente, se procesa meticulosamente los parámetros topográficos, hidrológicos, geotécnicos e hidráulicos obtenidos, se presenta la modelación hidráulica utilizando el software HEC – RAS y modelos empíricos. En la cuarta parte se oficializa las conclusiones y recomendaciones pertinentes.

Desarrollo

La investigación es de tipo analítico – evaluativo con fase descriptiva, a partir de datos cuantitativos que permiten realizar la estimación y valoración de la profundidad de socavación existente en el caso de estudio. Inicialmente, se hace

una revisión bibliográfica con relación al tema de socavación y del estado actual del puente, desde su morfometría hasta el comportamiento estructural, con el fin de determinar aquellas variables de influencia que se debía tener en cuenta para poder alcanzar el objetivo general. Posteriormente, mediante actividades de campo se permite un reconocimiento de la zona, además de la recolección de datos topográficos mediante el uso de una estación topográfica a lo largo de, aproximadamente, 200 m en el tramo de estudio.

Por otra parte, se efectúa un análisis hidrológico, con el objetivo de identificar el caudal de diseño en función de tiempos de retorno de 50 y 100 años, basados en datos recolectados de la estación de climatología ordinaria Michoacán (Cod: 4701504). En esta etapa de la investigación se establece la precipitación máxima en 24 horas, datos a los cuales se aplica las pruebas de homogeneidad (Helmert (1), T Student (2), Cramer (3) e independencia (Wald-Wolfowitz (4), Anderson (5), para poder verificar su validez y luego, realizar el análisis estadístico correspondiente.

Seguidamente, se aplica las funciones de distribución de probabilidad de Gumbel (6) y Log Pearson III (7), que permitieron efectuar la proyección de precipitación máxima para diferentes períodos de retorno, datos que fueron debidamente validados mediante una prueba de bondad de Kolmogorov-Smirnov (8) en donde se confirmó su confiabilidad, para continuar con el análisis. Finalmente, se estableció el tiempo de concentración a partir de la ecuación propuesta por Bransby-Williams (9) mediante la cual se puede generar las curvas IDF (intensidad – duración - frecuencia), aplicando la metodología de Gustavo Silva (10) y después, los hietogramas de diseño por el método de los bloques alternos.

Por último, se realiza la modelación de la socavación en el caso de estudio, haciendo uso del software HEC-HMS y HEC- RAS a partir de los datos recopilados, los análisis hidrológico e hidráulico de los mismos y, la confirmación o discusión de los resultados, considerando la norma colombiana vigente e investigaciones similares.

Ecuaciones prueba de homogeneidad

- Helmert

$$-\sqrt{n_j - 1} \leq (S - C) \leq \sqrt{n_j - 1} \quad (1)$$

- T de Student

$$t_d = \frac{\overline{x}_1 - \overline{x}_2}{\left[\frac{n_{1*}{s_1}^2 + n_{2*}2^2 +}{n_1 + n_2 - 2} * \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)\right]^{1/2}} \quad (2)$$

$\bar{x}_1, {S_1}^2$:son la media y la varianza de la primera parte del registro de tamaño n_1

...donde: $\bar{x}_2, {S_2}^2$: son la media y la varianza de la segunda parte del registro de tamaño n_2

- Cramer

$$\overline{Q^j} = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{Q_i^j}{n_j} \tag{3}$$

Ecuaciones Prueba de independencia

- Wald-Wolfowitz

$$Z = \frac{R - \mu_R}{\sigma_R^2} \tag{4.1}$$

...donde: R corresponde al número total de corridas observadas; el valor medio de R está dado por la siguiente expresión:

$$\mu_R = \frac{2 * n_1 * n_2}{n} + 1 \tag{4.2}$$

La desviación estándar de R está dada por la expresión:

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{(\mu_R - 1)(\mu_R - 2)}{n - 1}} \tag{4.3}$$

- Anderson

$$rkj{=}i{=}1nj{-}kQij{-}Qj{*}Qi{+}kj{-}Qji{=}1njQij{-}Qj2 \tag{5.1}$$

Para: $k = 1,2,\ldots,\frac{n_j}{3}$

$$\overline{Q}^j = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{Q_i^j}{n_j} \quad (5.2)$$

- Gumbel

$$Y_i = a(X_i - X_f) \quad (6.1)$$

$$a = \frac{S_n}{S} \quad (6.2)$$

$$X_f = \bar{X} - S\frac{Y_n}{S_n} \quad (6.3)$$

...donde: $\bar{X}$: Promedio aritmético de la muestra.

S: Desvaciación estándar o típica de los datos de la muestra.

X_i: Datos de la muestra, desde "i" igual a uno (1) hasta "n".

Y_n, S_n: Media y desviación estándar de la variable reducida "y". Dependen del número de años de registros de la muestra "n".

X_f, a: Parámetros que dependen del número de años de la muestra y de $Y_n, S_n, \bar{X}$ y S

- Log Pearson III

Se transforma las n magnitudes de los valores máximos anuales hidrológicos a sus valores logarítmicos (base 10) Y_i:

$$y_i = LogX_i\,, para\ i = 1,2,3,\ldots.n \quad (7.1)$$

Se calcula la media de los logaritmos, $\bar{Y}$:

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^{n} Y_i}{n} \quad (7.2)$$

Se calcula la desviación típica de los logaritmos, Sy:

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{Y})^2}{n-1}} \quad (7.3)$$

$$C_s = \frac{n\sum_{i=0}^{n}(y_i - \bar{Y})^3}{(n-1)(n-2)S_y^3} \quad (7.4)$$

Se calcula el valor de la variable transformada y para un período de retorno (T):

$$Y_T = \bar{Y} + S_y K_T \quad (7.5)$$

...en donde el factor de frecuencia (K_T) se obtiene con el coeficiente de asimetría (Cs) y el período de retorno (T) (o la probabilidad de excedencia) conocidos (INVÍAS, 2013)

Se calcula el valor de la variable original con un período de retorno T:

$$X_T = Antilog\ Y_T \quad (7.6)$$

- Kolmogorov- Smirnov

$$D = \sup_{1 \le i \le n} |F_n(x_i) - F_o(x_i)| \quad (8)$$

...donde: x_i: valor i-ésimo observado en la muestra (ordenada de mayor a menor)

$F_i(x_i)$: función de probabilidad estimada

$F_0(x_i)$: función de probabilidad observada

- Bransby -Williams

$$Tc = 14{,}6 \times L \times A^{-0{,}1} \times S^{-0{,}2} \quad (9)$$

...donde: $\boldsymbol{A}$ área de la cuenca (km^2)

$\boldsymbol{L}$ es la longitud del cauce principal (km)

$\boldsymbol{S}$ es pendiente media del cauce (%)

- Gustavo Silva

$$I = \frac{K}{(t+b)^n} \quad (10)$$

...donde: K: Constante (relación precipitación máxima en 24 horas)
t: tiempo (min)
b y n: Constantes (10 y 0,5 respectivamente)

Resultados

En el marco de este capítulo se describe los resultados y las predicciones obtenidas dentro de la línea metodológica para estimar la profundidad crítica de socavación en los estribos del puente sujeto a estudio.

Descripción del estado actual del puente. Se presenta a continuación, las características representativas actuales del puente sujeto a estudio, considerando la información recopilada y la visita de campo.

Identificación de la estructura vial. En la Figura 1 se muestra la información que permite identificar al puente sobre el río San Pedro, Valle de Sibundoy y los corredores de ruta dentro de la zona de influencia directa, en las bases de datos de Instituto Nacional de Vías.

Figura 1

Localización espacial de puente San Pedro

NOMBRE DEL PUENTE:		SAN PEDRO	**IDP** 19-1003-003.00
TERRITORIAL:	19	PUTUMAYO	
CARRETERA:		PASTO - EL PEPINO	
PR	62+0315		





Fuente: INVÍAS (2020)

Características actuales del puente. El puente es de una luz y dos carriles, con una longitud y ancho de tablero de 20,60 m y 10,04 m, respectivamente; bordillos con un ancho de 0,30 m y altura de 0,20 m y cuatro vigas principales en concreto reforzado, simplemente, apoyadas con separación entre ejes de 2,50 m (sección de 0,40 m x 1,30 m).

Consideraciones de los estribos. En la visita de programa de campo se evidencia la tendencia en el estribo de salida (lado izquierdo) a presentar socavación ocasionada por el cauce. Según se aprecia en la Figura 2, la altura promedio de los estribos en concreto reforzado es de 2,75 m, con un ancho de 10,04 m. En la cimentación de los estribos se observa obras adicionales de protección en concreto ciclópeo con longitud de 6,0 m, altura de 1,50 m y espesor de 1,0 m para protección del cauce (ver Figura 2).

Figura 2

Inspección in situ *de los estribos*



Fuente: elaboración propia

Registro fotográfico. Para validar la inspección inicial y documentar adecuadamente la experiencia, se genera un registro fotográfico sobre los parámetros objeto de estudio y otras particularidades de la zona de influencia, desde la superestructura, la infraestructura y el cauce (ver Figura 3).

Figura 3

Inspección in situ de la superestructura, la infraestructura y el cauce

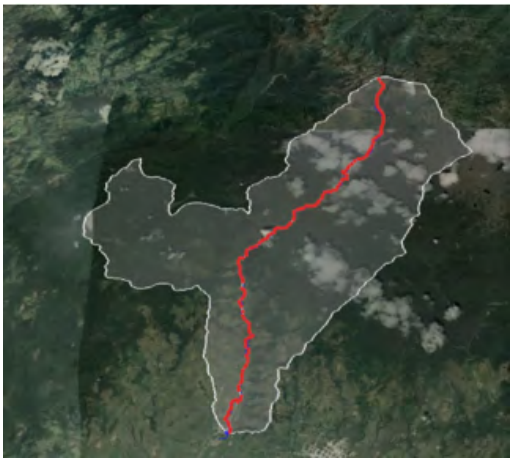


Fuente: elaboración propia

Análisis hidrológico de la cuenca hidrográfica. A continuación, se presenta la identificación y recopilación de la información de las estaciones climatológicas e hidrométricas del área aferente de la zona de estudio operadas por el IDEAM (ver Figura 4), obteniendo como información base, la precipitación máxima en 24 horas.

Figura 4

Delimitación cuenca alta río San Pedro - Estación meteorológica e hidrológica Michoacán



Fuente: Google Earth

Los valores medios de precipitación máxima en 24 horas para la estación ordinaria Michoacán (Cod: 4701504), corresponde a, que los mayores valores se encuentran en los meses de abril a agosto, presentando precipitaciones mayores a los 28 mm/día en promedio, mientras que el resto del año evidencia precipitaciones mayores a los 20 mm/día (ver Tabla 1).

Tabla 1

Valores medios de precipitación máxima en 24 horas (Estación de Michoacán)

Valores medios mensuales de precipitación en 24 horas								Estación: 47015040 Michoacán			
Ene	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sept**	**Oct**	**Nov**	**Dic**	**Total**
21,4	22,3	24,4	29,3	30,7	30,4	31,1	28,9	21,2	23,6	23,9	22,4	46,8

Fuente: elaboración propia

Se deduce que, en los meses de mayor intensidad de precipitación, existirá mayor susceptibilidad en promedio de presentarse alguna eventualidad de fenómenos de socavación.

Análisis estadísticos de datos hidrológicos. La validación y/o confirmación de una serie de datos se lleva cabo mediante pruebas estadísticas de homogeneidad (ver Tabla 2) e independencia (ver Tabla 3), tales como pruebas de Helmert, Cramer, T de Student, corridas de Wald-Wolfowitz y Anderson, entre otras, para lo cual estadísticamente se establece que, la serie de datos meteorológicos analizados para la zona de estudio es considerada homogénea e independiente y, por ende, es válida para ser empleada en el estudio de análisis de frecuencias.

Tabla 2

Análisis prueba de homogeneidad

Prueba de Homogeneidad					
Helmert		**T Student**		**Cramer**	
Precip. Promedio=	47,08	v =	39	tw=	0,68
S=	21	td =	0,10	t Student=	0,91
C=	19	T Student =	0,91		
Serie Homogénea					

Fuente: elaboración propia

Tabla 3

Análisis prueba de independencia

Prueba de Independencia						
Corridas		**Anderson**			**Wald-Wolfowitz**	
n=	41	V=	0,33		Alfa=	0,05
Estadístico=	1,14	Vcrit=	-1,28	1,28	Estadístico=	0,15
Valor en tablas=	1,96	Alfa=	0,1		Valor en tablas=	1,96
Serie independiente						

Fuente: elaboración propia

Análisis de frecuencias. Procede a desarrollarse para las precipitaciones registradas para la estación Michoacán (Cód: 47015040), con registro de datos de 41 años consecutivos, de tal manera que presenta un valor inferior a 0.2 en la prueba de bondad de Kolmogorov-Smirnov, lo que permite deducir que hay una confiabilidad del 99 % en el ajuste realizado (ver Tabla 4). Con base en lo anterior, es válido afirmar que, obtener una alta confiabilidad de los resultados permite que sean consideradas confiables, las proyecciones realizadas a través de funciones de distribución de probabilidad (FDP).

Tabla 4

Proyecciones de precipitación máxima - Estación Michoacán

	Gumbel		**Log-Pearson III**	
	Tr (años)	**Precipitación mm/día**	**Tr (años)**	**Precipitación mm/día**
Michoacán (47015040)	2	44,64	2	43,00
	5	60,22	5	73,32
	10	70,54	10	67,94
	25	83,57	25	81,19
	50	93,24	50	91,00
	100	102,84	100	100,69
	Kolmogorov	0,11	**Kolmogorov**	0,12

Análisis de tiempo de concentración. Con el objetivo de obtener el análisis de lluvias y generar los hietogramas de diseño para diferentes tiempos de retorno, es pertinente estimar el valor del tiempo de concentración mediante la aplicación de la ecuación empírica propuesta por Bransby-Williams, la cual presenta un mejor ajuste en su resultado, con relación a las características que presenta la cuenca hidrográfica (ver Tabla 5).

Tabla 5

Caracterización dimensional de la zona de estudio

Cuenca hidrográfica		Cauce	
Área (ha)	**Perímetro (Km)**	**Longitud (Km)**	**Pendiente media (%)**
6038,6	36,91	16,32	9,29

Fuente: Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) y Corporación Vallecaucana de las Cuencas Hidrográficas y el Medio Ambiente (Corpocuencas), (2008); Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y Corporación para el desarrollo sostenible del sur de la Amazonía, (2009)

$$Tc = 14{,}6 \times 16{,}32 \times 54{,}49^{-0{,}1} \times 9{,}29^{-0{,}2} = 102{,}323\ min$$

$$T_c = 1{,}7\ horas$$

Curvas IDF. Con el objetivo de identificar la intensidad de lluvia expresada en milímetros por hora para una determinada duración, considerando una probabilidad de ocurrencia expresada en años, que se denomina período de retorno, el estudio enfatiza en evaluar los resultados de la investigación para los períodos de retorno, comprendidos por 50 y 100 años, respectivamente (ver Tabla 6). Las curvas IDF, resultado de análisis, corresponden a la Figura 5, más adelante.

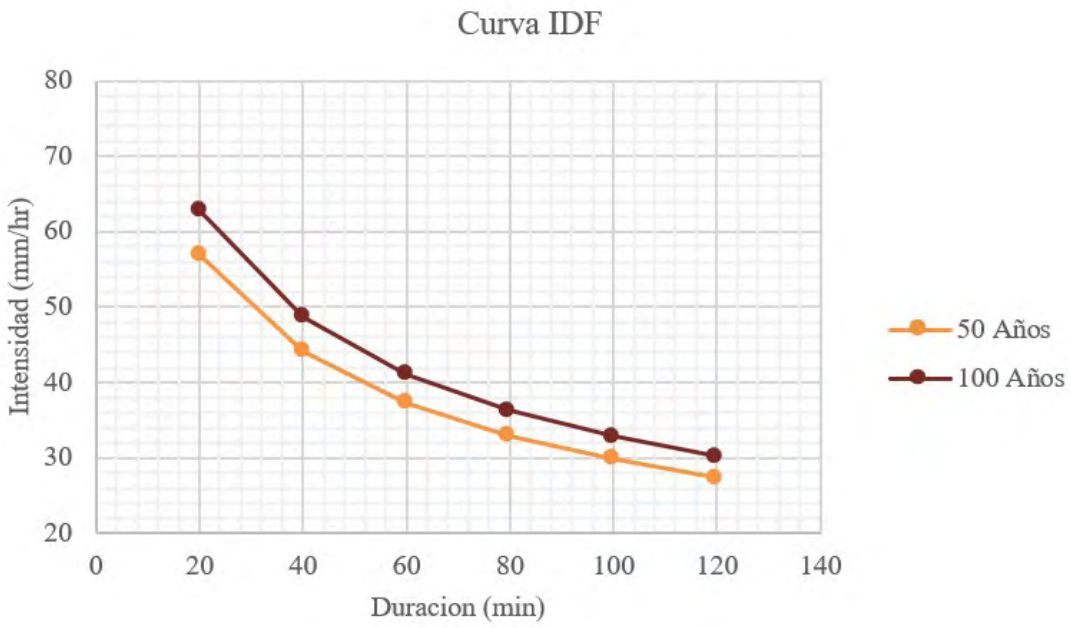
Tabla 6

Resultados intensidad de precipitación

Duración		Intensidad de Prec. (mm/24 horas) / Tr. (años)	
hr	**min**	**50**	**100**
0,3	20,00	56,970	62,835
0,7	40,00	44,129	48,671
1,0	60,00	37,296	41,135
1,3	80,00	32,892	36,278
1,7	100,00	29,752	32,814
2,0	120,00	27,367	30,185

Figura 5

Curva intensidad – duración – frecuencia



Hietograma de Diseño. Consiste en determinar la precipitación de caída en cada intervalo de tiempo establecido, a partir de la intensidad y la duración; para este caso, se realiza cada 20 minutos, hasta llegar al valor del tiempo de concentración calculado previamente, correspondiente a dos horas (ver Tablas 7 y 8; Figuras 6 y 7).

Tabla 7

Hietograma de precipitación Tr: 50 años

T=50 Años					
Tiempo (hr)	**Tiempo (min)**	**Intensidad P (mm/hr)**	**P(mm)**	**ΔP (mm)**	**Met. BA**
0,3	20,0	56,97	18,99	18,99	5,73
0,7	40,0	44,13	29,42	10,43	7,88
1,0	60,0	37,30	37,30	7,88	18,99
1,3	80,0	32,89	43,86	6,56	10,43
1,7	100,0	29,75	49,59	5,73	6,56
2,0	120,0	27,37	54,73	5,15	5,15

Figura 6

Hietograma de precipitación Tr: 50 años

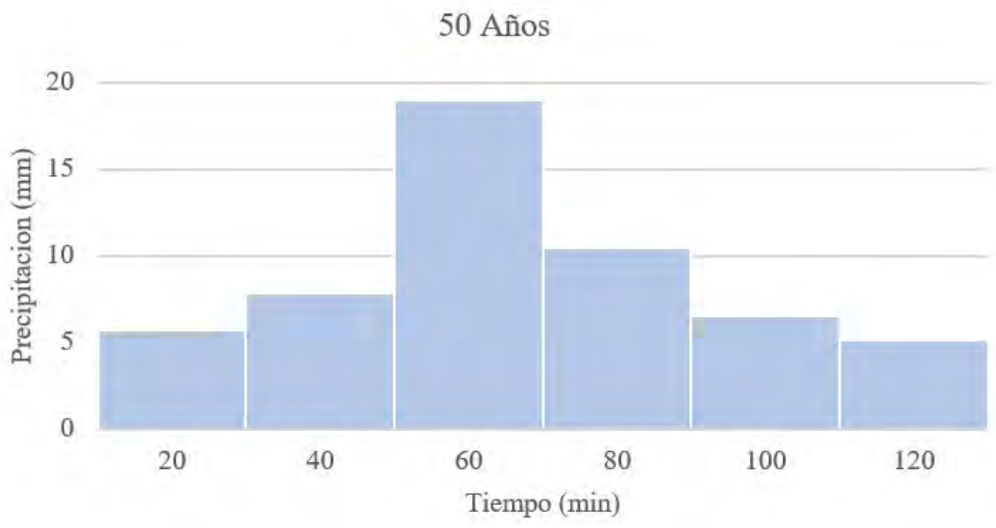


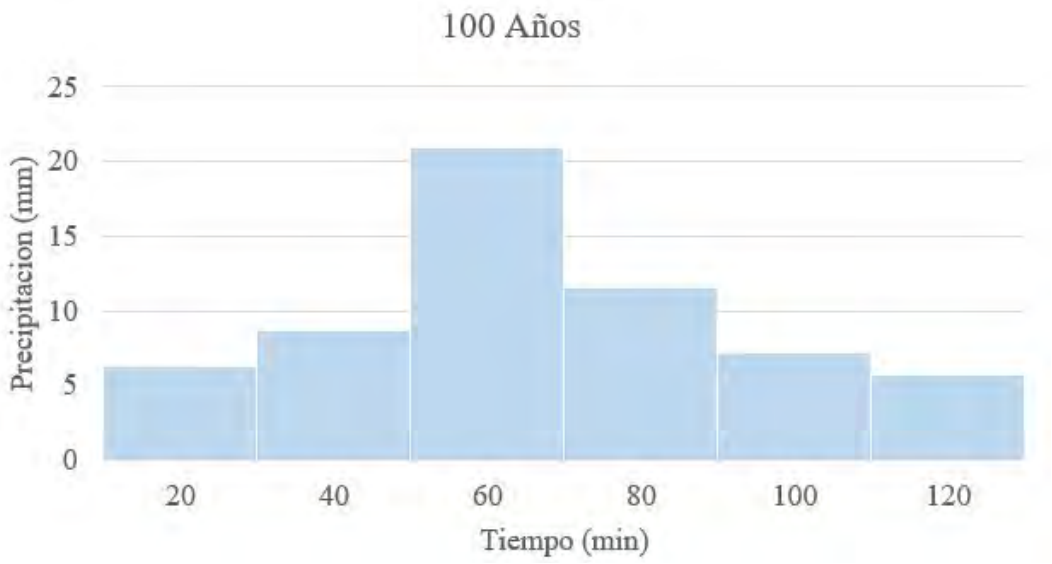
Tabla 8

Hietograma de precipitación Tr: 100 años

T=100 Años					
Tiempo (hr)	**Tiempo (min)**	**Intensidad P (mm/hr)**	**P(mm)**	**ΔP (mm)**	**Met. BA**
0,3	20,0	62,83	20,94	20,94	6,32
0,7	40,0	48,67	32,45	11,50	8,69
1,0	60,0	41,13	41,13	8,69	20,94
1,3	80,0	36,28	48,37	7,24	11,50
1,7	100,0	32,81	54,69	6,32	7,24
2,0	120,0	30,18	60,37	5,68	5,68

Figura 7

Hietograma de precipitación Tr: 100 años



Caudal de diseño. El caudal de diseño asociado a un período de retorno de 50 y 100 años se determina mediante el software computacional HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center's-Hydrologic Modeling System*), considerando las condiciones meteorológicas, morfométricas, curva, número, tiempo de medición, series de tiempo y, los hietogramas de diseño, 50 y 100 años, respectivamente. A continuación, se presenta el caudal de diseño asociado a un período de retorno:

Tabla 9

Caudal de diseño

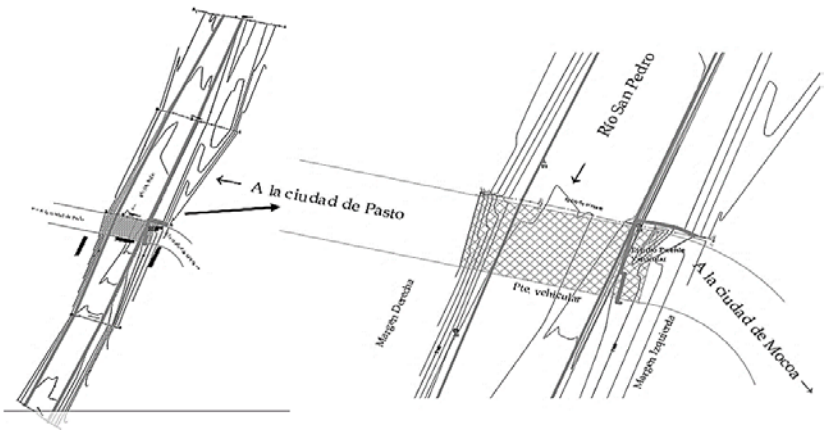
Período de retorno Tr (años)	Caudal de diseño (m^3/s)
50	200
100	250

Análisis Hidráulico Área de Estudio. Seguidamente, se desarrolla un análisis hidráulico, considerando la velocidad de la corriente del caudal de diseño, la morfometría y el alineamiento de los estribos del puente sobre el río San Pedro. Su respectivo análisis se detalla mediante el software computacional HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center* y *River Analysis System*).

Levantamiento topográfico. Se detalla el dimensionamiento del tramo de estudio mediante levantamiento topográfico, identificando la morfometría y el diseño principal del puente, contemplando como medición, cinco secciones transversales cada 50 metros (dos secciones aguas arriba, dos secciones aguas abajo y una sección en el puente objeto de estudio):

Figura 8

Topografía área de estudio

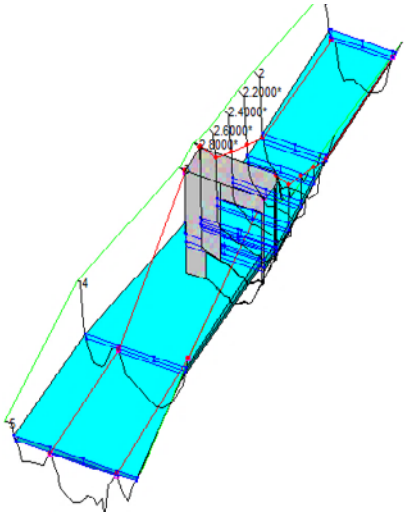


Análisis de sedimentos. Se realiza una toma de muestras en campo mediante apiques en zonas representativas del cauce, que permiten conocer las propiedades físicas de los sólidos transportados y sedimentados por la corriente. En el presente estudio, el agua fluye por el cauce, el cual se contempla como punto estratégico para la toma de muestras; el material disponible está en la capa superficial del lecho, a una distancia de 30 cm en proximidades del estribo y a una profundidad de 50 cm. Una vez llevado a cabo el análisis granulométrico mediante la norma INV E 123-13 (Universidad de La Salle, 2013), se determina que, por medio del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.S.C.) se tiene una arena mal graduada con limo, con grava SP SM, mientras que, mediante la clasificación AASHTO "A-2-7", se tiene grava y arena arcillosa o limosa.

Modelación HEC-RAS Unidimensional. Como se muestra en la Figura 9, la configuración corresponde al río San Pedro para el tramo de estudio, que cuenta con una longitud total de 200 m. Se evalúa el comportamiento hidráulico en las secciones correspondientes, entre las cuales se ubica el puente objeto de estudio.

Figura 9

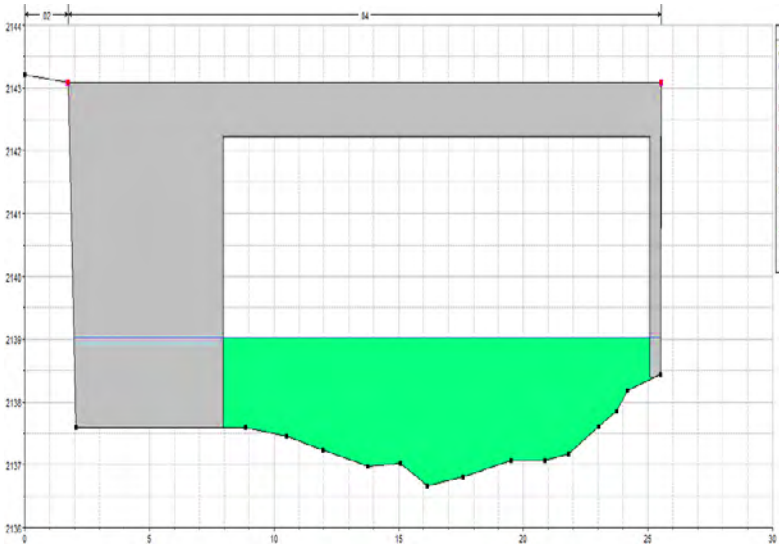
Modelación unidimensional (1D) tramo de estudio



Para el tramo de estudio, el perfil hidráulico evaluado a un período de retorno de 50 años, al cual le corresponde un caudal de 115,90 m^3/s, se observa que no presenta desbordamiento en toda la sección, con una condición de flujo subcrítica para las secciones 100 y 50 m aguas arriba y en la sección de la estructura, dado que hay velocidades bajas, mientras que, para las secciones 50 y 100 m aguas abajo, se presenta un flujo crítico, considerando una velocidad total de flujo de 3,94 m/s y una profundidad de 1,44 m (ver Figura 10).

Figura 10

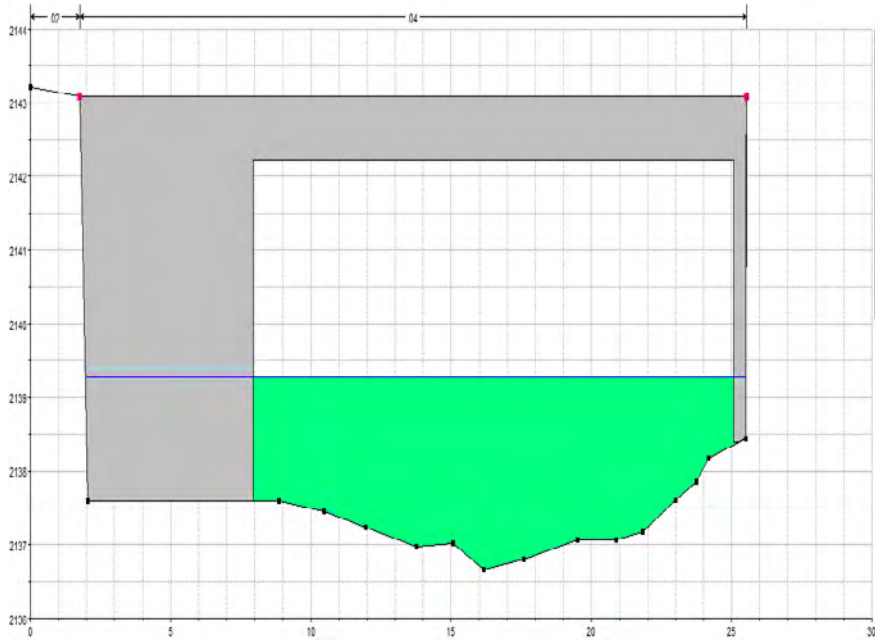
Modelación unidimensional (1D) – Tr 50 años



En cuanto al perfil hidráulico correspondiente a un período de retorno de 100 años, al cual le concierne un caudal de 137,10 m^3/s, se evidencia desbordamiento en toda la sección, con una condición de flujo subcrítica para las secciones 50 y 100 m aguas arriba, sección de estructura de puente, debido a que se registra velocidades pequeñas y, una condición de flujo supercrítico para las secciones 50 y 100 m aguas abajo, donde se registra velocidades grandes, considerando una velocidad total de flujo a lo largo del tramo de estudio de 4,14 m/s y una profundidad de 1,69 m en la sección de la estructura (estribo). Con base en lo anterior, se precisa la eventualidad del arrastre de material portante en el estribo del puente, ocasionando socavación local, lo que conduce a desestabilizar la estructura (ver Figura 11).

Figura 11

Modelación unidimensional (1D) – Tr 100 años



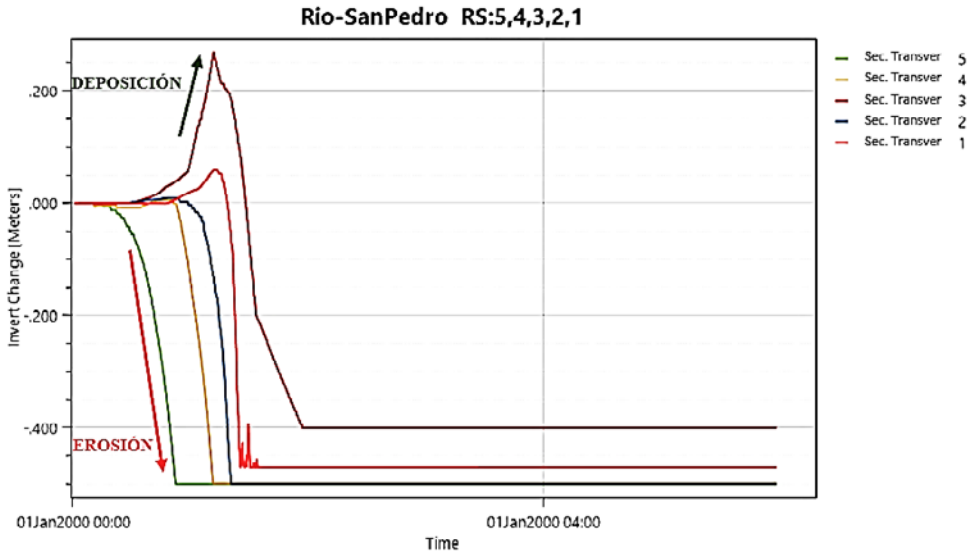
Análisis de transporte de sedimentos. Se desarrolla mediante la simulación de los procesos de socavación, transporte y sedimentación en el tramo de estudio, evaluado a través de la ecuación empírica de Laursen en el software computacional HEC–RAS, debido a que sus condiciones y especificaciones de aplicación se ajustan a las características de la zona de influencia. Se hace una representación del cambio de masa del material de fondo, lo que representa una degradación y arrastre del material en el período evaluado (6 horas), afirmando que, el tramo en estudio comprende un lecho móvil.

Simulación del transporte de sedimentos para un período de retorno de 100 años con una duración de seis horas, cuyo fin es evaluar el comportamiento del lecho del río, en donde se puede evidenciar las cinco secciones transversales que abarcan los 200 metros del tramo de estudio (ver Figura 12). Conviene precisar

que, un comportamiento descendente hace referencia a la existencia de erosión del material de fondo, mientras que, un comportamiento ascendente significa que se presenta deposición de material en el lecho del río.

Figura 12

Modelación - Análisis de transporte de sedimentos

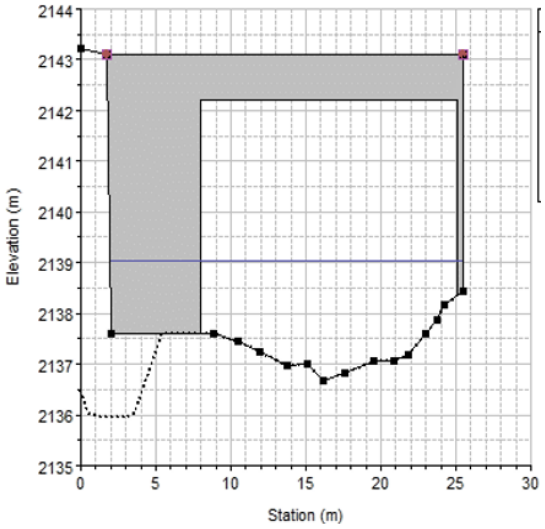


En la sección transversal No. 5 (100 m aguas arriba) y en la sección transversal No. 4 (50 m aguas arriba) se presenta una erosión máxima de 0,5 m en tan solo una hora, en tanto que, para la sección transversal No. 3 (sección de estructura hidráulica - puente) se da una deposición de material de 0,23 m en el lecho del río, en un lapso de tiempo de 1,30 horas, debido a la existencia de la estructura (estribo), lo cual obstruye el paso normal del flujo, ocasionando acumulación de material de arrastre. Por otra parte, debido a condiciones hidráulicas (velocidad), hay erosión de 0,68 m, eliminando el material de apoyo de la estructura y ocasionando socavación local, que conlleva un posible riesgo, produciendo liberación de material en la base de cimentación.

Profundidad de socavación – Modelación HEC–RAS Unidimensional. El software determina la profundidad de socavación mediante la ecuación de Froehlich (1989), método empleado en el análisis para Tr 50 años (ver Figura 13), alcanzando una profundidad de socavación de 1,65.

Figura 13

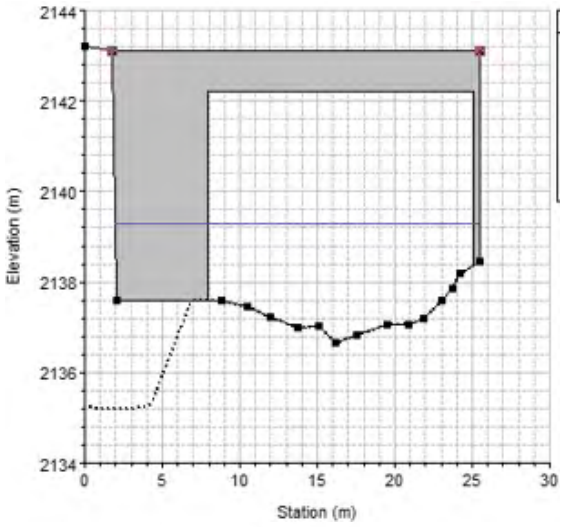
Profundidad de socavación – Tr 50 años



En lo correspondiente al Tr 100 años (ver Figura 14), se determina una profundidad de socavación de 2,41m. De otro lado, empleando modelos matemáticos de estimación de profundidad de socavación, se determina que las metodologías con valores más cercanos entre sí, son las de Liu et al. (citados por Esteves, 2019), siendo los datos más representativos para el análisis de la profundidad de socavación en el estribo; no obstante, después de realizar una revisión bibliográfica con relación a investigaciones similares de socavación, se plantea que, la veracidad de los resultados de dichas ecuaciones o la elección del método a aplicar dependerá, finalmente, del buen criterio del investigador, en función del conocimiento y las limitaciones del caso de estudio.

Figura 14

Profundidad de socavación – Tr 100 años



Conclusiones

El empotramiento del estribo del puente del río San Pedro en el Valle de Sibundoy (1,5 m) no satisface los requerimientos mínimos de profundidad de 600 mm por debajo de la socavación potencial.

La intensidad de flujo determina la capacidad de arrastre del material de fondo; así, a mayor intensidad de flujo, se obtendrá mayor socavación y, viceversa. Para el desarrollo del presente estudio se considera importante el caudal (factor de transporte), tamaño de sedimento (características del lecho) y el ancho del cauce (factor geomorfológico).

Para futuros estudios, se recomienda examinar la influencia de las diferentes formas de estribos de puentes, puesto que solo se analiza la forma rectangular.

La mayoría de los métodos disponibles para determinar la profundidad de socavación están basados en estudios y análisis desarrollados que emplean como material de fondo, el material granular sin cohesión, lo que lleva a sobredimensionar los resultados obtenidos, dando una interpretación desenfocada al verdadero fenómeno de socavación.

Referencias

Anónimo. (s.f.). Plan de ordenación y manejo ambiental de la cuenca del río San Pedro. Cartilla para la orientación y actuación comunitaria. https://es.scribd.com/doc/16048666/Plan-de-Ordenacion-y-manejo-ambiental-de-la-cuenca-del-rio-san-Pedro?secret_password=nqlrq1gyujb12l56n7w

Bedoya, J. S. y Cerón, S. (2015). *Modelación numérica de la socavación local en los estribos del puente sobre el río Sunuba según las características hidrodinámicas de la zona* [Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Javeriana]. https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/21400

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) y Corporación Vallecaucana de las Cuencas Hidrográficas y el Medio Ambiente (Corpocuencas). (2008). *Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica de la Quebrada San Pedro*. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC y Corporación Vallecaucana de las Cuencas Hidrográficas y el Medio Ambiente – CORPOCUENCAS.

Esteves, M. Á. (2019). *Evaluación de métodos para el cálculo de la socavación en puentes. caso del puente sobre el río Shanusi en el distrito de Yurimaguas, provincia de Alto Amazonas, 2018* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Trujillo, UNT]. https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/12026?show=full

Instituto Nacional de Vías (INVÍAS). (2013). Manual de drenaje para carreteras. https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/especificaciones-tecnicas/984-manual-de-drenaje-para-carreteras

Instituto Nacional de Vías (INVÍAS). (2015). Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP14. https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/3709-norma-colombiana-de-diseno-de-puentes-ccp14

Instituto Nacional de Vías (INVÍAS). (2020). Inventario de puentes. Red Nacional de Carreteras. https://www.invias.gov.co/index.php/inventario-de-puentes-red-nacional-de-carreteras.

Martínez, L. Y. y Ramírez, J. A. (2000). *Estudio del comportamiento de la socavación en la vecindad de los espolones en el río Magdalena en el sector Puerto Carmelitas - Puerto Casabe* [Tesis de Pregrado, Universidad Industrial de Santander]. https://es.slideshare.net/MIGUELDELAPEATRIANA/2-112666

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y Corporación para el desarrollo sostenible del sur de la Amazonía. (2009). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca alta del río Putumayo*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y Corpoamazonia.

Ochoa, T. (2017). *Hidrología, hidráulica y socavación en puentes*. Ecoe Ediciones Ltda.

Universidad de La Salle. (2013). Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos. INV E – 123 – 13. https://www.studocu.com/co/document/universidad-de-la-salle-colombia/mecanica-de-materiales/363328885-inv-e-123-13-pdf/5446638.



Microgeneración de energía renovable en Loja, Ecuador. Aporte a la política pública

Alción de las Pléyades Alonso Frank[1]

Lorena Fernanda Alvarado Rodríguez[2]

Sandra Vanessa Valarezo Jaramillo[3]

José Luis Galarza Viera[4]

Resumen

El elevado consumo de combustibles fósiles, asociado al acelerado crecimiento poblacional, afecta los recursos ambientales de los cuales dependen los habitantes urbanos a nivel global. En este contexto, Ecuador destaca por sus recursos naturales abundantes que, bajo una planificación sostenible, están siendo empleados como materia energética. Producto de ello, la matriz eléctrica actual presenta un 59 % de renovables, y persigue ser incrementada a futuro mediante proyectos hidráulicos, solares y eólicos a gran escala. Al respecto, la ciudad de Loja posee el mayor promedio de velocidad del viento de todo el territorio ecuatoriano, así como un elevado potencial solar, admisibles para su aprovechamiento energético. En este contexto, el presente trabajo tiene por objeto, establecer lineamientos arquitectónicos, urbanos y energéticos para la microgeneración de energías renovables en el sector edilicio, que resulten en un aporte a las políticas públicas locales. Para ello, se procede al estudio preliminar de aspectos político-administrativos y técnicos que circunscriben a la generación de energías renovables en entornos urbanos y, se encuesta a la población local para conocer su nivel de aceptabilidad. Los resultados exponen el valioso potencial de su introducción en edificios, favorecido por un nivel de adherencia de la población consultada, del 57 %.

Palabras clave: energía solar fotovoltaica; energía eólica; energía eléctrica; sustentabilidad.

[1] Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Universidad Nacional de San Juan, Argentina. afrank@faud.unsj.edu.ar

[2] Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador. lfalvarado@utpl.edu.ec

[3] Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador. svvalarezo@utpl.edu.ec

[4] Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador. jlgalarza@utpl.edu.ec

Introducción

A nivel global, el crecimiento poblacional y el consumo de energías no renovables afectan los recursos ambientales de los que dependen los habitantes urbanos (Otero et al., 2019). En este contexto, la República del Ecuador destaca por poseer recursos naturales abundantes que, bajo una planificación sostenible, están siendo empleados como materia energética. Ejemplo de ello es la matriz eléctrica actual, que presenta un 59 % de renovables (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, MEER, 2017) y persigue ser incrementada en el futuro, por reconocer que constituye el 35,4 % del consumo residencial, cuyo aumento poblacional provoca una demanda creciente de viviendas (Delgado-Noboa, 2016; Instituto Nacional en Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), 2016).

Asimismo, existe la necesidad de renovar dicha matriz energética, con nuevas alternativas que estén basadas en el desarrollo del recurso hídrico, solar y eólico. Al respecto, se pone en valor que la ciudad de Loja ha sido considerada como el sitio donde existe mayor promedio de velocidad del viento registrado sobre todo el territorio ecuatoriano, factible de aprovecharse en el desarrollo de proyectos eólicos (INER, 2012). De igual manera, resulta propicio el uso de paneles fotovoltaicos en el sector edilicio, debido al potencial solar local (Bermero, 2014; Rivas, 2015). En función de esto, el país debe efectuar reajustes al marco jurídico, de suerte que se incentive la instalación de pequeños emprendimientos eólicos y solares fotovoltaicos conectados a las redes de distribución de baja tensión para consumo propio y, los excedentes sean inyectados a la red (Muñoz-Vizhñay et al., 2018).

En correspondencia con su potencial desarrollo limpio, es posible presentar una estrategia inspirada en la cosmovisión indígena de los pueblos autóctonos de los Andes y la Amazonía, quienes persiguen el 'buen vivir', conforme se define en la Constitución Política de la República. Sus principios se sustentan en el derecho de la población a vivir en un ambiente sano, basado en el respeto a la naturaleza y el acceso a fuentes modernas, renovables y eficientes de energía, entre otros. En este aspecto, se acentúa que un sistema de gestión sustentable basado en el uso eficiente de la energía, es la mejor medida costo-efectiva a corto y mediano plazo para cuidar el medioambiente y preservar los recursos no renovables, reduciendo significativamente las emisiones de dióxido de carbono (CO_2), entre otros gases de efecto invernadero (Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), 2013; Plan Nacional de Eficiencia Energética del Ecuador (PLANEE), 2017).

Por ello, el PLANEE cumple un rol fundamental al dar cumplimiento a iniciativas internacionales orientadas a "garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna" (p. 12), meta establecida por las Naciones Unidas en el séptimo Objetivo de Desarrollo Sostenible y duplicar el índice global de la mejora

en eficiencia energética, (Naciones Unidas y CEPAL, 2018), objetivo esencial de la iniciativa de Energía Sostenible para Todos (SE4ALL, Universidad Nacional de Mar del Plata, 2015). Debido a esto, el Gobierno decreta la Ley Orgánica de Eficiencia Energética (2019), la cual tiene por objeto, establecer el marco legal y el régimen de funcionamiento del Sistema Nacional de Eficiencia Energética (SNEE) y, promover el uso eficiente, racional y sostenible de la energía en todas sus formas, a fin de incrementar la seguridad energética del país, traducida en una mayor productividad energética, competitividad de la economía nacional y la cultura de sustentabilidad ambiental que, en conjunto, aportan a la mitigación del cambio climático y garantizan la toma de decisiones informadas.

En este contexto político, se despliegan numerosas investigaciones internacionales y nacionales, a efectos de conocer el impacto de los programas enunciados, así como, de realizar aportes sustanciales a los mismos (Galarza, 2012). Las mismas proporcionan la caracterización de la curva de demanda eléctrica residencial, así como estrategias de eficiencia energética a través de la implantación de técnicas de inteligencia artificial y de gestión de energía por parte del usuario-habitante, entre otros (Herrera, 2014; Ministerio del Ambiente, 2014; Orejuela et al., 2015; Arcos, 2016; Ríos et al., 2018; Urdaneta, 2020). Respecto a esto último, varios estudios reconocen que el usuario-habitante incide en la eficiencia energética edilicia, con relación al uso de estrategias de adaptación pasivas y activas, conforme propicia el ahorro energético y entiende que las medidas de información, sensibilización y consecuente concientización de las mismas, deben estar presentes (Alonso-Frank y Kuchen, 2017; 2018).

En este aspecto, la Subsecretaría de Hábitat y Asentamientos Humanos (2015) brinda información de base que permite conocer indicadores del modo de vida en Ecuador. En esta línea, Garcés (2017) propone, a nivel local, opciones de optimización del consumo de energía de usuarios residenciales, sin afectar la calidad de vida, mientras que Ocampo (2015) realiza una propuesta para el prediseño de viviendas urbanas desde una perspectiva energética, cuyo comportamiento térmico debe responder a la situación climática actual (Delgado-Gutiérrez, 2020). En este aspecto, se subraya que el sector residencial posee el mayor potencial para aumentar la eficiencia eléctrica, puesto que depende de factores sociales, técnicos, conductuales y tecnológicos (Arcos, 2016).

Finalmente, se destaca que, si bien al presente se cuenta con legislaciones y programas que promueven la eficiencia energética, aún restan por resolver, aspectos vinculados a la falta de promoción por parte de las instituciones, incentivos financieros y económicos, escasez de información, conocimiento y tecnología, entre otros (Urdaneta, 2020). Sumado a ello, es indispensable precisar normativas urbanas y arquitectónicas que favorezcan el uso de las energías renovables: alturas,

forma, orientación, etcétera, especialmente en entornos urbanos con potencial de dichos recursos (Redweik et al., 2013).

Metodología

La metodología que guía la presente investigación es de tipo mixta, por combinar métodos cuantitativos y proyectuales propios de la disciplina arquitectónica, para abordar la problemática enunciada, combinando técnicas documentales, observacionales y de proyección. La misma se estructura en las siguientes fases:

- **Fase 1**: instancia exploratoria de bibliografía; sistematización y análisis de información en materia de aspectos arquitectónicos, urbanos y energéticos que favorezcan la microgeneración de energías renovables en el sector edilicio.
- **Fase 2**: instancia de trabajo de campo. Se procede a seleccionar los casos de estudio y su relevo, a efectos de conocer la viabilidad técnica, arquitectónica y urbana de la aplicación e integración de energías renovables en los casos de estudio. Realización de encuestas.
- **Fase 3**: instancia propositiva de desarrollo de lineamientos para la política pública arquitectónica, urbana y energética, en torno a la generación distribuida de energía renovable con destino al autoconsumo del sector residencial de la ciudad de Loja, Ecuador.

Sustentabilidad en entornos urbanos

De acuerdo con García (2011), la crisis del petróleo de 1973 conduce a que la relación entre la ciudad, el urbanismo, los asentamientos humanos y la energía comience a ser analizada, evidenciando el nulo tratamiento que el urbanismo le daba a esta última; y sostiene que, lamentablemente, ello pierde vigencia cuando los precios del petróleo disminuyen, a mediados de la década de 1980, motivo por el cual las ciudades no son diseñadas ni construidas con criterios de eficiencia energética. En este marco, numerosos trabajos ponen en valor la relación ciudad-energía, definiendo un modelo urbano pospetróleo o tecnosolar, el cual trata al problema energético en sí mismo, independientemente de la dimensión ambiental, como lo postula el denominado desarrollo sostenible (Páez, 2010; García, 2011).

En este contexto, Páez (2009) desarrolla los siguientes lineamientos, para alcanzar un urbanismo energético:

a) **Transporte:**
   - Peatones;
   - Transporte público;
   - Uso de la bicicleta;
   - Uso del automóvil.

b) Arquitectura

c) Planeación urbana y uso del suelo
- Bioclimatismo
- Densidad urbana
- Ordenación del territorio.

d) Fuentes renovables de energía

e) Ahorro y eficiencia energética

f) Metabolismo urbano
- Agua
- Materiales
- Residuos
- Alimentos.

En esta línea, la Planeación urbana y Uso del suelo debe fomentar la concentración descentralizada y, a la vez:

a) Bioclimatismo:

- Aumentar el arbolado y las áreas verdes para crear sombra (evitar el fenómeno conocido como 'islas de calor')
- Agrupar o separar las construcciones según el clima y la región
- Fomentar la definición de lotes más pequeños con la intención de ahorrar energía en las construcciones (zonas frías)
- Definir la anchura de las calles según el clima (sol y vientos)
- Trazar el sistema viario, respondiendo a criterios de soleamiento y viento local, respetando la topografía
- Fomentar una morfología urbana que genere fachadas bien orientadas, creando parques o patios, si es necesario.

b) Densidad urbana:

- Agrupar actividades (educación, trabajo, recreación, comercios) y viviendas en núcleos urbanos, para permitir un fácil acceso
- Adecuar los patrones de uso del suelo, para fomentar la concentración de actividades (uso mixto)
- Evitar densidades demasiado bajas
- Promover la construcción relativamente baja (no más de cuatro pisos) con altas densidades
- Adoptar un estilo de vida localizado
- Promover formas y estructuras espaciales que propicien la concentración, versus la dispersión a nivel intra-urbano
- Promover la dispersión de centros urbanos, versus las grandes concentraciones metropolitanas a nivel regional
- Prohibir la dispersión urbana (conurbaciones)
- Integrar usos del suelo

- Rehabilitar y reutilizar edificios
- Aprovechar los lotes baldíos
- Desarrollar las actividades con alta asistencia de personas alrededor de nodos de transporte público
- No fomentar la zonificación
- Crear proximidad (rehabilitación y/o creación de funciones urbanas, recuperación de la habitabilidad integral del conjunto o de partes del tejido urbano
- Favorecer el desarrollo de nuevos proyectos en las zonas ya desarrolladas o centrales. En caso de que no se pueda, se debe garantizar el acceso a los nuevos desarrollos a través del transporte público
- Rejuvenecer las ciudades interiores
- Construir estacionamientos subterráneos
- Aumentar la densidad en torno de los corredores y estaciones de transporte público
- Integrar la planificación energética y la planificación urbana
- Definir una planificación integral.

c) Ordenación del territorio:

- Crear reservas territoriales
- Preservar tierras agrícolas, espacios rurales y ecosistemas en los alrededores de la ciudad
- Crear un organismo que coordine la planeación y el uso del suelo a nivel regional.

Específicamente, la planificación energética persigue satisfacer, de manera continua, la demanda de una ciudad, región o país, asegurando el cumplimiento de parámetros de calidad y precios aceptables, considerando las energías renovables, como la opción para cambiar el modelo de aprovisionamiento energético (Barragán-Escandón et al., 2019). Acorde a ello, al presente se hace hincapié en la importancia de integrarlas en el desarrollo urbano, conforme a las posibilidades de la configuración urbana, requerimiento energético, disponibilidad de espacio y de recursos (Agencia Internacional de Energía Renovable, IRENA, 2020). De acuerdo con Barragán y Terrados (2017), a escala urbana, las fuentes renovables pueden ser biomasa (desechos de vegetales urbanos lignocelulosos), bioetanol (desechos urbanos forestales), biogás (lodos de aguas residuales; fracción de biodegradable de desechos urbanos/podas), biogás (residuos sólidos urbanos, RSU), incineración (desechos sólidos urbanos e industriales), mareomotriz (agua), mini-eólica (viento), geotermia (calor de la tierra), pequeña hidroeléctrica (radiación solar) solar térmica (radiación solar) y, fotovoltaica (radiación solar).

Su generación *in situ*, minimiza las necesidades de nuevas líneas de transmisión que, actualmente, presentan situación de estrés, producto de la necesidad de satisfacer la creciente demanda, lo cual conduciría al aumento de la seguridad energética, resultando en una oportunidad para el sector de la construcción (Cámara Brasileña

de la Industria de la Construcción, 2016; Samadzadegan et al., 2021). Así, la energía renovable resulta una actividad económica que utiliza el recurso, bajo la protección jurídica del medio ambiente natural (Pacheco y Marques, 2021), motivo por el cual, con relación a las fuentes renovables de energía, Páez (2009) puntualiza la necesidad de:

- Promover un pluralismo energético (diversificación de fuentes)
- Estudiar el potencial energético renovable a escala urbana y municipal
- Fomentar un modelo energético descentralizado
- Gestionar y organizar el sector urbano-energético
- Fomentar la generación distribuida
- Fomentar la instalación de plantas de generación de electricidad de pequeña escala
- Definir normativas de construcción que favorezcan el uso de celdas fotovoltaicas y colectores solares (alturas, forma, orientación)
- Instalar colectores solares
- Instalar celdas fotovoltaicas
- Obtener biogás a través de digestores (a partir de residuos orgánicos)
- Aprovechar, si es posible, la energía geotérmica
- Aprovechar, si es posible, la energía hidráulica a pequeña escala
- Aprovechar, si es posible, la energía eólica
- Aprovechar, si es posible, la energía de las olas y las mareas
- Tener en cuenta la demanda de tierra para las instalaciones (problema económico y de uso del suelo)
- Integrar la política del suelo y el uso de energías renovables
- Desarrollar plantaciones energéticas (bosques, reforestación y regeneración).

En este marco, Barragán-Escandón et al. (2019) definen cuatro dimensiones que se debe tener en cuenta para la selección de energías renovables en espacios urbanos, a nombrar:

a) Técnico Eficiencia

- Disponibilidad de fuente primaria
- Madurez de la tecnología
- Obstáculos urbanos y disponibilidad de área
- Integración arquitectónica.

b) Económica

- Inversión inicial
- Costo de operación y mantenimiento
- Costo de energía.

c) Ambiental

- Calentamiento global
- Acidificación
- Eutrofización.

d) Sociopolítica

- Empleo
- Aceptabilidad social
- Compatibilidad con las políticas internacionales, regionales o locales.

Las dimensiones y sus respectivos criterios fueron consensuados entre especialistas de la academia, instituciones públicas y privadas, entre otros. De ello, resulta que los criterios con mayor peso son: la disponibilidad del recurso y la eficiencia tecnológica, seguidos de la dimensión económica en su totalidad. En contraposición, la integración arquitectónica, la acidificación y eutrofización y la dimensión sociopolítica, resultan los menos influyentes.

Integración de energías renovables en entornos urbanos

La introducción de energías renovables en viviendas contribuye a reducir el 90 % de las emisiones de carbono. Se alude con ello, al concepto de **ciudad solar**, la cual tiene por objeto, reducir el consumo energético, proteger y mejorar la calidad de los espacios urbanos, mitigar el cambio climático, alcanzar mayores niveles de equidad social y, mejorar la calidad de vida de sus habitantes. En esta línea, el éxito del despliegue de sistemas fotovoltaicos en entornos urbanos está en función del nivel de exposición local a la luz solar, la cual presenta importantes variaciones en el paisaje urbano (Redweik et al., 2013). Es por lo expuesto que, Arizaga et al. (2018) buscan definir la localización de un proyecto de generación distribuida fotovoltaica en una ciudad intermedia. Para ello, indican que se debe considerar los siguientes parámetros:

a) Densidad y Compacidad:

- Los proyectos debieran localizarse en las zonas de mayor densidad que presenten cualidades morfológicas adecuadas para su implementación.

b) Forma urbana:

- La morfología de las manzanas podría influir en la solución tecnológica a implementar: manzanas más compactas permitirían una mejor disposición de los lotes y las viviendas para acoger paneles fotovoltaicos. A su vez, un tejido menos compacto podría acoger puntos de concentración de energía, administrada de forma comunitaria o municipal. El distanciamiento y ancho de las calles podrá también influir en los costos de instalación, así como la orientación mayoritaria de la masa construida.
- La orientación se considera un factor relevante, en tanto permite lograr mayores niveles de eficiencia en la generación de energía y, debe ser considerada en etapas tempranas del diseño urbano.
- La existencia de alturas homogéneas podrá ser beneficiosa en la eficiencia técnica del proyecto y en el costo de instalación del mismo, pues implica menos sombras sobre las techumbres.

c) Materialidad de las viviendas:

- Es crítica para la instalación de paneles solares, pues incide en la resistencia y facilidad de instalación.

d) Tipología de construcción de las viviendas:

- Construcciones con grandes superficies de techo, favorecen la instalación de soluciones fotovoltaicas.

A modo de ejemplo, la República Argentina está dando los primeros pasos para la constitución de proyectos sustentables de desarrollo urbano, infraestructura urbana y vivienda, financiados o co-financiados por la Secretaría de Vivienda, en el marco del Plan Nacional de Vivienda. La importancia de abordar dicho sector radica en que se posee un déficit habitacional superior al millón de viviendas, demandando la necesidad de planificar su construcción con criterios de eficiencia energética y, al mismo tiempo, de dotarlas de sistemas de generación renovable (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2019). En correspondencia, la Secretaría de Vivienda y Hábitat (2017) establece estándares mínimos de calidad para viviendas de interés social, donde expresa que es imperiosa la incorporación de las energías renovables en las mismas, como la generación de agua caliente sanitaria, etcétera.

Finalmente, se pone en valor, los pasos para alcanzar la sostenibilidad en la política energética de Chile, la cual se sustenta en cuatro pilares: 1) Seguridad y calidad de suministro; 2) Energía como motor de desarrollo; 3) Energía compatible con el medio ambiente y, 4) Eficiencia y educación energética. Esta política persigue alcanzar las denominadas *Smart Cities* (ciudades inteligentes), en las cuales "la ciudad es pensada por y para los ciudadanos, haciendo uso de procesos de innovación, aplicación y desarrollo de tecnologías que permiten implementar soluciones integrales y sustentables al diseño urbano" (Ministerio de Energía - Gobierno de Chile, s.f., p. 70). Esto refiere a la generación distribuida limpia y al uso eficiente de los recursos energéticos, entre otros.

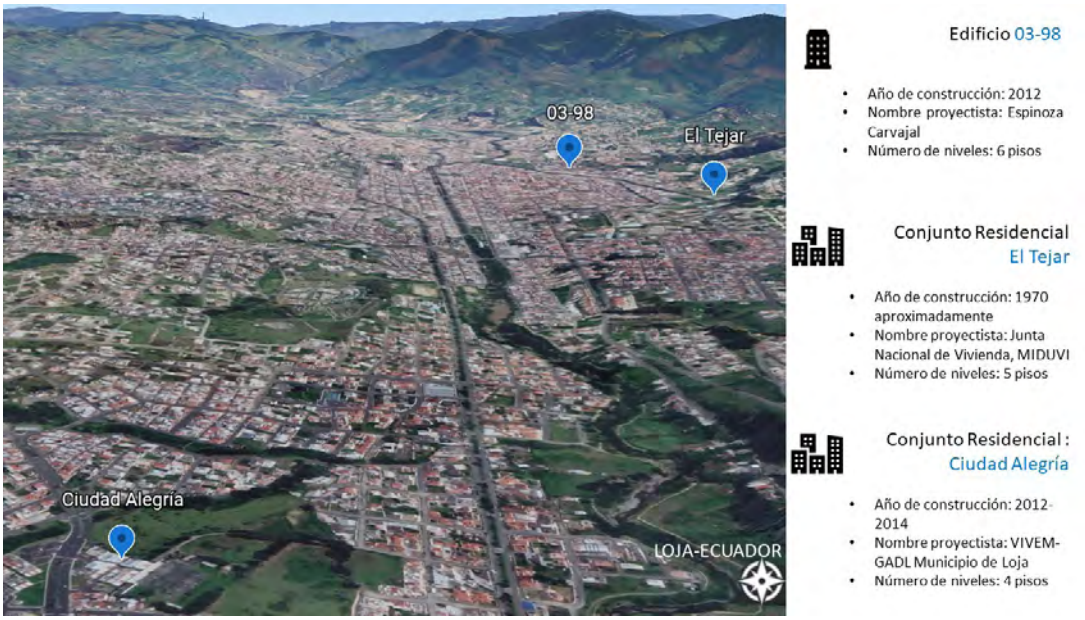
Caso de estudio

La ciudad de Loja se encuentra localizada a una altitud de 2060 m s.n.m. y se levanta en el corazón de la hoya del Zamora. Su clima es cálido y templado, oscilando entre 13 y 26 °C, con una temperatura media del aire que varía entre 17,2 °C y 18,7 °C, con precipitaciones moderadas y una humedad media del 78 %. Es considerada la capital eólica, puesto que tiene más del 52 % del recurso eólico aprovechable para la producción de energía eléctrica de Ecuador. Asimismo, posee una elevada radiación solar con potencial para la generación de electricidad a través de paneles solares fotovoltaicos.

Como casos de estudio, se selecciona los edificios residenciales más representativos de la ciudad de Loja (Figura 1). Los mismos son: el Edificio 03-98, El Tejar y Ciudad Alegría.

Figura 1

Edificios residenciales representativos de la Ciudad de Loja, Ecuador

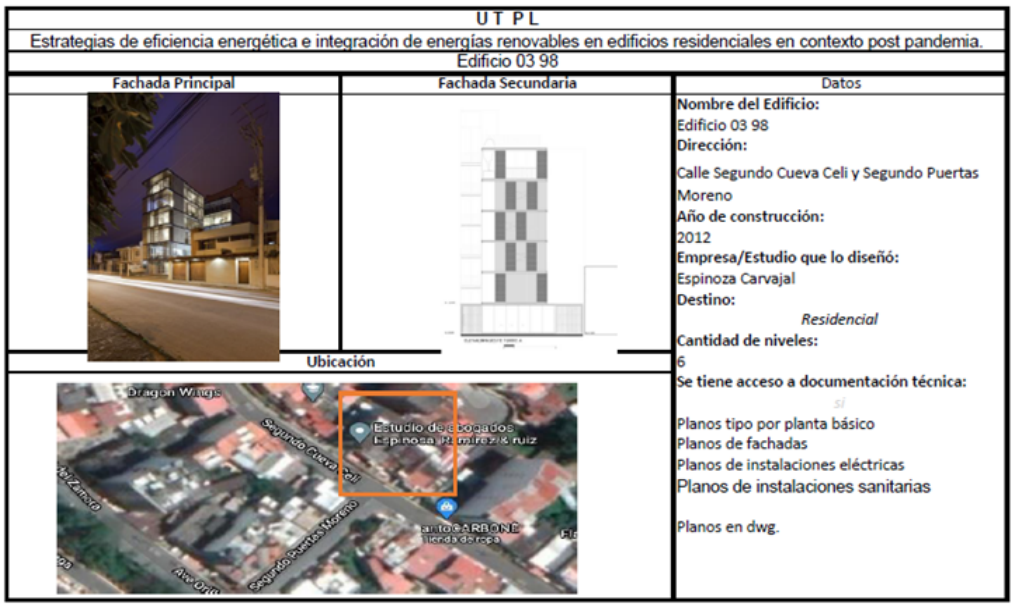


Fuente: elaboración propia

Después de observar las figuras 2, 3 y 4, se procede a la catalogación de los mismos:

Figura 2

Ficha de catalogación del Edificio 03-98



Fuente: elaboración propia

Figura 3

Ficha de catalogación del edificio tipo Conjunto El Tejar



Fuente: elaboración propia

Figura 4

Ficha de catalogación del edificio tipo Conjunto Ciudad Alegría

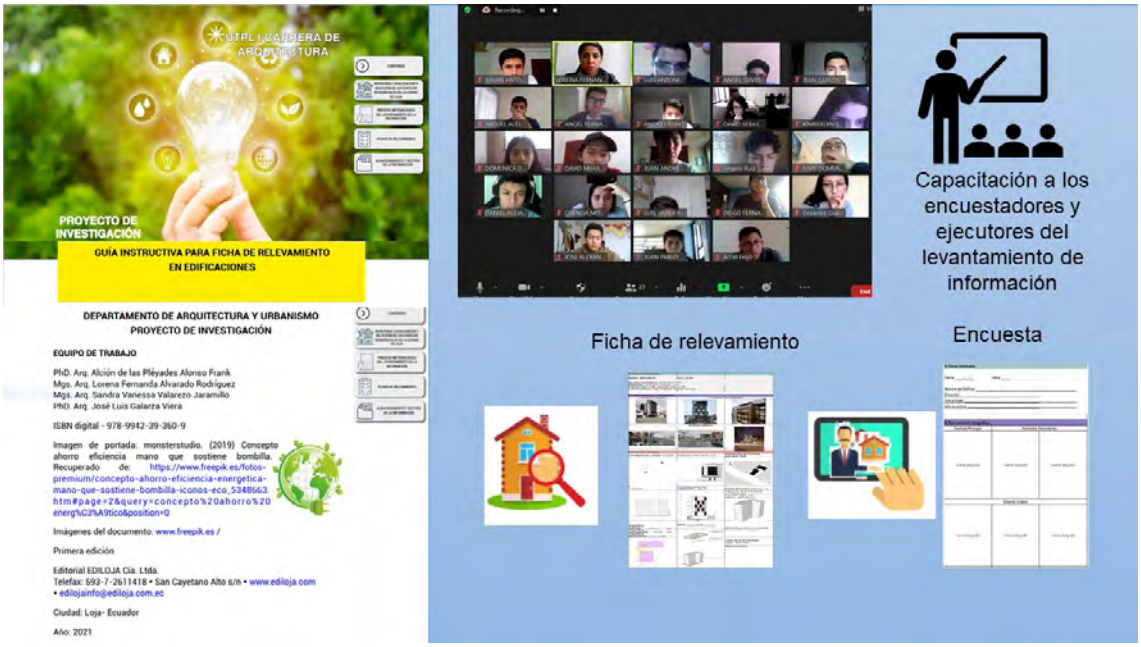


Fuente: elaboración propia

Una vez realizada la catalogación de las edificaciones, se diseña la ficha base de relevamiento y la encuesta para la recolección de datos (Alonso-Frank et al., 2021); igualmente, se capacita a los estudiantes avanzados de la carrera de Arquitectura de la Universidad Técnica de Loja, Ecuador, para que estos efectúen los trabajos de campo (ver Figura 5).

Figura 5

Guía de relevamiento y capacitación a estudiantes de la Universidad Técnica de Loja, Ecuador



Fuente: elaboración propia, 2021

Nivel de adherencia de la población consultada en la ciudad de Loja

Finalizado el trabajo de campo, se procede a la sistematización y análisis de los resultados obtenidos de las entrevistas efectuadas. En primer lugar, respecto al nivel de conformidad con el diseño exterior del edificio, el 25 % de los consultados presenta disconformidad; el 19 % la considera término medio, mientras el 56 % se encuentra conforme. En lo atinente a la inclusión de energías renovables en los edificios, el 56 % expresa que incluiría colectores solares; el 63 %, paneles solares; el 44 %, aerogeneradores y, el 63 %, solados piezoeléctricos en los espacios exteriores del edificio. En consecuencia, se alcanza un nivel de adherencia de la población consultada, del 57 %. En esta línea, respecto de la preferencia de incorporación de energías renovables en los edificios, se tiene, en primer lugar, la aplicación e integración de paneles solares en cubierta, seguidas de la aplicación de aerogeneradores de eje vertical. Se destaca que, quienes no incluirían energías renovables, manifiestan que ello se debe al precio, seguridad y mantenimiento que las mismas demandan.

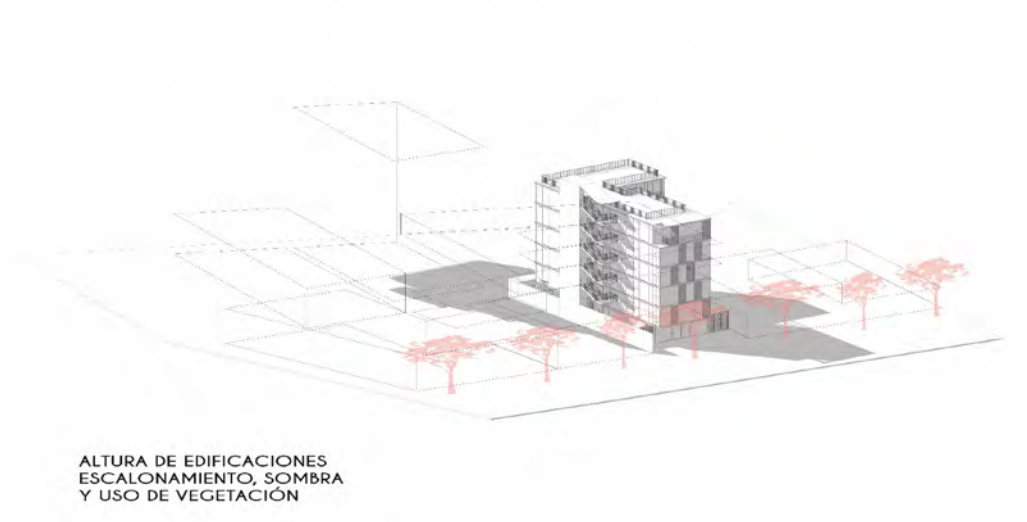
Conforme al alcance de proyectos urbanos y residenciales integrales, el relevamiento de los casos de estudio conduce a establecer los siguientes lineamientos, basados en los estudios internacionales descriptos precedentemente. En lo específico, se puntualiza en el caso de la energía solar fotovoltaica, puesto que es la que se propone en los mismos:

a) A nivel urbano

- Ancho de calles y veredas: determina la cercanía mínima entre edificios, condicionando la maximización del empleo de sus paramentos a la exposición solar.
- Coeficientes de ocupación del suelo: la normativa de planificación urbana incorpora un coeficiente a modo de condicionante urbanístico, el cual define la máxima y mínima ocupación del suelo. Ello guarda relación con las posibilidades de asoleamiento, sombreamiento y ventilación natural del edificio en un entorno determinado.
- Altura de las edificaciones: la existencia de alturas homogéneas puede resultar beneficiosa en la eficiencia técnica del proyecto y en el costo de instalación del mismo, pues implica menos sombras sobre los techos. Además, se deberá estudiar si las diferentes alturas de muros o volúmenes arquitectónicos no impiden la fluida circulación de aire y la adecuada ventilación de paneles solares fotovoltaicos.
- Vegetación y edificios (sombreamiento): es requisito, planificar la especie, su ubicación y su crecimiento futuro, tanto en altura como en diámetro, para evitar afecciones por sombras. De igual manera, la de los edificios colindantes próximos, puesto que pueden perjudicar la instalación.

Figura 6

Ancho de calles y veredas, altura de edificación, sombreamiento y uso de vegetación



- Equipamiento urbano: es potencial, el empleo del equipamiento para generación de energía renovable. A su vez, se debe garantizar que estos no generen sombras que pudieran perjudicar el resto de la instalación. Así mismo, esta se emplea para brindar mejores servicios a la población.

Figura 7

Equipamiento urbano

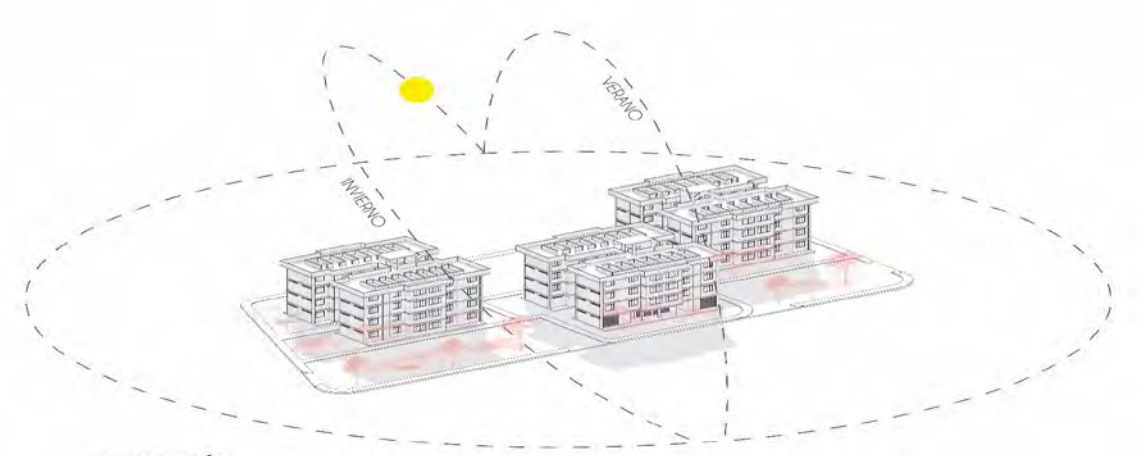


b) A nivel arquitectónico

- Orientación: se debe tener en cuenta, desde la etapa de diseño arquitectónico, ya que permite lograr mayores niveles de eficiencia en la generación de energía. Por este motivo, es prioritario garantizar la mayor exposición solar del paramento horizontal superior.

Figura 8

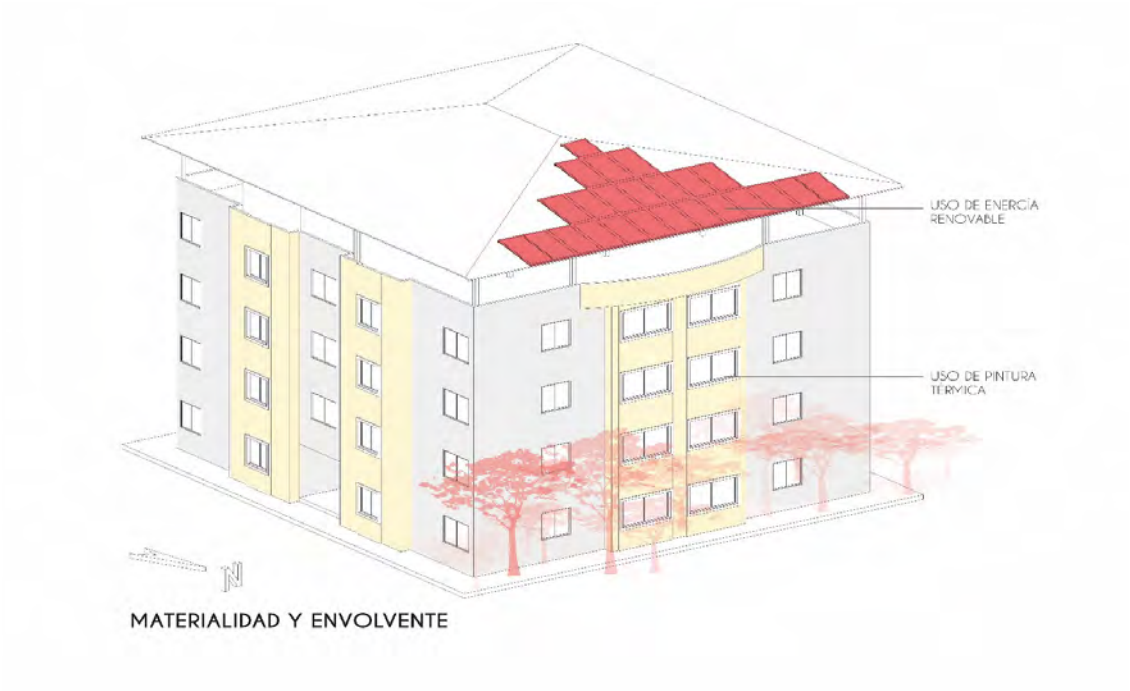
Orientación solar



- Envolvente y materialidad: es requisito, garantizar la mayor exposición solar de los paramentos verticales que conforman la envolvente del edificio, libres de sombras. Igualmente, la estructura debe estar prevista para resistir las cargas de la instalación. Por último, debería propiciarse la integración de la misma en el objeto arquitectónico.

Figura 9

Materialidad y envolvente

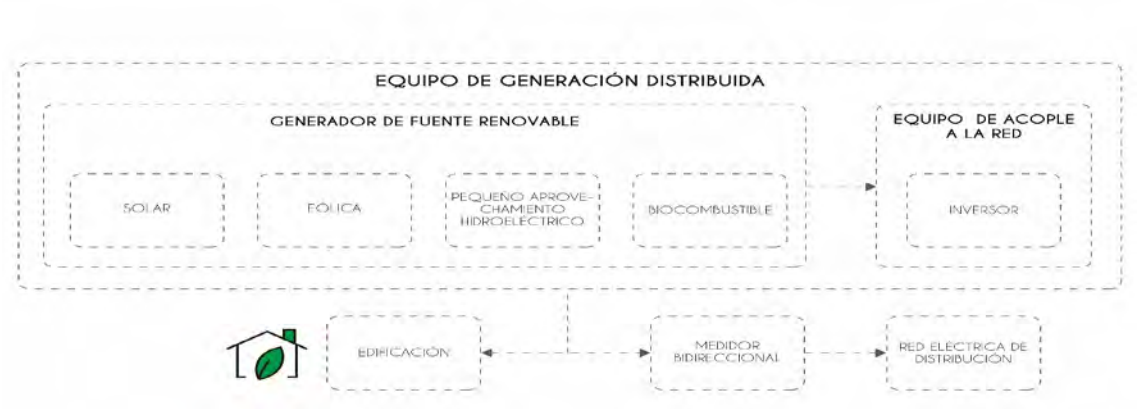


c) A nivel energético

- Generación distribuida de energías renovables con destino al autoconsumo: reformar el marco legal ecuatoriano que contemple los incentivos para la instalación de la generación distribuida por parte de los clientes residenciales, comerciales e industriales, a través de sistemas de energías renovables, especialmente la minieólica y la solar fotovoltaica.

Figura 10

Esquema síntesis de generación distribuida de energías renovables en el sector residencial, comercial e industrial



Fuente: Alonso-Frank y Michaux (2021).

Conclusión

El presente artículo evidencia una cosmovisión del estado actual de la cuestión, en materia de estrategias de eficiencia energética y potencial uso de energías renovables en los edificios residenciales. Como resultado de estudios de casos en la ciudad de Loja, se elabora lineamientos urbanos, arquitectónicos y energéticos que se constituyen en un aporte a las políticas públicas. Se espera que, su aplicación futura conduzca a la concreción de diseños arquitectónicos integrales basados en la implementación de tecnologías renovables que reduzcan los niveles de emisiones de gas de efecto invernadero (GEI) debido.

Referencias

Alonso-Frank, A. y Kuchen, E. (2017). Validación de la herramienta metodológica de Alonso-Frank & Kuchen para determinar el indicador de nivel de eficiencia energética del usuario de un edificio residencial en altura, en San Juan - Argentina. *Revista Hábitat Sustentable*, 7(1), 6-13. https://doi.org/10.22320/07190700.2016.06.01.03

Alonso-Frank, A. y Kuchen, E. (2018). Nivel de eficiencia del usuario (neu) vs. consumo eléctrico en 14 edificios residenciales en altura en San Juan, Argentina. *Revista Hábitat Sustentable*, *8*(1), 68-79. https://doi.org/10.22320/07190700.2018.08.01.06

Alonso-Frank, A. y Michaux, M. C. (2021). Introducción de energías renovables en edificios. Estrategia prioritaria de la política pública energética argentina. *Revista AUS - Arquitectura | Urbanismo | Sustentabilidad*, (31), 86-93. https://doi.org/10.4206/aus.2022.n31-11

Alonso-Frank, A., Alvarado, L. F., Valarezo, S. V. y Galarza, J. L. (2021). *Guía instructiva para ficha de relevamiento en edificaciones: estrategias de eficiencia energética e integración de energías renovables en edificios residenciales en contexto post-pandemia*. Universidad Técnica Particular de Loja.

Arcos, E. (2016). *Estrategias de eficiencia energética en usuarios residenciales* [Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12874/3/UPS-KT01290.pdf

Arizaga, X., Gómez, T., Moris, R. y Carraha, J. (2018). Definición de un *framework* para la implementación de proyectos de generación distribuida fotovoltaica en ciudades intermedias. Caso de estudio: corredor solar de la Cuenca del Salado. En *Intersecciones III Congreso Interdisciplinario de Investigación en Arquitectura, Diseño, Ciudad y Territorio, Santiago*, (pp. 242-253). Ediciones ARQ, Escuela de Arquitectura, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Barragán-Escandón, E. A., Zalamea-León, E. F., Terrados-Cepeda, J. y Parra-González, A. (2019). Las energías renovables a escala urbana. Aspectos determinantes y selección tecnológica. *Bitácora Urbano Territorial*, *29*(2), 39-48. https://doi.org/10.15446/bitacora.v29n2.65720.

Bermero, D. (2014). *Diseño de un sistema autónomo de generación eléctrica híbrido solar-eólico para electrificación domiciliaria* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Loja]. https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/11914

Cámara Brasileña de la Industria de la Construcción. (2016). Energías renovables: gestión eficiente de la energía en la industria de la construcción. Energía solar fotovoltaica en condominios: Oportunidades, aplicaciones y buenas prácticas. https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2017/11/Energias_Renovaveis_2016_esp-1.pdf

Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC). (2013). Plan Maestro de Electrificación 2013 - 2022. https://www.ariae.org/sites/default/files/2017-04/vol1-Resumen-Ejecutivo-PME-2013-2022.pdf

Constitución Política de la República de Ecuador [Const.]. Art. 3. (13 de julio de 2011). Ecuador.

Delgado-Gutiérrez, E. (2020). *Optimización energética de un bloque de viviendas de interés social en Ecuador* [Tesis de Maestría, Universidad de Sevilla, España]. https://hdl.handle.net/11441/101822

Delgado-Noboa, D. (2016). Balance Energético Nacional. https://issuu.com/sectoresestrategicos/docs/balance_energe__tico_2016

Galarza, J. C. (2012). *Ahorro y eficiencia de energía eléctrica en el sector residencial de Guayaquil* [Tesis de Pregrado, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/45550

Garcés, L. (2017). *Diseño e implementación de una calculadora energética doméstica* [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador]. http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/19937?locale=es

García, A. P. (2011). Energía y Ciudad: un enfoque postambiental. Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales, *16*, (927).

Herrera, G. (2014). *Caracterización de la demanda eléctrica del sector residencial de la ciudad de Loja* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Loja]. https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/11916

Instituto Nacional en Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER). (2012). Parque Eólico Villonaco. Máster plan. Whistler. https://www.geoenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/09/fuentes_de_informacion.pdf

Instituto Nacional en Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER). (2016). Análisis de oportunidades de investigación, desarrollo e innovación en eficiencia energética y energías renovables en Ecuador. Un enfoque desde el sector académico. https://b4future.com/wp-content/uploads/2019/04/Ana%CC%81lisis-de-Oportunidades-de-IDi-en-EE-y-ER-en-Ecuador.pdf

International Renewable Energy Agency (IRENA). (2020). Renewable capacity statistics 2020. https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2020.pdf

Ley Orgánica de Eficiencia Energética. (2019). Gobierno del Ecuador. https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/Ley-Eficiencia-Energe%CC%81tica.pdf

Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER). (2017). Informe de rendición de cuentas. https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2019/01/Informe-RC-2017-MEER.pdf

Ministerio de Energía - Gobierno de Chile. (s.f.). Energía 2050. Política energética de Chile. https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/energia_2050_-_politica_energetica_de_chile.pdf

MinisteriodelAmbiente.(2014).Guíaprácticaparaelahorroyusoeficientedeenergía. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/03/GUIA-PRACTICA-PARA-EL-AHORRO-Y-USO-EFICIENTE-DE-ENERGIA-22NovBAJAa.pdf

Muñoz-Vizhñay, J. P., Rojas-Moncayo, M. V. y Barreto-Calle, C. R. (2018). Incentivo a la generación distribuida en el Ecuador. *Ingenius*, (19), 60-68. https://doi.org/10.17163/ings.n19.2018.06

Naciones Unidas y CEPAL. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y El Caribe*. Naciones Unidas.

Ocampo, K. (2015). *Propuesta metodológica para el prediseño de viviendas urbanas tipo de alto desempeño térmico, desde una perspectiva energética* [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador]. http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/12668

Orejuela, V., Arias-Cazco, D., & Aguila, A. (2015). Response of residential electricity demand against price signals in Ecuador. *Proceedings of the 2015 Ieee Thirty Fifth Central American and Panama Convention (CONCAPAN XXXV)*. https://www.researchgate.net/publication/302531400_Response_of_Residential_Electricity_Demand_Against_Price_Signals_in_Ecuador

Otero, D., Cohn, R. y Arboit, M. (2019). Estudio de normativas urbano-edilicias para la eficiencia energética. Godoy Cruz, Mendoza, Argentina. *III ISUF-H Congreso Internacional. Ciudad compacta vs. ciudad difusa. Guadalajara, México*. https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/145459/Otero%3BCohn%3BArboit%20-%20Estudio%20de%20normativas%20urbano-edilicias%20para%20la%20eficiencia%20energ%C3%A9tica.%20Godoy%20C....pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pacheco, C. A. y Marques, R. (2021). Sostenibilidad territorial y cambio climático: la planificación estratégica para un desarrollo territorial sostenible. *Revista Iberoamericana de Gobierno local*, (21).

Páez, A. (2009). Sostenibilidad urbana y transición energética: un desafío institucional [Tesis Doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México]. http://habitat.aq.upm.es/suyte/oc.pdf

Páez, A. (2010). Energy-urban transition: The Mexican case. *Energy Policy, 38*(11), 7226-7234. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.07.053

Plan Nacional de Eficiencia Energética del Ecuador 2016 - 2035 (PLANEE). (2017). https://www.cnelep.gob.ec/wpcontent/uploads/2017/09/1.PLAN_NACIONAL_EFICIENCIA_ENERGETICAmaqueta-final-digital.pdf

Redweik, P., Catita, C., & Brito, M. (2013). Solar energy potential on roofs and facades in an urban landscape. *Solar Energy, 97*, 332-341. https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.08.036

Ríos, A., Guamán, J. y Vargas, C. (2018). Análisis de la implementación de una estrategia de reducción del consumo energético en el sector residencial del Ecuador: Evaluación del impacto en la matriz energética. *Revista Técnica Energía*, *15*(1), 98-109. https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v15.n1.2018.328

Rivas, E. (2015). *Análisis de factibilidad de un sistema de generación fotovoltaica para el sector residencial de la ciudad de Loja* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de

Loja]. https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/11696

Samadzadegan, B., Samareh, S., Dabirian, S., Ranjbar, S., Rasoulian, H., Sanei, A., & Eicker, U. (2021). Novel energy system design workflow for zero-carbon energy district development. *Frontiers in Sustainable Cities*, *3*, 23. https://doi.org/10.3389/frsc.2021.662822

Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2019). Propuestas de implementación de energías renovables en viviendas sociales para la generación de energía eléctrica distribuida y solar térmica. Argentina. https://www.argentina.gob.ar/ambiente/desarrollo-sostenible/vivienda/estudio.

Secretaría de Vivienda y Hábitat. (2017). Estándares mínimos de calidad para viviendas de interés social. Argentina https://www.erreius.com/Legislacion/documento/20170707075203668/resolucion-9-e-2017-estandares-minimos-de-calidad-para-viviendas-de-interes-social-en-el-marco-del-plan-nacional-de-vivienda

Subsecretaría de Hábitat y Asentamientos Humanos (SHAH). (2015). Informe Nacional del Ecuador para la Tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre Vivienda y Desarrollo Urbano Sostenible HABITAT III. Ministerio de Desarrollo Urbano y de vivienda. https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/05/Informe-Pais-Ecuador-Enero-2016_vf.pdf

Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMP). (2015). Energía Sostenible para Todos (SE4ALL). https://eco.mdp.edu.ar/institucional/eco-enlaces/1085-energia-sostenible-para-todos-se4all

Urdaneta, M. (2020). Plan de uso eficiente de la energía eléctrica en el eje residencial, comercial y público en el Ecuador. *Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información*, *Risti. 25*, 16-30.

Soluciones para la estabilización de taludes mediante tecnologías o procesos basados en la conservación del medio ambiente. Una revisión del estado del arte

Paula Alejandra Revelo Cabrera[1]

Jenny Lucía Huertas Delgado[2]

Resumen

Esta monografía hace una recopilación de información secundaria, presentando sugerencias, con el fin de ayudar a la toma de decisiones frente a casos de deslizamientos de suelos en taludes de Colombia, específicamente en vías primarias, proporcionando un equilibrio tanto ambiental como socioeconómico.

Se identifica posibles causas que generan la inestabilidad de taludes y, los procesos de mitigación, con tecnologías eficientes de remediación de suelos, entre ellas, los materiales geosintéticos para reforzar taludes.

Una de las causas de deslizamiento de suelos en Colombia se debe a las características topográficas y las condiciones climáticas variables que incrementan la susceptibilidad de la ocurrencia de estos fenómenos. La amenaza de deslizamientos en Colombia está en dominios relativos muy alta I y II, correspondientes a la región occidental: departamento de Chocó, Valle del Cauca, Cauca y Nariño.

En cuanto a técnicas de prevención o mitigación, se identifica: recubrimiento de las superficies, conformación de talud, control del agua subterránea y superficial, estructuras de contención, mejoramiento del suelo. Es importante conocer las características físicas del suelo, para determinar las enmiendas que optimicen la estructura del mismo y permitan una mejor retención de agua y la penetración de las raíces. Es necesario preparar un suelo, antes de la implementación del manto.

Palabras clave: tecnologías; prevención; mitigación; deslizamientos.

[1] Universidad Mariana, Ingeniería Ambiental, Colombia. Correo: paurevelo@umariana.edu.co
[2] Universidad Mariana, Ingeniería Ambiental, Colombia. Correo: jlhuertas@umariana.edu.co

Introducción

En la historia de la humanidad ha ocurrido una gran cantidad de catástrofes en núcleos urbanos, relacionados con los deslizamientos de tierra, muy comunes, por razones geográficas o topográficas. Según Arias (2012), en el caso de Colombia, los efectos de los deslizamientos en el territorio nacional son relevantes, debido a las características morfológicas y el relieve accidentado. Esta clase de fenómenos se presenta más frecuentemente en la cordillera Andina.

Los desplazamientos de masa de tierra o rocas por una pendiente, en forma súbita o lenta y su ocurrencia, pueden depender de los siguientes factores: clase de rocas y suelos, orientación de las fracturas o grietas en la tierra, cantidad de lluvia en el área o precipitación, actividad sísmica, actividad humana (cortes en ladera, falta de canalización de aguas, etc.).

En Colombia, es muy frecuente que pase este tipo de fenómenos; en la zona montañosa sobre la cual está asentada la mayor parte de la población, especialmente, es muy probable la ocurrencia de deslizamientos. La diversidad de suelos, topografía y climas de Colombia es una de las condiciones que hacen que el país sea uno de los más susceptibles a este fenómeno.

Por lo anterior, esta monografía trata sobre la susceptibilidad de deslizamiento de suelo que hay en Colombia, principalmente en las vías primarias; por ello, se presenta información sobre deslizamientos de suelos o en masa y, las técnicas eficientes para prevenirlos o mitigarlos, que sean pertinentes para la toma de decisiones frente a casos de deslizamiento de suelos en taludes en Colombia.

Metodología

La monografía se desarrolló con base en la metodología propuesta por Ordoñez et al. (2018), conjuntamente con la de Gómez-Luna et al. (2014), al plantear diferentes fases que permiten buscar, ordenar y obtener información confiable que ayude a soportar los diferentes estudios relacionados con el comportamiento, causas, efectos y soluciones de los deslizamientos de suelos en taludes de Colombia, fases que fueron acopladas a cada uno de los objetivos formulados, con el fin de dar cumplimiento a cada uno de ellos. A continuación, se describe detalladamente el procedimiento desarrollado para cada una de las fases del estudio:

Objetivo 1: Identificar las causas que generan la inestabilidad de los terrenos en las vías primarias de Colombia.

Fase I: para el desarrollo de esta fase se utilizó la información disponible, que permitió identificar previamente unidades documentales como: bibliotecas, centros de documentación, centros de referencia, bases de datos, revistas, artículos, tesis de grado, entre otros, que resultaran útiles para la recopilación de información.

Fase II: se reconoció, acopió e identificó de manera preliminar, fuentes documentales secundarias, con el propósito de aproximarse a la temática abordada y poder construir el esquema que se trabajó en el estado de arte. Para esto se desarrolló un plan de recopilación por medio de una ficha técnica elaborada en el software Excel, como se muestra en la Tabla 1, la cual permitió organizar jerárquicamente la información recopilada, para proceder a clasificar los textos encontrados, teniendo en cuenta los siguientes criterios: título del artículo, autores, base de datos y tipo de documento, ya sea libro, artículo, entre otros; también se muestra el ítem de observaciones, que indica la información que proporciona cada uno de los estudios recopilados para soportar el estado del arte.

Tabla 1

Ficha técnica de organización de la información

N.º	Título	Autores	Año de Publicación	Base de Datos	Tipo de documento	Observaciones

Objetivo 2: Reconocer técnicas más eficientes para prevenir y recuperar un suelo que ya tuvo alguna serie de deslizamiento de masa.

Se llevó a cabo las siguientes fases:

Fase I: destilación de información, considerada como la clasificación de la información secundaria, según Jiménez et al. (2018). Para ello, se desarrolló una matriz en el programa Excel. En primer lugar, se definió cuatro criterios de selección de información, que fueran de interés para este estudio, enfocados a palabras claves y contenido importante, que apoyasen esta investigación, como, por ejemplo, aquellos estudios relacionados con deslizamientos de suelos en Colombia, materiales geosintéticos y sus funciones, análisis de mapas de SIG-OT como, precipitación, vías primarias de Colombia, mapa de susceptibilidad de remoción en masa. En este orden de ideas, los criterios fueron manejados con una escala de valoración de 1 a 10, para llevar a cabo la destilación de información. Asimismo, estos criterios fueron aplicados a la matriz de puntuación, como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2

Matriz de puntuación de información recopilada

N.º	Título	Autores	Año de Publicación	Base de Datos	Tipo Documento	Criterios				Puntaje Total
						1	2	3	4	

Posterior a este proceso, se tuvo en cuenta los índices para identificar las experiencias exitosas y los vacíos de información, como se expone a continuación:

- Se calcula el porcentaje que obtuvo cada ítem o criterio de selección, utilizando la ecuación:

$$PAA\%(n) = \left(\frac{T}{TA}\right) * 100$$

…donde:

PAA %: es el porcentaje de artículos preseleccionados que corresponden al criterio de selección.

T: es el total de artículos preseleccionados que corresponden al criterio de selección.

TA: es el total de artículos preseleccionados.

n: es el número del criterio de selección propuesto.

- Una vez terminada esta parte, se calcula el promedio de porcentaje de los criterios de selección. Con este indicador y el siguiente, se puede determinar si los estudios son de relevancia al momento de ser publicados científicamente, demostrando así la confiabilidad:

$$APPA\% = \frac{PPA\%(1) + PPA\%(n) + .. PPA\%(n)}{TC}$$

…donde:

APPA %: es el promedio de porcentajes de preguntas o criterios de selección.

PPA%(n): es el porcentaje de los artículos que responden con los cinco criterios de selección.

TC: total de criterios de selección.

- Finalmente, se calcula un porcentaje de quiebre, mínimo o límite, basándose en la siguiente fórmula:

$$MAPAA\% = \frac{APPA\%}{3}$$

…donde:

MAPAA %: es el porcentaje de quiebre

APPA %: es el promedio de criterios de selección.

Mediante este indicador, se puede identificar si el estudio en la temática de interés es abordado por la literatura científica o no; si lo es, el PAA % deberá ser mayor a este punto de quiebre.

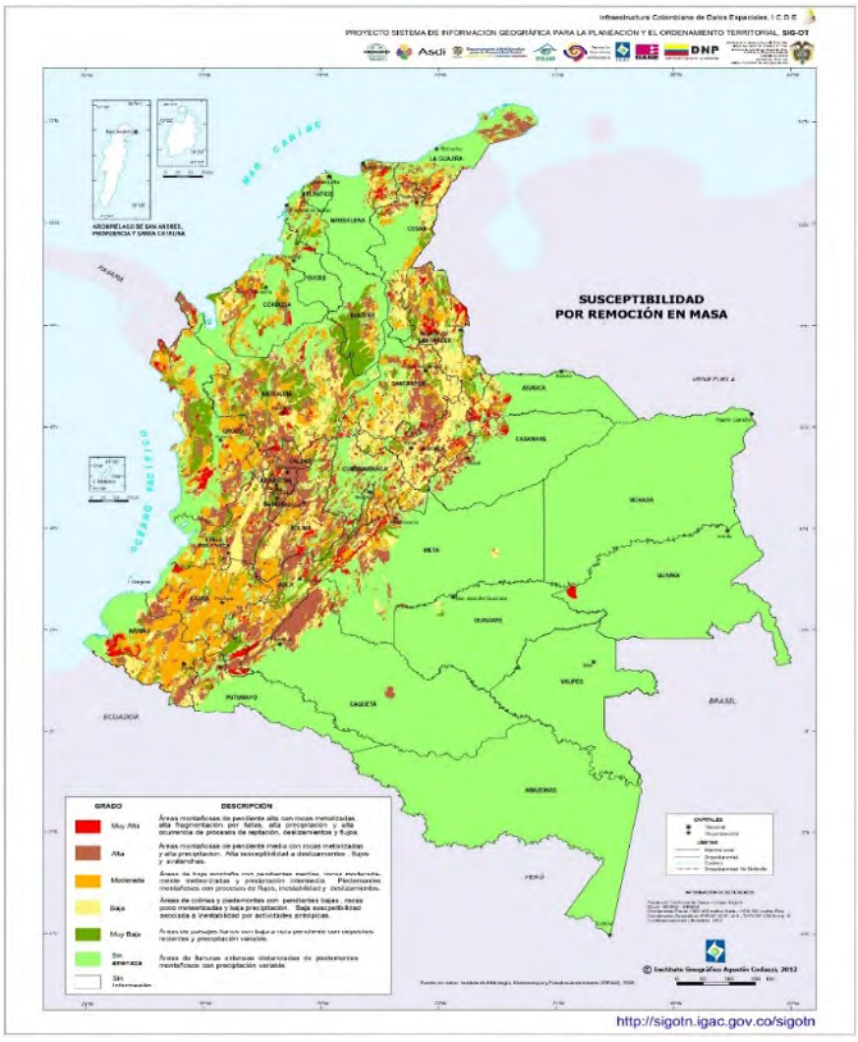
Fase III: Interpretar la documentación obtenida, que permitió analizar los conceptos de las disciplinas científicas y crear nuevos con base en ellos, con la visión crítica de los autores y su posterior aporte crítico - personal; así, se estructura y redacta el informe, desarrollando un análisis y discusión de las temáticas que contempla cada uno de los temas abordados, teniendo en cuenta la información secundaria recolectada.

Identificación de causas que generan la inestabilidad de los terrenos en las vías primarias de Colombia

Según López y Fariñas (2008), una de las causas de los derrumbes o deslizamientos de suelos en Colombia se debe a las características topográficas y las condiciones climáticas que intensifican la susceptibilidad de la ocurrencia de estos fenómenos, como una relación entre las pendientes del terreno y la precipitación. Se hace más frecuente en la zona montañosa sobre el cual se ubica la mayoría de población. Es importante considerar que existen diferentes tipos de fallas que permiten una inestabilidad del talud, que pueden ser, tanto de tipo natural, como artificial; sin embargo, para la identificación de las causas que generen la inestabilidad del suelo en las vías, se requiere distinguir las que ocurren en suelos residuales, en suelos trasportados o en materiales que han sufrido un proceso de compactación durante la obra.

Figura 1

Mapa de susceptibilidad por remoción en masa de Colombia



Fuente: Servicio Geológico Colombiano (SGC), (2017)

Tabla 3

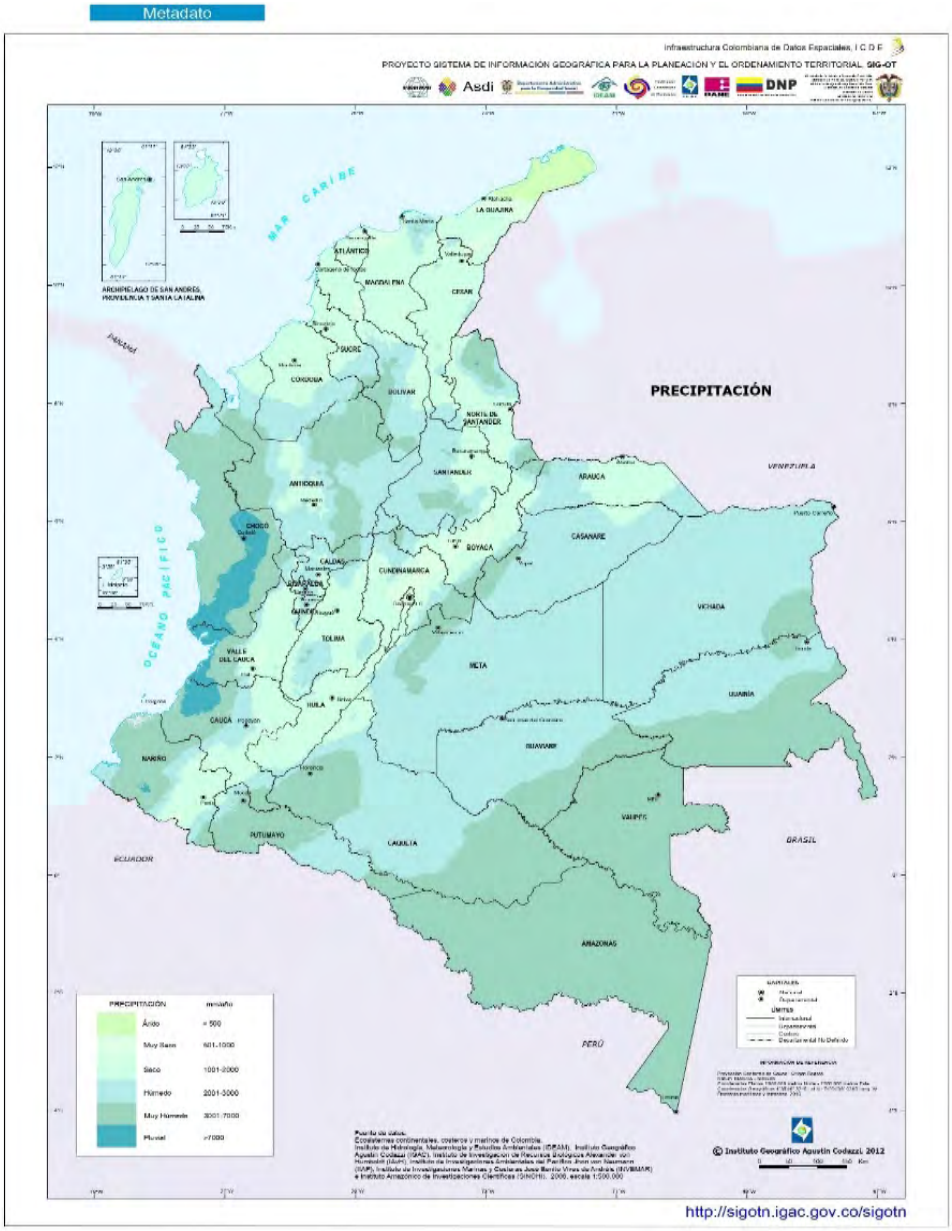
Descripción de tipos de receptibilidad presentes en el mapa de remoción en masa

	GRADO	DESCRIPCIÓN
	Muy alta	Áreas montañosas de pendiente alta con rocas meteorizadas, alta fragmentación por fallas, alta precipitación y alta ocurrencia de procesos de reptación, deslizamientos y flujos.
	Alta	Áreas montañosas de pendiente media con rocas meteorizadas y alta precipitación. Alta susceptibilidad a deslizamientos, flujos y avalanchas.
	Moderada	Áreas de baja montaña con pendientes medias, rocas moderadamente meteorizadas y precipitación intermedia. Piedemontes montañosos con procesos de flujos, inestabilidad y deslizamientos.
	Baja	Áreas de colinas piedemontes con pendientes bajas, rocas poco meteorizadas y baja precipitación. Baja susceptibilidad asociada a inestabilidad por actividades antrópicas.
	Muy baja	Áreas de paisajes llanos con baja a nula pendiente con depósitos recientes y precipitación variable
	Sin amenaza	Áreas de llanuras extensas distanciadas de piedemontes montañosos con precipitación variable.
	Sin información	

En la descripción de este mapa temático sobre la susceptibilidad por remoción en masa en Colombia, se evidencia siete colores.

Figura 2

Mapa de precipitación en Colombia

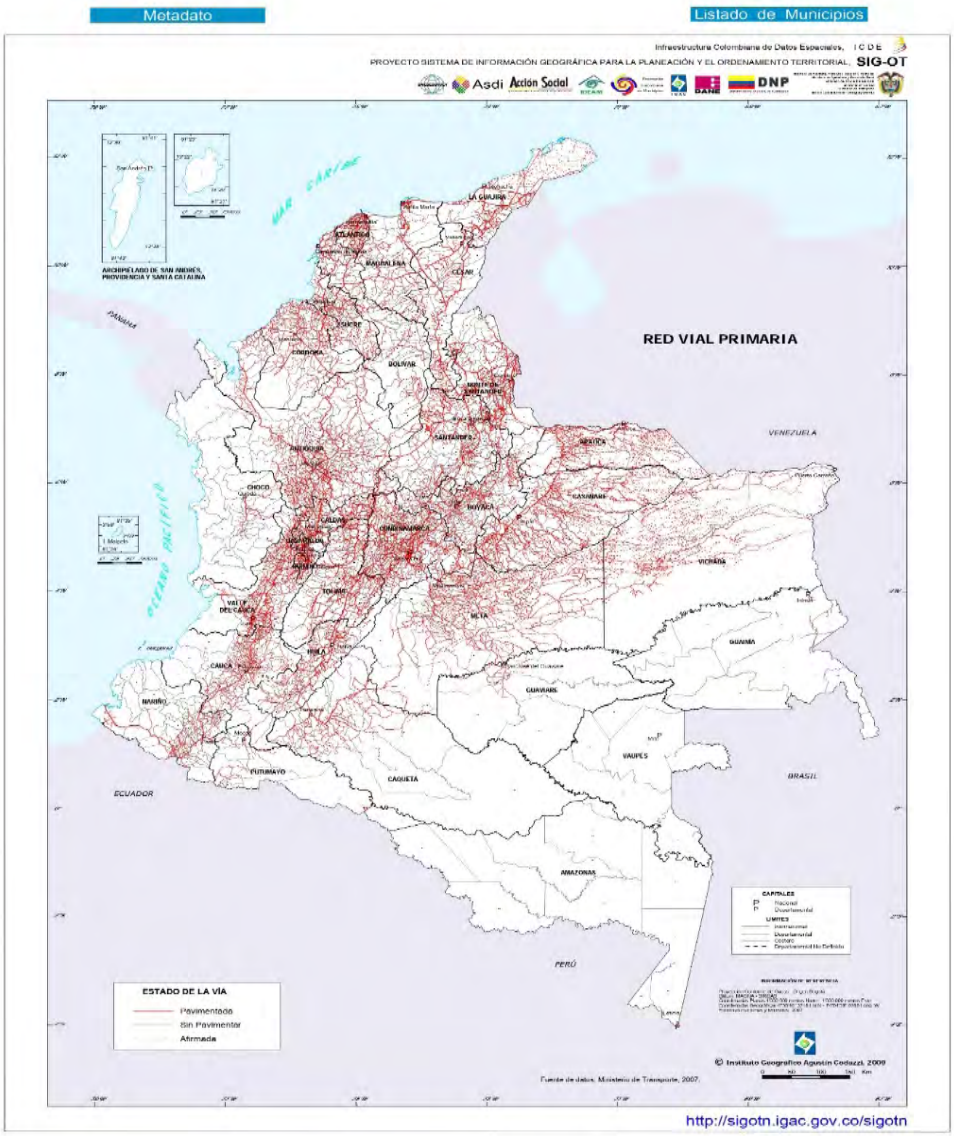


Fuente: Servicio Geológico Colombiano ([SGC], 2017)

En el mapa temático de precipitación se encuentra una escala de mm/año de precipitación, la cual está desde el rango de <500 mm/año, que va de árido hasta pluvial, que es de >7000 mm/año. Teniendo como referencia este mapa de precipitaciones, se puede observar que, la zona Andina, el Cauca, Chocó y Valle del Cauca, son las zonas en donde más precipitación al año tienen asiento zonas pluviales con un rango mayor a 7000 mm/ año.

Figura 3

Mapa de la red vial primaria de Colombia



Fuente: Servicio Geológico Colombiano (SGC), (2017)

En el mapa temático de las redes viales primarias en el territorio nacional, se puede encontrar las vías pavimentadas, aquellas sin pavimentar y las afirmadas, observando que el tramo más poblado de vías, es la zona andina.

Considerando que, en Colombia algunos departamentos de mayor distribución de mercancías transportadas por vías primarias para los municipios y ciudades son: Cauca, Valle del Cauca, Antioquia, Nariño, también son el foco de investigación, debido a que se hallan en alto riesgo de deslizamiento en masa, según la información obtenida por el SGC (2017), sin olvidar que estas vías son importantes para el crecimiento del país y la economía.

Chocó es uno de los 32 departamentos de Colombia; su capital es Quibdó; la precipitación en sus municipios o ciudades como El Cantón de San Pablo, Quibdó, el Litoral de San Juan, Istmina y Lloró, tienen una precipitación alta; es decir, una precipitación pluvial mayor a 7000 mm/año; no obstante, la remoción en masa en Quibdó es 'sin amenaza', debido a que cuenta con un área en donde no hay altas pendientes; se encuentra en áreas de llanuras extensas, distanciadas de piedemontes montañosos. En comparación con el municipio de Bajo Baudó, este tiene una precipitación muy húmeda; esto quiere decir que está en 3001 hasta 7000 mm/año, menor a Quibdó, pero está en un grado muy alto de susceptibilidad de remoción en masa, ya que tiene un área montañosa de pendientes altas con rocas meteorizadas, alta fragmentación por fallas, alta precipitación y alta ocurrencia de procesos de reptación. El predominio es de erosión concentrada y diferencial, con presencia de deslizamientos.

Otro de estos fenómenos ocurre también en el Valle del Cauca, cuya capital es Cali. Está ubicado en las regiones Andina y del Pacífico, limitando al norte con Chocó y Risaralda; al este, con Quindío y Tolima; al sur con Cauca y al oeste con Chocó y el océano Pacífico. Tiene una temperatura promedio de 23 y 24 °C, que corresponde al piso térmico cálido; la humedad relativa fluctúa en el rango de 65 % - 75 % (Alcaldía de Santiago de Cali, 2021).

Cabe mencionar que, los factores que son prioritarios en los deslizamientos de suelos, son las pendientes y el tipo de suelo, dado que, lugares con baja precipitación y altas pendientes, que presentan deslizamientos de masa.

Buenaventura, en el Valle del Cauca, tiene una alta precipitación, mayor a 7000 mm/año, que pertenece a una escala pluvial, pero, está en un área sin amenaza de deslizamiento, ya que pertenece a un área en donde hay llanuras extensas, distanciadas de piedemontes montañosos; su grado de riesgo es muy bajo, asociado a áreas de paisajes llanos, con baja a nula pendiente con depósitos recientes. Aun así, el diario El País (2019), en diciembre informó

> Un deslizamiento de tierra en la noche de este lunes, provocado por las fuertes lluvias que han caído sobre distintos municipios del Valle del Cauca, [que] obligó al cierre de un carril de la doble calzada Buga - Buenaventura hasta la mañana de este martes.
>
> La emergencia se registró en el kilómetro 36 con 900 metros, sector de Bendiciones, y fue atendida por personal del Instituto Nacional de Vías, Invías, con colaboración de la seccional de Tránsito y Transporte de la Policía Valle.
>
> De acuerdo con el reporte de Invías, se trató de un "derrumbe de 150 metros cúbicos, aproximadamente con varios árboles afectados, que cerró la calzada izquierda de la vía Buga – Buenaventura", lo que provocó restricción temporal. (párr. 1-3)

Figura 4

Deslizamiento de tierra en la vía a Palmira



Fuente: El País (2019)

Medellín, capital de Antioquia, la segunda ciudad más poblada del país, está ubicada al noroccidente del territorio nacional, en las regiones Andina y Caribe, limitando al norte con el mar Caribe (océano Atlántico), Córdoba y Bolívar; al este, con Santander y Boyacá; al sur, con Caldas y Risaralda y, al oeste, con Chocó; tiene una temperatura de 20 °C. El departamento presenta una diversidad geográfica que conjuga casi todos los elementos de la geografía colombiana: mar, llanuras, montañas, altiplanos, páramos, ríos, ciénagas y bosques; por lo tanto, los deslizamientos de suelo o masa son ubicados o zonificados, por ejemplo, en La Pintada, Abejorral, La Estrella, Armenia, Olaya, Santafé de Antioquia, Caicedo, San Pedro, Yalí, Belmira, entre otros.

Estas formaciones están afectadas tectónicamente de manera apreciable y, en consecuencia, hay presencia de grandes fracturas y cizallamiento; también, se da una precipitación anual húmeda y seca, tomando rangos de 2001 hasta 3000 mm/año y de 1001 hasta 2000 mm/año.

Uno de los municipios afectados recientemente por este fenómeno, al tener uno de los factores cruciales como la pendiente y el tipo de suelo, es Yalí; el pasado 9 de julio fueron afectadas más de 50 viviendas y 48 familias; además, hubo pérdida de cultivos, quedaron averiadas varias instituciones educativas y, algunas vías secundarias y terciarias presentaron afectaciones (Redacción Colombia, 2020).

Figura 5

Municipio de Yalí en el departamento de Antioquia



Fuente: Redacción Colombia (2020)

Nariño se sitúa en el noreste del nudo de los pastos; su capital es San Juan de Pasto y tiene una temperatura que oscila entre 11 y 16 °C; está ubicada en el extremo suroeste del país, en las regiones Andina y Pacífica, limitando al norte con Cauca, al este con la república de Ecuador y al oeste con el océano Pacífico (Gobernación de Nariño, 2020).

Magüí, Roberto Payán, Ricaurte, Cumbal, Barbacoas, Olaya Herrera, La Tola, Mosquera, El Charco y Santa Bárbara son los municipios y ciudades con más precipitación en el departamento, por su humedad, con una precipitación de 3001 hasta 7000 mm/año; sin embargo, donde hay más deslizamientos en masa es en Barbacoas, Ricaurte, La Llanada, Los Andes, Cumbitara, Policarpa, El Rosario y La Florida, que tienen una precipitación seca de 1001-2000 mm/año, teniendo una susceptibilidad de remoción en masa de grado muy alta, para Ricaurte, Barbacoas y parte de Tumaco, que cuentan con áreas montañosas con pendiente altas, medias y rocas meteorizadas y moderadamente meteorizadas, con alta susceptibilidad de deslizamientos, flujos y avalanchas.

Un deslizamiento de tierra en la vereda El Palmar, ubicada a 2.5 kilómetros de la cabecera municipal de Ricaurte, taponó la vía Pasto – Tumaco.

Figura 6

Deslizamiento de suelo en el municipio de Ricaurte, departamento de Nariño



Fuente: Alcaldía de Ricaurte (Informativo del Guaico, 2020)

Reconocimiento de técnicas más eficientes para prevenir los problemas que generan los deslizamientos de masa en Colombia

Para proponer una solución o técnica más eficiente para prevenir o mitigar deslizamientos de suelo en los taludes en Colombia, es necesario realizar labores de campo; entre ellas, el reconocimiento del área afectada, el análisis de la hidrología, la determinación de la superficie y la medición de la forma residual horizontal y del volumen del material, el uso de mapas y fotografías aéreas, la identificación de las causas y evaluación de daños.

Los sistemas que ayudan a estabilizar un talud en Colombia, según Suárez-Díaz (2001) son:

1. Conformación del talud o ladera
2. Recubrimiento de las superficies
3. Control del agua subterránea y superficial
4. Estructuras de contención
5. Mejoramiento del suelo.

Descripción de técnicas de mitigación de deslizamiento de taludes

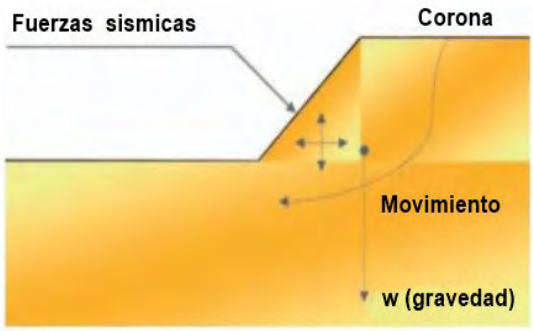
Reducción de fuerzas actuantes

Alberti et al. (2006) sostienen que, estas son el procedimiento por medio del cual se tiende a lograr el equilibrio de las masas del talud, reduciendo las fuerzas

desestabilizadoras que producen el movimiento; el esfuerzo total normal puede incluir un exceso de presión de los poros, que se debe especificar con la introducción de los parámetros de fuerza eficaz.

Figura 7

Fuerzas provocadas por gravedad y sismos (actuantes)



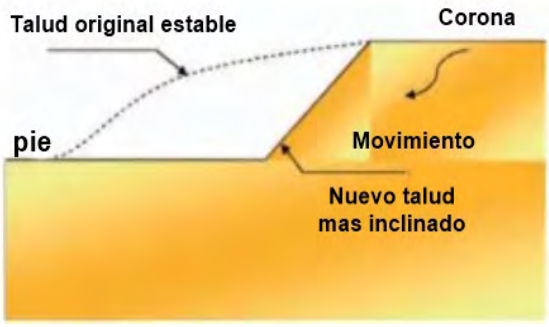
Fuente: Montoya-Orozco (2009)

Modificación de la geometría del talud

De acuerdo con Alberti et al. (2006), en la modificación de la geometría del talud se logra redistribuir las fuerzas relacionadas con el peso de los materiales y se obtiene una nueva configuración, más estable.

Figura 8

Variación de la geometría de un talud por erosión



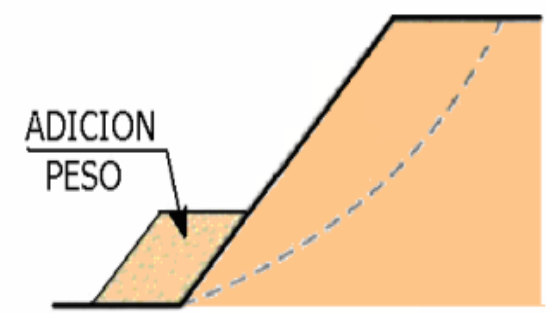
Fuente: Montoya-Orozco (2009)

Empleo de contrapeso al pie del talud

Al colocarle carga adicional a la base de un talud con una inestabilidad de deslizamiento de tipo rotacional, se genera un momento en dirección contraria al movimiento, el cual produce un aumento en el factor de seguridad (Alberti et al., 2006).

Figura 9

Área de colocación de material al pie del talud

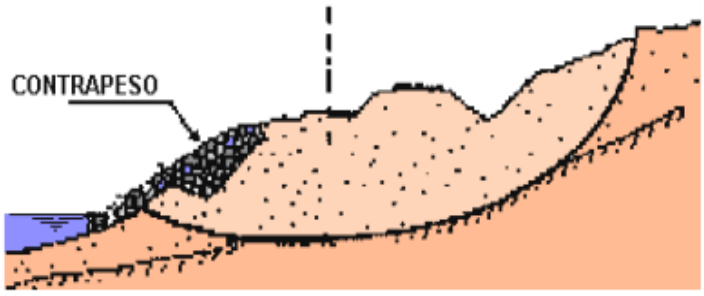


Fuente: Alberti et al. (2006)

El efecto del sistema de contrapeso es el de hacer que el círculo crítico en la parte inferior del talud se haga más largo. Los contrapesos pueden ser estructuras con un muro de contención o rellenos de tierra armada, llantas, etc.

Figura 10

Colocación de contrapeso en talud



Fuente: Alberti et al. (2006)

Se debe hacer análisis o cálculos para saber el peso requerido, en aras de lograr un factor de seguridad determinado.

Sistemas de drenaje

Las medidas de drenaje tienen por finalidad, eliminar o disminuir el agua presente en el talud y, por ende, las presiones intersticiales que actúan como factor desestabilizador en las superficies de rotura y grietas de tracción, que son, generalmente más efectivas, ya que el agua es el principal agente desencadenante de los problemas de inestabilidad en taludes, aumentando el peso de la masa inestable, elevando el nivel freático y las presiones intersticiales, creando empujes hidrostáticos, reblandeciendo el terreno, erosionándolo, etc. (Grases et al., 1997).

Los drenajes subterráneos en el talud son proyectados para controlar o limitar la humedad de la superficie y de los diversos elementos de un talud; tienen funciones como, interceptar y desviar corrientes subterráneas, hacer descender el nivel freático y sanear las capas de talud, de material suelto y basura.

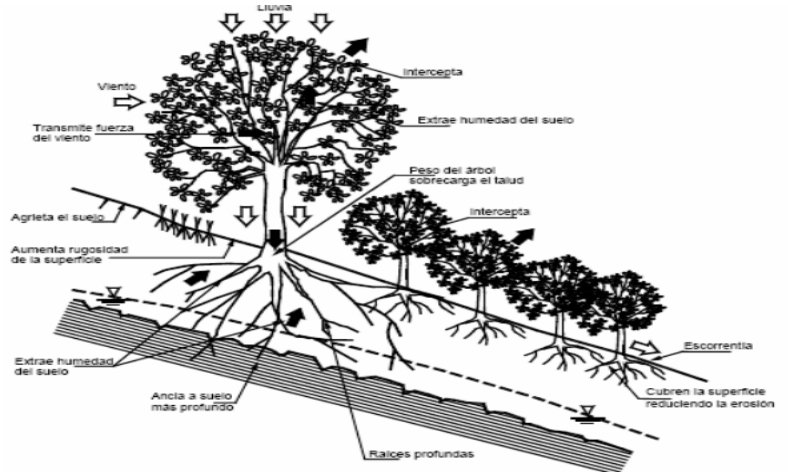
Técnica de vegetación de taludes

La vegetación constituye una fase de interacción entre el suelo y la atmósfera que se manifiesta a través de una serie de efectos hidrológicos y mecánicos. Cuando se habla de efectos hidrológicos, esta produce una reducción del volumen de escorrentía generado y de su velocidad, de lo cual dependerá el efecto sobre la intensidad y extensión de los procesos erosivos. Como efectos mecánicos, la vegetación aumenta la resistencia al deslizamiento y la estabilidad del suelo, al tiempo que protege la superficie del terreno, ante la acción de algunos agentes externos como el viento (Mataix y López, 2007).

Una de las ventajas de la vegetación en el talud, es que sirve como controlador de infiltraciones; tiene efecto directo sobre el régimen de aguas subterráneas y actúa posteriormente como secador del suelo, al tomar el agua que requiere para vivir (Marín y Osorio, 2017). En la Figura 11 están expresadas las ventajas que tiene la vegetación en un talud:

Figura 11

Efectos hidrológicos y mecánicos de la vegetación sobre una ladera



Fuente: Mataix y López (2007)

Gale-Fuertes y Triana-Ávila (2018) sostienen que, el clima determina el efecto relativo de la vegetación, para prevenir deslizamientos. En los climas para los cuales la precipitación es muy grande, el efecto de la cobertura vegetal sobre la estabilidad es mínimo y, en áreas de clima árido, la cobertura vegetal puede afectar en forma significativa la ocurrencia de deslizamientos. En la Tabla 4 están expresadas algunas de las especies de vegetación más usadas en Colombia, según información segundaria.

Tabla 4

Especies de vegetación más utilizadas en Colombia

Nombre común	Nombre científico
Duranta variegada	*Duranta repens*
Casco de vaca o pata de vaca	*Bauhinia picta*
Acacio Rojo	*Delonix regia*
Lluvia de oro	*Cassia fistula*
Penitente	*Petrea Pubescens Turcz*
Anacuma	*Carludovica palmata*
Caracolí	*Anacardium excelsum*
Guayacán rosado	*Tabebuia rosea*
Guayacán amarillo	*Tabebuia chysantha*
Pomarrosa brasilero	*Eugenia malaccensis*
Gualanday morado	*Jacaranda caucana*
Swinglea	*Swinglea glutinosa*
Myrto	*Murraya exótica*
Cadmio	*Cananga odorata*
Aguacate	*Persea americana*
Mamoncillo	*Melicoccus bijugatus*

Fuente: López y Fariñas (2008).

Entre las vegetaciones más usadas en Colombia están, según indican Achipiz y Gálvez (2010), el guarango (*Mimosa quitensis*); por su parte, Mahecha et al. (2019), revelan que es el sauco (*Sambucus peruviana*); finalmente, para Arango et al. (2009), el laurel de cera (*Morella pubescens*) es una de las especies más usadas.

Materiales geosintéticos para reforzar taludes

Los materiales geosintéticos, habitualmente son colocados en combinación con otros geosintéticos o, con productos vegetales; en ocasiones, cumplen un objetivo específico, como, por ejemplo, servir de separadores entre capas de materiales o, proteger contra la erosión en forma temporal durante el periodo de construcción (Suárez-Díaz, 2001). La construcción de un refuerzo con materiales geosintéticos depende de las exigencias que tenga el talud, tanto técnicas como estéticas.

Tabla 5

Materiales geosintéticos y sus funciones

Tipo	Definición	Función principal
Geotextil	Los geotextiles son productos planos y permeables de origen textil que, por sus propiedades, pueden ser utilizados en obras de geotecnia, en particular y, de ingeniería en general.	Separación Filtración/Drenaje
Geomallas o geogrillas	Las geomallas están formadas por una red regular de elementos integralmente conectados, con aberturas que permiten el intertrabado con los materiales.	Refuerzo
Geomembranas	Membrana esencialmente impermeable usada como barrera de líquido o vapor, para controlar la migración de ellos.	Impermeabilización
Geodren	Geosintéticos que, por su forma, facilitan el drenaje en el plano de líquidos y gases.	Drenaje planar Drenaje vertical
Geoceldas	Geosintético que conforma una matriz de celdas huecas, aptas para confinar suelo, piedra, hormigón u otros materiales.	Confinamiento
Geomantas	Geosintéticos de fibras sintéticas o naturales biodegradables, simples y compuestos, planos, cuya función principal es la protección contra la erosión de superficies, ya sea facilitando el enraizamiento de la vegetación, como por medio de la fijación de la capa de suelo superficial. Las mantas de materiales naturales son conocidas también como 'biomantas'.	Control contra la erosión

Fuente: Shukla (2017).

Es esencial seleccionar el tipo de material geosintético, de acuerdo con los parámetros escogidos; es decir, si es para impermeabilizar, para drenar, entre otros. En zonas como el Meta, Norte de Santander, La Guajira, se observa erosión del suelo por erosión eólica, dado que son lugares áridos, con una precipitación menor a 500 mm/año. En este punto cabe mencionar que, la erosión puede ser tanto hídrica como eólica, teniendo una escala de importancia moderada, severa y, muy severa.

A continuación, un ejemplo de un material geosintético: la biomanta; esta se encuentra en la vía Santa Cecilia La Soledad, en el departamento de Risaralda, Colombia, en donde se puede apreciar el cambio que este talud o ladera tiene, antes y después de su aplicación en el suelo.

Figura 12

Vía Santa Cecilia- La Soledad, en el departamento de Risaralda, Colombia



Fuente: Reyes-Suárez (2019).

Mantos de control de erosión permanentes

Están diseñados para aplicaciones donde la vegetación no resiste por sí sola con condiciones de flujo del agua, además de resistir esfuerzos del suelo superficial.

TRM 500: Ardila-Ayala y Caicedo-González (2017) mencionan que, el manto provee refuerzo a la vegetación de manera permanente; su longevidad funcional varía entre los siete y los 50 años. El manto consta de fibras cien por ciento sintéticas, estabilizadoras de radiación ultravioleta (UV), que provee de refuerzo a la vegetación y protección contra la erosión en taludes o laderas geotécnicamente estables. Esta categoría debe ser usada especialmente sobre suelo y para inclinaciones mayores a 1H:1V, 45°.

Características: los mantos permanentes están compuestos de fibras de polipropileno estabilizadores de UV, conformando un manto resistente y amigable con el medio ambiente.

En la Resolución 1083 de 1996, el Ministerio del Medio Ambiente de la República de Colombia ordena el uso de fibras naturales en obras, proyectos o actividades objeto de licencia ambiental, con el fin de controlar y reducir la contaminación geo esférica, hídrica, del paisaje, sonora y atmosférica en todo el territorio nacional, para el desarrollo y/o ejecución de actividades en obras de revegetalización y/o empradización, para la protección de taludes, construcción de obras de protección geotécnica, estabilización, protección y recuperación del suelo contra la erosión, entre otros.

Según Hernández et al. (2015), considerando la necesidad de sostenibilidad ambiental, la Ingeniería se ha enfocado en la creación de materiales amigables con el ambiente; uno de ellos son las biomantas con fibra de coco, que provienen

de una fuente natural, renovable biodegradable y, con una elasticidad superior, si se compara con las demás fibras vegetales, demostrando una gran resistencia a la humedad y al desgaste. Sus principales aplicaciones están dadas en carreteras, ferrovías, control de erosión, mejoramiento de áreas degradadas, protección de cursos de agua, muros de retención con cubierta vegetal, restauración de características de los rellenos y, acabados de gaviones (Mwasha, 2009).

Conclusiones

Es fundamental tener en cuenta los factores y características del suelo, para hacer una clasificación de deslizamientos y determinar el tipo de movimiento del suelo. La mayoría de deslizamientos en masa en Colombia tienen presencia en dominios de amenaza relativa muy alta I y II, correspondientes a la región occidental, que comprende casi todo el departamento del Chocó y las zonas costeras de los departamentos del Valle del Cauca, Cauca y Nariño.

Las diversas técnicas de protección y mitigación de deslizamiento de taludes permiten seleccionar la más óptima, de acuerdo con las características geomorfológicas que tenga la zona a implementar.

Es importante que, en el momento de revegetación del talud, se considere la pendiente, el tipo de suelo, la localización geográfica, para escoger una vegetación variada y adecuada al suelo a tratar; para ello, es necesario realizar un mantenimiento constante hasta que la vegetación sea autosuficiente; de igual forma, preparar un suelo orgánico, antes de la implementación del manto.

La desaparición de la vegetación es una de las principales causas de erosión de los suelos en los taludes, por lo cual es primordial tratar este factor desde el inicio de una obra de ingeniería, aplicando técnicas que sean favorables con el medio ambiente, utilizando revegetación en taludes, protegiendo el agua de escorrentía, controlando la infiltración del agua, todo lo cual mejora la cohesión del suelo, gracias a las raíces.

Referencias

Achipiz, J. y Gálvez, G. M. (2010). *Descripción morfológica y potencial forrajero del guarango (mimosa quitensis) en los municipios de Popayán, Silvia, Totoró y Puracá, departamento del Cauca* [Tesis de Pregrado, Universidad del Cauca]. https://1library.co/document/qvj7r71q-descripcion-morfologica-potencial-forrajero-quitensis-municipios-popayan-departamento.html

Alberti, J. R., Canales, R. E. y Sandoval, B. H. (2006). *Técnicas de mitigación para el control de deslizamiento en taludes y su aplicación a un caso específico* [Tesis de Pregrado, Universidad de El Salvador]. https://es.scribd.com/doc/277485613/Tecnicas-de-mitigacion-para-el-control-de-deslizamientos-en-taludes-y-su-aplicacion-a-un-caso-especifico-pdf

Alcaldía de Santiago de Cali. (2021). Datos de Cali y el Valle del Cauca. https://www.cali.gov.co/gobierno/publicaciones/227/datos_de_cali_y_el_valle_del_cauca/

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 Agropecuario y Agroindustrial*, *7*(2), 40-48.

Ardila-Ayala, P. A. y Caicedo-González, N. L. (2017). *Beneficios de los mantos de control de erosión temporal para la recuperación y protección de taludes y representación en un modelo físico de laboratorio* [Tesis de Pregrado, Universidad Católica de Colombia]. https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/14533

Arias, B. (2012). Deslizamiento en taludes inducidos por altas precipitaciones en vías intermunicipales en Colombia [Tesis de Especialización, Universidad Libre]. https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7116/AriasTorresBenjamin2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gale-Fuertes, D. A. y Triana-Ávila, D. C. (2018). *Identificar agentes, daños patológicos y alternativas de mitigación en las bermas localizadas en el parque Altos de la Estancia en la localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá D.C.* [Tesis de Pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/13434

Gobernación de Nariño. (2020). Plan Departamental de Extensión Agropecuaria Departamental 2020-2023. https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/PublishingImages/Paginas/PDEA/Nari%C3%B1o.pdf

Gómez-Luna, E., Fernando-Navas, D., Aponte-Mayor, G. y Betancur-Buitrago, L. A. (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. https://doi.org/10.15446/dyna.v81n184.37066

Grases, J., Contreras, I. y Grases, G. (1997). *Vulnerabilidad de los sistemas de agua potable y alcantarillado frente a deslizamientos, sismos y otras amenazas naturales – caso estudio*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).

Hernández, I. R., Perdomo, D. y Rincón, J. D. (2015). Implementación de fibras naturales en la estabilidad de taludes. *13th LACCEI Annual International Conference: Engineering Education facing the grand challenges. What are we doing?* Santo Domingo, República Dominicana. https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/3388/Implementacion_fibrasnaturales_estabilidad_taludes.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Informativo del Guaico. (2020, 18 de mayo). Deslizamiento de tierra en el sector de Ricaurte taponó la vía Pasto – Tumaco. https://informativodelguaico.com/deslizamiento-de-tierra-en-el-sector-de-ricaurte-tapono-la-via-pasto-tumaco/

Jiménez, R, A., Martínez, Á. A., Ordoñez, H. A. y Erazo, E. L. (2018). Herramienta computacional para análisis de información de tipo cualitativo, utilizando la técnica de la destilación de información. *Boletín Informativo CEI*, *3*(2), 39-41.

López, C. y Fariñas, J. L. (2008). *Manual de estabilización y revegetación de taludes*. Carlos López Jimeno y Madrid.

Mahecha, G. E., Ovalle, A., Camelo, D., Rozo, A. y Barrero, D. (2019). *Vegetación del territorio CAR*. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR.

Marín, R. J. y Osorio, J. P. (2017). Efectos de la vegetación en la estabilidad de laderas: una revisión. *Revista Politécnica*, *13*(24), 113-126.

Mataix, C. y López, J. (2007). Factores ambientales: funciones y uso de la vegetación en la estabilización de laderas. En *Jornadas Técnicas sobre Estabilidad de Laderas en Embalse*. http://oph.chebro.es/DOCUMENTACION/Congresos_ Seminarios/Laderas2007/Ponencias/6%20Lopez%20 Factores.pdf.

Montoya-Orozco, A. (2009). *Confiabilidad en estabilidad de taludes* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3476/montoyaorozco.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Mwasha A. (2009). Coir fibre: A sustainable engineering material for the Caribbean Island. *International Journal of Bahamian Studies*, *15*, 36-44. https://doi.org/10.15362/ijbs.v15i0.108

Ordoñez, K. M., Estrada, C. C. y Ramos, Y. A. (2018). Comparación de la degradación y manejo de los suelos en **Córdoba, La Guajira y el Chocó** - Colombia. https://es.slideshare.net/yanarleyramospalacios/presentacion-degradacion-y-manejo-de-suelos-en-cordoba-guajira-y-chocol-estrada-ordonez-ramos

Redacción Colombia. (2020, 9 de julio). Declaran calamidad pública en Yalí, Antioquia, por inundaciones. *El Espectador*. https://www.elespectador.com/colombia/medellin/declaran-calamidad-publica-en-yali-antioquia-por-inundaciones-article/

Redacción El País. (2019, 31 de diciembre). Normalizan paso en la vía Buga – Buenaventura tras restricción por deslizamiento de tierra. *El País*. https://www.elpais.com.co/valle/deslizamiento-de-tierra-obligo-al-cierre-de-un-carril-en-la-via-buga-buenaventura.html

Resolución 1083. (1996, 4 de octubre). Ministerio del Medio Ambiente. https://www.maciasabogados.com/archivos/documentos_normatividad/Resolucion1083de1996.481.pdf

Reyes-Suárez, Y. R. (2019). Técnica de revegetalización utilizada en el análisis de estabilidad de un talud [Ponencia]. *VII Congreso Internacional de Ingeniería Civil*. Universidad Santo Tomas. https://docplayer.es/214679191-Tecnica-de-revegetalizacion-utilizada-en-el-analisis-de-estabilidad-de-un-talud.html

Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2017). *Las amenazas por movimientos en masa de Colombia. Una visión a escala 1:100.000*. Servicio Geológico Colombiano (SGC).

Suárez-Díaz, J. (2001). *Control de erosión en zonas tropicales*. Universidad Industrial de Santander.

Shukla, S. K. (2017). *An introduction to Geosynthetic Engineering*. CRC Press. https://doi.org/10.1201/b21582



Avances en la gestión de riesgo en la región de La Mojana, Colombia

Yeferson Andrés Buitrago[1]
Valentina Hernández Castro[2]
Ahsly Daniela Pachón Gómez[3]

Resumen

La región de La Mojana es una cuenca hidrográfica de planicie aluvial de la depresión momposina, que se encuentra ubicada entre los ríos Magdalena, Cauca y San Jorge. Esta cuenca cumple con la función de amortiguar los caudales en los ríos, caños y ciénagas; también, para servir de refugio-hábitat, regular la atmósfera y depurar los humedales. Es un sistema que se caracteriza por ser complejo, debido a las constantes inundaciones que allí ocurren, problemática que causa serias afectaciones socioeconómicas a la población, ya que las inundaciones afectan tanto las producciones como la infraestructura del territorio y, lo modifica tanto física como ambientalmente.

Se ha evidenciado que, el Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres ha presentado varias deficiencias y tiene elementos por mejorar, en aspectos como la prevención y la mitigación del problema, pues inicialmente, por parte de las alcaldías, se debe optimizar algunas acciones que ayudarán con esta problemática, como la acción de una pronta reubicación de la población que se encuentra en riesgo; además, las corporaciones autónomas correspondientes deben implementar la acción oportuna de proyectos, para disminuir las inundaciones generadas. Con base en esto, el objetivo de este proyecto fue realizar una revisión minuciosa de los avances de la gestión del riesgo en la región de La Mojana, Colombia. Como conclusión, se evidenció aspectos en los cuales se debe mejorar para disminuir la vulnerabilidad ante inundaciones, mediante acciones como la implementación de diques que permiten el drenaje del río.

Palabras clave: La Mojana; riesgo; inundaciones; prevención; desastres.

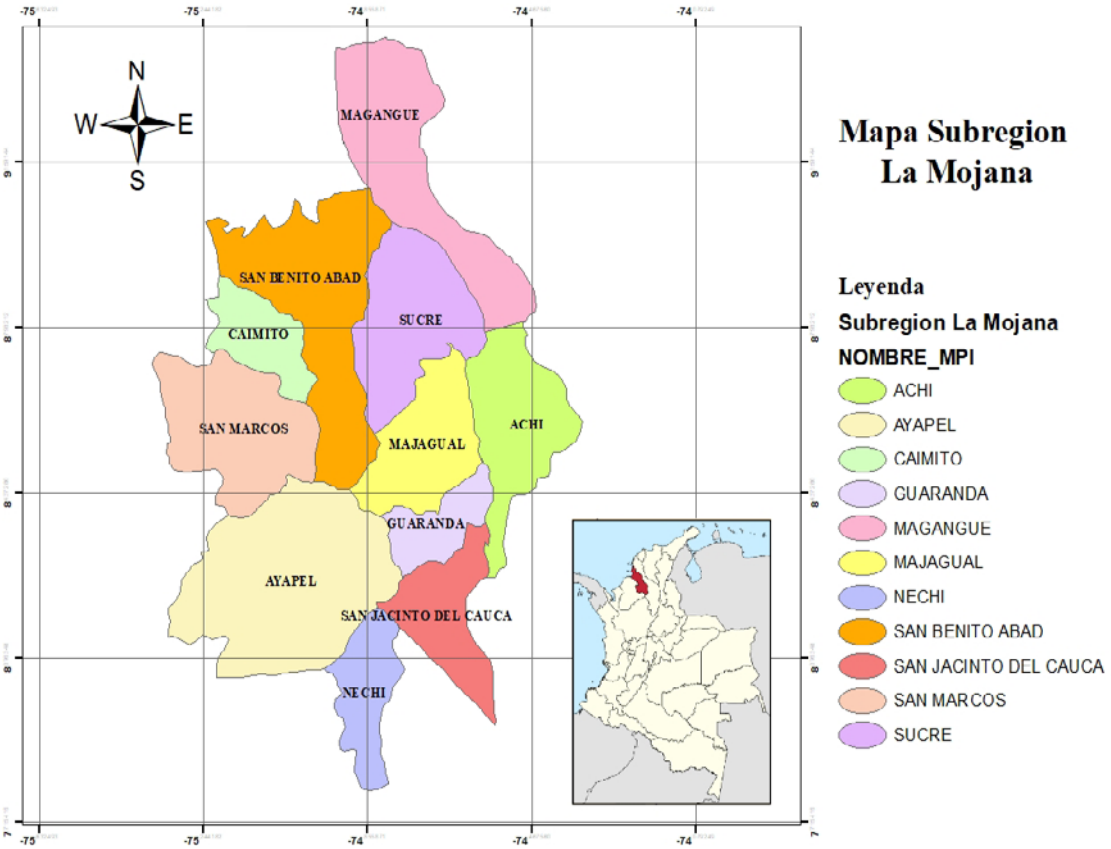
[1] Fundación Universitaria Agraria de Colombia. Correo: Buitrago.yeferson@uniagraria.edu.co
[2] Fundación Universitaria Agraria de Colombia. Correo: hernandez.valentina@uniagraria.edu.co
[3] Fundación Universitaria Agraria de Colombia. Correo: pachon.ashly@uniagraria.edu.co

Introducción

La Mojana es una subregión de la costa caribe colombiana, caracterizada por ser una zona de humedales productivos que pertenecen a la depresión momposina. Esta región actúa como regulador de tres grandes ríos: el Magdalena, el Cauca y el San Jorge. Estos humedales son fundamentales en la amortiguación de inundaciones, pues facilitan la decantación y la acumulación de sedimentos, que son funciones indispensables en la regulación ambiental y el equilibrio ecológico para la costa caribe y el país. Además, las áreas cenagosas ofrecen atractivos paisajísticos por su fauna y flora acuática abundante (Aguilera, 2004).

Figura 1

Ubicación geográfica de la región de La Mojana y los municipios que la conforman



La subregión de La Mojana comprende once municipios en cuatro departamentos: Antioquia: Nechí; Bolívar: Magangué, Achí y San Jacinto del Cauca; Córdoba: Ayapel y, Sucre: San Marcos, Guaranda, Majagual, Sucre, Caimito y San Benito Abad. Está delimitada geográficamente, así: al oriente con el río Cauca; al occidente con el río San Jorge y Ciénaga de Ayapel; al nororiente con el brazo de Loba del

río Magdalena y, al sur, con las tierras altas de Caucasia y la serranía de Ayapel. La conforma un área de 500.000 hectáreas, de las cuales aproximadamente, el 72 % pertenece al departamento de Sucre.

La Mojana hace parte de la depresión momposina, una amplia área que, por recibir el [afluente] de los valles interandinos, se comporta como delta aluvial interior de tierra baja e inundable con variada intensidad durante ciertas épocas del año. Se caracteriza por ser un complejo de humedales que son fundamentales en la amortiguación de inundaciones, al permitir la distribución de agua originadas por las lluvias en las partes altas de los ríos y el desplaye de las aguas, facilitando la decantación y acumulación de sedimentos de los tres grandes ríos que ahí confluyen como son: el Magdalena, el Cauca y el San Jorge (Aguilera, 2004, p. 17).

Objetivos

General

Identificar las acciones de gestión del riesgo implementadas en la subregión de La Mojana para disminuir el riesgo de inundación.

Específicos

- Determinar si la economía, la comunidad y el territorio de La Mojana han mejorado gracias a estas acciones implementadas.
- Relacionar los eventos de los últimos años con la evolución del SNGRD en la región de La Mojana.
- Identificar las regiones críticas que se ven más afectadas por los desastres, dentro de la región de La Mojana.

Marco Teórico

Las catástrofes naturales no solo deben ser evaluadas desde un punto de vista de pérdidas humanas, sino también, desde las pérdidas económicas y, por consiguiente, las consecuencias sociales, políticas, ambientales, producidas a corto, mediano y largo plazo. Por eso, la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) creó, bajo la Ley 1523 de 2012, el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo y Desastres (SNGRD), con el fin de reunir, monitorear y analizar la información sobre riesgos o emergencias ocurridas; de modo que surgió una guía metodológica para la formulación de los planes municipales de gestión del riesgo de desastres (PMGRD), herramienta principal que permite a los mandatarios locales, implementar la política nacional en los territorios y determinar políticas que generen municipios más seguros en condiciones de desarrollo sostenible (Quintero et al., 2021).

Dentro de esta guía metodológica se propone once pasos con los cuales se busca orientar a los entes gubernamentales, los cuales involucran las iniciativas frente a la gestión del riesgo:

1. Definir la visión, misión y los objetivos estratégicos de los PMGRD
2. Realizar el autodiagnóstico, en términos de la gestión del riesgo de desastres y las capacidades
3. Definir las instancias previas y las premisas para la formulación de los PMGRD
4. Realizar la identificación y priorización de escenarios de riesgo y desastres
5. Caracterizar los escenarios de riesgo de desastres
6. Formular el componente programático
7. Definir el mecanismo de seguimiento, evaluación y reporte a los PMGRD
8. Socializar los PMGRD
9. Adoptar los PMGRD
10. Armonizar los PMGRD con los demás instrumentos de planificación municipal
11. Inscribir el municipio en la iniciativa mundial de la oficina de las Naciones Unidas para la reducción del riesgo "Desarrollando ciudades resilientes 2030" (UNDRR, s.f.)

A lo largo de los años, La Mojana ha presentado graves problemas en el agotamiento de la base natural, que se evidencian en la degradación de los recursos y en la baja calidad de estos para con la población. Hay inundaciones en tres zonas distintas: al norte, donde se ubica la zona más baja, las inundaciones permanecen aproximadamente seis meses del año; en la zona intermedia, las inundaciones tienen una duración de, entre cuatro y tres meses; por último, al sur, la zona más alta de la subregión, el periodo de inundaciones es inferior a tres meses. Esto se debe a la pendiente que caracteriza a la subregión (Vega-Mora, 2014).

La ubicación geográfica de las inundaciones permite comprender la gravedad del impacto en la economía de la subregión, pues se identifica que, entre el 70 % y el 80 % de la población no tiene un empleo estable y realiza actividades como la ganadería, agricultura, pesca y caza (Pan American Health Organization, PAHO, 2007). Estas inundaciones afectan en gran manera las actividades de la población y, los agricultores han perdido su ganado y/o cosechas por ahogamiento o encharcamiento de los suelos; por tal motivo, el ganado (vacuno y aviar) no tiene un lugar adecuado para su supervivencia. Para el caso de aquella población que cuenta con la posibilidad económica, ha podido llevar sus cabezas de ganado hacia zonas más altas, donde las inundaciones son por periodos de tiempo más cortos; pero, esta no es la única problemática puesto que, debido a esta amenaza, los caminos se destruyen y el territorio que es invadido, queda modificado física y ambientalmente; así pues, las comunidades biológicas no son capaces de responder a estos cambios y, tanto la flora como la fauna, se ven afectadas en alto grado (Urquijo-Merchán y Vargas-Gámez, 2013).

Con base en lo anterior, el gobierno nacional propuso unas estrategias asociadas a los pasos de la guía metodológica; para el caso de las inundaciones de 2005 en esta zona, el Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES) planteó apoyar a

los municipios más afectados, con la iniciación de obras de carácter multipropósito, como el Proyecto "Construcción del Dique con Compuertas, Estructura del Control Hidráulico y Terraplén Vía San Marcos-Majagual-Achí" (Presidencia de la República de Colombia, 2008), que permitirá la recuperación del sistema hidráulico natural de la región y al aprovechamiento productivo y agropecuario y, la prevención de riesgos actuales y futuros en la región. Aunque estas estrategias, al pasar los años sugeridos para su realización no fueron terminadas, nuevamente el gobierno, en enero de 2012 efectuó una alianza colombo-holandesa, cuyo objetivo es reducir la amenaza mediante construcciones de jarillones y espolones, entendiéndose como una obra civil mediante la cual se construye una barrera de material de un mismo río o con tierra, paralelo a la orilla, con el fin de encauzar las aguas o proteger las riberas de las crecientes y, asimismo, la construcción de albergues temporales como apoyo a la población afectada (Majagual Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2017).

Figura 2

Jarillones de La Mojana



Fuente: Gobernación de Sucre (2020)

En los últimos diez años han sido implementados tres grandes programas, con el fin de mejorar las condiciones de vida y asegurar el bienestar de la población; el objetivo era cubrir las necesidades de la subregión, por lo que cada uno estaba dirigido hacia un enfoque diferente. En cuanto al primer plan, hacia el desarrollo sostenible de la subregión, fue publicado en el año 2003 por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). El segundo plan se enfocó en la reactivación económica y social; fue expedido a través del documento CONPES 3421 (Consejo Nacional de Política Económica y Social, CONPES, 2006); su diseño surgió ante

la necesidad inmediata de atención al desastre de la ola invernal de 2005. Y, por último, la finalidad del tercer plan era reunir y priorizar las acciones que debía implementarse en la región, permitiendo así, llegar al cumplimiento del objetivo propuesto (Uribe-Diosa, 2012).

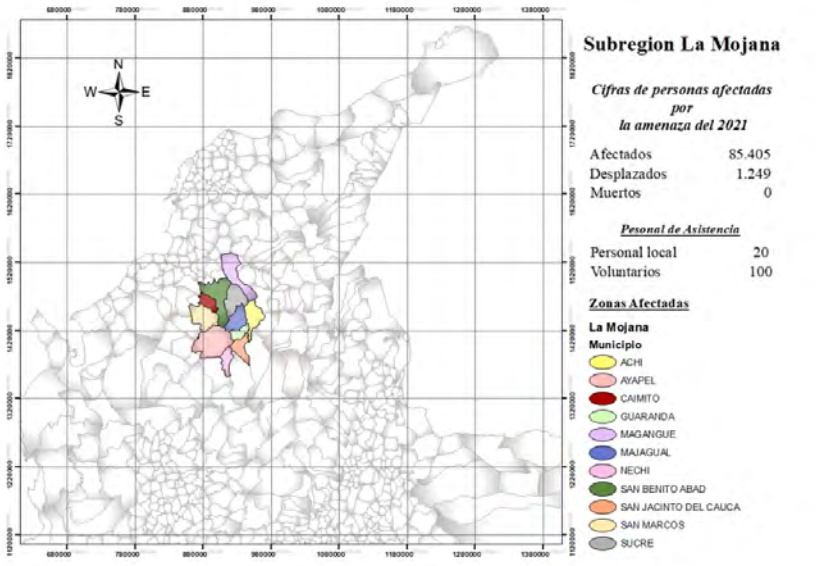
El 27 de agosto de 2021, como consecuencia de las intensas lluvias, nuevamente hubo afectaciones y fallas del jarillón de contención en el sector de Cara de Gato del corregimiento de Bermúdez en el municipio de San Jacinto del Cauca, afectando cultivos, medios de vida, viviendas, infraestructura esencial, el comercio y la movilidad, con inundaciones progresivas que han debilitado aún más los ecosistemas que todavía no logran recuperarse por completo.

Desde el Equipo de Gestión del Riesgo de Desastres se viene orientando a las seccionales afectadas, con relación a las actividades y acciones que son ejecutadas en terreno; de igual manera, se les ha dado recursos económicos para soportar los costos operativos de las acciones e intervenciones del gobierno nacional que, por el momento, a través de la UNGRD han dispuesto de las ayudas humanitarias para distribuir en la zona. La dirección nacional de la Cruz Roja colombiana hizo un aporte operacional por valor de $7,650,000 del Fondo de Emergencia; asimismo, dispuso 47 albergues, 15 en zonas rurales y 32 en zonas urbanas, distribuidos en los once municipios de la subregión de La Mojana, con una capacidad de albergar a más de 8.000 personas.

A continuación, en la Figura 3 se evidencia un mapa donde se puede identificar las zonas afectadas por las inundaciones de 2021, además de conocer algunas cifras que determinan la cantidad de personas afectadas.

Figura 3

Cifras de personas afectadas el día 27 de agosto de 2021 en la subregión La Mojana

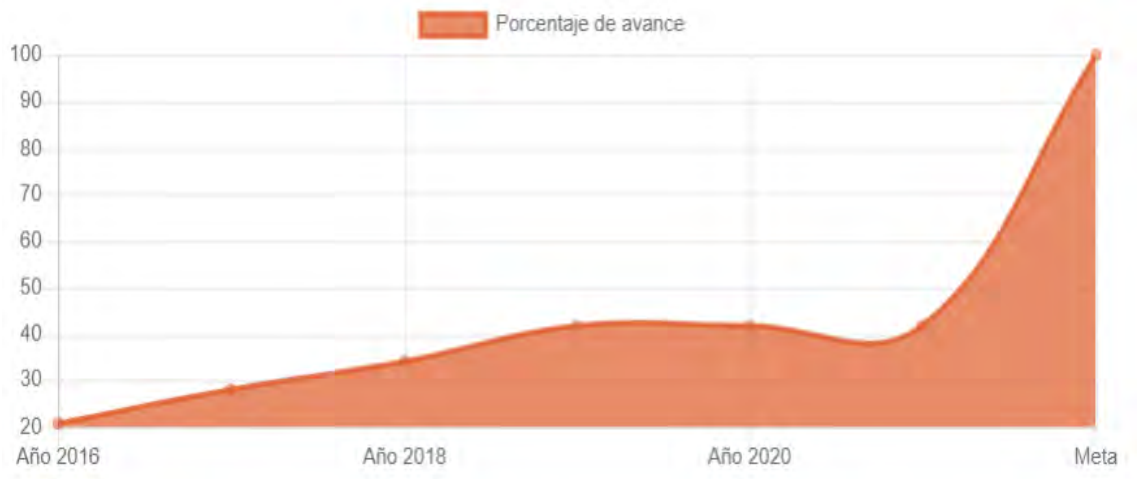


Además de las ayudas humanitarias, el gobierno nacional redobló los esfuerzos con maquinarias, materiales y la ejecución de obras de emergencia, con el objetivo de controlar los eventos de inundación y erosión, de suerte que permitan la protección de la orilla de los sectores afectados en la margen izquierda del río Cauca. Esta obra y su interventoría tuvo un valor total de $20.898.191.089. También, se implementó una asistencia técnica permanente de apoyo a los Consejos Departamentales y Municipales de Gestión del Riesgo de Desastres (CDGRD) - (CMGRD), por parte de los profesionales de la UNGRD, a los departamentos de Bolívar, Sucre, Córdoba y Antioquia. Con estas acciones, el gobierno nacional atendió de manera integral la emergencia y la población afectada en los municipios de Caimito, Guarandá, Majagual, San Benito Abad, San Marcos y Sucre en el departamento de Sucre; Achí, Magangué y San Jacinto del Cauca en Bolívar; Ayapel en Córdoba y Nechí en Antioquia (Quintero et al., 2021).

Así mismo, el Ministerio de Hacienda y el Fondo de Adaptación publicaron una gráfica donde se evidencia el porcentaje de avance de la subregión La Mojana desde el año 2016, donde el proyecto 'Intervención integral para la reducción del riesgo de inundaciones' en la región tiene como propósito, desarrollar acciones que conduzcan a una mejor adaptación de sus habitantes a las condiciones ambientales e hidrometeorológicas, así como a las características sociales y económicas de la región.

Figura 4

Porcentaje de avances realizados y la meta propuesta



Fuente: Fondo Adaptación (2022)

La Figura 4 representa los bajos porcentajes en avance para la reducción del riesgo en esta subregión, lo que indica que se debe continuar con un desarrollo de estrategias que permitan salvaguardar la vida de la población y mejorar la aspectos sociales y ambientales allí encontrados.

Por otro lado, se evidenció que la Presidencia de la República destinó para esa época, $2.5 billones para ser utilizados en obras de reducción del riesgo causado por el río Cauca en la región de La Mojana. La planeación de este proyecto estaba propuesta para culminar en seis años y se dividía en cuatro fases. El inicio de estas obras se proyectó para principios del año 2022, pero se planteó que, en el último trimestre del presente año, se daría algunos pasos y avances para que, en lo posible, se pueda iniciar antes del año 2022. El presupuesto se divide en $1.4 billones para intervenciones en el departamento de Bolívar, específicamente en los municipios de Achí, Magangué y San Jacinto del Cauca. Para el departamento de Córdoba, la intervención se hará en los municipios de Ayapel y Nechí; por último, en el departamento de Sucre, en los municipios de Majagual y Guaranda. Dentro de este presupuesto también se destinará 900.000 millones de pesos para las dinámicas hidráulicas y 200.000 millones de pesos para la restauración de canales y caños de la zona. Para esto, el jefe de Estado y el DNP exigieron la descripción del plan en documento CONPES, que será emitido en los próximos días (Hernández, 2021).

Conclusiones

Según la revisión bibliográfica, se determinó que, gracias a la ejecución de los jarillones, los programas de intervención, los aportes operacionales y otros avances mencionados, se ha disminuido el nivel de riesgo por inundación en la región.

De acuerdo con los avances encontrados, el gobierno nacional puede mejorar estas estrategias de prevención y mitigación respecto a la amenaza de inundación.

Gracias a la investigación realizada, se evidenció que, en los últimos años se ha dado un avance respecto a los aspectos de infraestructuras de la zona, debido a la implementación de maquinarias, materiales y obras de emergencia.

Se realizó un mapa de la subregión de La Mojana, donde se identificó los municipios afectados por la amenaza del pasado 27 de agosto, a causa de lo cual se observó que, 1.249 personas fueron desplazadas y 85.405 fueron afectadas.

Referencias

Aguilera, M. M. (2004). La Mojana: riqueza natural y potencial económico. *Economía Regional*, *77*(925), 44-106. https://doi.org/10.32468/dtseru.48

Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES). (2006). Documento CONPES 3421. https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/CONPES/Econ%C3%B3micos/3421.pdf

Fondo Adaptación. (2022). Avances La Mojana. https://www.fondoadaptacion.gov.co/index.php/component/sppagebuilder/?view=page&id=175

Gobernación de Sucre. (2020). «Si se puede recuperar la seguridad de La Mojana» Héctor Olimpo Espinosa. https://www.sucre.gov.co/noticias/si-se-puede-recuperar-la-seguridad-de-la-mojana-hector

Hernández, F. (2021, 2 de octubre). Duque anuncia inversión de 2.5 billones de pesos para La Mojana. *Caracol Radio*. https://caracol.com.co/emisora/2021/10/03/sincelejo/1633219828_519571.html

Ley 1523 de 2012. (2012, 4 de abril). Congreso de la República de Colombia. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=47141

Majagual Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres. (2017). *Plan municipal de gestión de riesgo de desastres, municipio de Majagual, Sucre*. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD).

Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR). (s.f.). Desarrollando ciudades resilientes 2030 (MCR 2030). http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/mcr2030/Documents/Preguntas-Frecuentes-MCR2030.pdf

Pan American Health Organization (PAHO). (2007). Colombia: informe zona de La Mojana, sur de Bolívar y departamento de Córdoba, julio 17 del 2007. https://reliefweb.int/report/colombia/colombia-informe-zona-de-la-mojada-sur-de-bol%C3%ADvar-y-departamento-de-c%C3%B3rdoba-julio-17

Presidencia de la República de Colombia. (2008). 10 a.m. Presidente Uribe se reúne con afectados por inundaciones en Guaranda, Sucre. http://historico.presidencia.gov.co/sp/2008/noviembre/27/13272008_i.html.

Quintero, G. A., Rivera, D. A., Montenegro, J., Torres, B. Y., Montoya, M. y Manrique, J. D. (2021). *Guía metodológica para la formulación y actualización de planes municipales de gestión del riesgo de desastres*. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres UNGRD.

Uribe-Diosa, M. R. (2012). *Caracterización de la Dinámica de Inundación en la región de La Mojana y las estrategias implementadas para mitigar sus consecuencias sociales en el período comprendido entre los años 2001 y 2012* [Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Javeriana]. https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/12448

Urquijo-Merchán, D. C. y Vargas-Gámez, M. (2013). *Caracterización territorial y de inundaciones en la región de La Mojana* [Tesis de Pregrado, Universidad Católica de Colombia]. https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/911

Vega-Mora, L. (2014). Evaluación sistémica de la dimensión ambiental en la región de La Mojana (Colombia). http://www.conama2014.conama.org/conama2014/download/files/conama2014/CT%202014/1896711991.pdf

Salud y seguridad ambiental



Contaminantes atmosféricos y su relación con la salud de la población infantil en Colombia

Daniela Alejandra Castillo Botina[1]

Angie Lorena Urbano Pazos[2]

Juan Carlos Narváez Burgos[3]

Resumen

El presente trabajo es una descripción elaborada mediante información bibliográfica de cómo las partículas suspendidas en el aire, con un tamaño menor a diez micrómetros generados por el tráfico vehicular, inciden en el deterioro de la salud respiratoria de la población infantil menor a diez años de edad.

La metodología empleada incluye un análisis descriptivo, para el cual se hace una búsqueda, clasificación y análisis de información bibliográfica, para determinar el grado de relación entre la salud de la población infantil y los contaminantes presentes en la atmósfera; esta etapa se realizó mediante una clasificación y calificación de artículos científicos.

A través de este proyecto se encontró una relación directa entre la exposición de contaminantes atmosféricos suspendidos en el aire: PM_{10}, PM2.5, TRAP, NOx, y el daño a la salud de la población, ocasionando así algunas enfermedades respiratorias: asma, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, rinitis, faringitis y bronquitis aguda. En cuanto a la sintomatología, estos contaminantes ocasionan efectos respiratorios a corto plazo, como dificultad para respirar, tos, irritación en la garganta y de la mucosa nasal.

La evidencia recolectada refuerza que, la principal causa de la contaminación atmosférica es generada por la densidad del tráfico vehicular, los gases y partículas emitidas por los vehículos, todo lo cual afecta la salud de la población.

Palabras clave: calidad del aire; PM_{10}; PM2.5; enfermedades respiratorias; salud.

[1] Universidad Mariana, Colombia. Correo: dancastillo@umariana.edu.co
[2] Universidad Mariana, Colombia. Correo: angurbano@umariana.edu.co
[3] Asesor. Correo: jcnarvaez@umariana.edu.co

Introducción

La exposición a la contaminación atmosférica representa un enigma de gran relevancia en la actualidad; así, hoy por hoy, constituye el cuarto factor de riesgo de muerte a escala mundial (Departamento Nacional de Planeación, DNP, 2017). De acuerdo con la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) (s.f.), la mortalidad atribuible a la contaminación del aire urbano en Latinoamérica es de siete muertes por cada 100.000 habitantes, especialmente en países de bajos y medios ingresos, como Colombia.

A medida que las ciudades crecen sin la implementación de una regulación ni controles adecuados, puede aparecer una serie de problemas ambientales; entre ellos, la contaminación atmosférica por partículas suspendidas, como el material particulado (PM), que tiene la idoneidad de introducirse en las vías respiratorias; ingresa directamente a los pulmones, por medio del aparato respiratorio.

Los efectos más comúnmente reportados en la salud están en la población infantil, ya que su aparato respiratorio está en pleno desarrollo y es la más susceptible a padecer enfermedades respiratorias por exposición al parque automotor, lo que ocasiona enfermedades como bronquitis, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), neumonía etc.; en el sistema cardiovascular, arritmias, infartos, etc.

Por lo anterior, el propósito de esta investigación es, buscar mediante información secundaria, cómo el PM menor a diez micrómetros, generado por el tráfico vehicular, condiciona la salud respiratoria de la población infantil menor a diez años en Colombia.

Desarrollo

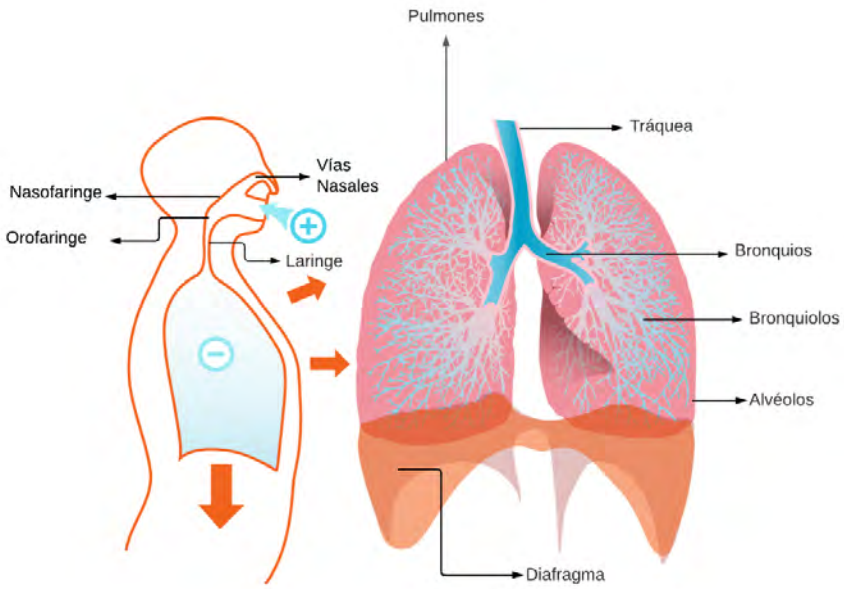
En la primera sección de este resumen se presenta la información recolectada con respecto al funcionamiento del sistema respiratorio; posteriormente, se habla de los factores condicionantes que inciden en el deterioro de la salud respiratoria de la población infantil; más adelante, se expone algunos datos con respecto a los procesos de contaminación por PM generado por el tráfico vehicular.

Salud respiratoria

El sistema respiratorio está formado por un conjunto de órganos que tienen como función principal, el intercambio gaseoso por medio de la inspiración y la exhalación; es así como el aire ingresa a través de la nariz, atravesando la cavidad nasal, la nasofaringe, laringe, tráquea y bronquios; estos últimos poseen cilios, pequeñas proyecciones en forma de cabello, encargados de remover residuos y transportar el aire hacia los bronquiolos, los cuales calientan el aire inspirado, lo humedecen y lo saturan de vapor, filtrándolo de partículas para llevarlo hasta los alvéolos, en los que se da el intercambio de oxígeno y dióxido de carbono (Gartner y Hiatt, 2011).

Figura 1

Sistema respiratorio



Fuente: adaptado de Gartner y Hiatt (2011)

Así, el PM menor a 2.5 micrómetros, debido a su tamaño, puede albergarse en la orofaringe, laringe, tráquea, hasta llegar a los alvéolos; y, el PM menor a diez micrómetros, se deposita en la nasofaringe, orofaringe, laringe y tráquea, debido a su mayor tamaño.

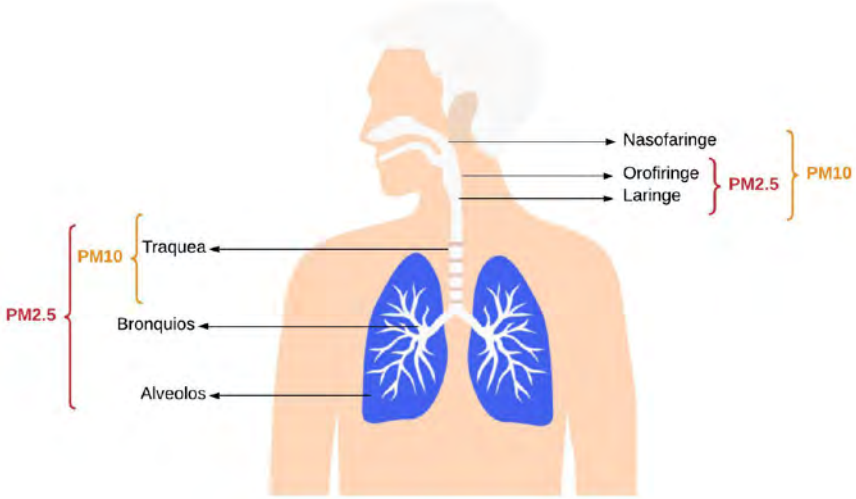
Factores condicionantes

A través de la revisión de artículos científicos se pudo identificar los principales factores que determinan o influyen en la salud de la población, con relación a los contaminantes atmosféricos, los cuales se muestra a continuación:

- **Tiempo de exposición de partículas contaminantes:** las concentraciones elevadas y constantes de PM deterioran la capacidad del sistema inmunológico para eliminar partículas, ocasionando problemas asmáticos, disminución de la función pulmonar, irritación de las vías respiratorias, tos o dificultad para respirar, arritmias cardiacas.
- **Diámetro de las partículas:** como se observa en la Figura 2, dependiendo del diámetro de las partículas, también depende su fácil ingreso al sistema respiratorio. Las partículas menores a 10 μm pueden atravesar e introducirse en los bronquios, bronquiolos y alvéolos pulmonares.

Figura 2

Sitios de deposición de partículas



Fuente: adaptado de Martínez et al. (2011)

Entre menor sea el tamaño de la partícula, más fácil será el acceso al sistema respiratorio; inclusive, este tipo de partículas puede acceder al sistema sanguíneo. La exposición al PM puede desencadenar una serie de problemas en la salud; en casos particulares, la muerte prematura en personas con problemas pulmonares y cardiacos (Martínez et al., 2011).

Grupos poblacionales: se reconoce que, las personas con predisposición a enfermedades pulmonares o cardiacas pueden ser más vulnerables a los efectos del PM. Los adultos son más propensos a reducir su esperanza de vida, mientras que la población infantil puede tener afectaciones en el desarrollo de los pulmones y deficiencia en sus funciones, al exponerse a este contaminante.

Edad: la exposición a PM a temprana edad reduce el crecimiento pulmonar; el tamaño de las células de la población infantil es más pequeño, lo que interviene en los sistemas de desintoxicación, causando un mayor daño.

La edad es determinante en el desarrollo de enfermedades. En la Tabla 1 se puede apreciar las enfermedades más comunes reportadas en la literatura para la población infantil. La exposición a ciertos contaminantes puede ocasionar la aparición de enfermedades como asma, exacerbación del asma, desarrollo de EPOC, faringitis y bronquitis aguda.

Tabla 1

Efectos sobre la salud respiratoria de diferentes contaminantes

Efectos sobre la salud	Contaminantes con efectos sugeridos/ establecidos sobre la salud
Asma Desarrollo de asma en niño	Contaminación del aire ambiente, PM_{10}, PM2.5, esporas fúngicas, O_3.
Exacerbación de asma (niño)	Contaminación del aire ambiente, TRAP, PM_{10}, PM2.5, esporas fúngicas, O_3. NO_2, carbón, esporas de hongos.
Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)Desarrollo EPOC (Exposición prenatal y niños)	Contaminación atmosférica, TRAP, tabaquismo activo o pasivo, emisiones de combustible de biomasa, PM_{10}, PM2.5.
Rinitis – Faringitis	PM, NO_2, NO_x, O_3, PAHs, Contaminación del aire ambiente,
Bronquitis aguda	BMF, Contaminación atmosférica, PM, NO.

Nota: TRAP: polución del aire relacionada con el tráfico. PM: material particulado. PAHS: hidrocarburos aromáticos policíclicos. BMF: biocombustible de partículas sólidas de pequeño tamaño.

Fuente: adaptado de Martínez et al. (2011)

Factores meteorológicos: representan un papel importante en cuanto al comportamiento, la deposición y la movilización de los gases y partículas contaminantes presentes en la atmósfera; dentro de estos factores se destaca: la temperatura, precipitación, velocidad y dirección del viento y la época del año. Las partículas, una vez emitidas en la superficie, son transferidas a la atmósfera, donde están continuamente en contacto con otras partículas; en este proceso pueden permanecer en su forma original o reaccionar para formar partículas secundarias. De estos factores también depende el aumento en el tiempo de residencia, aumento de las concentraciones y el favorecimiento de la formación de contaminación (Zhang et al., 2019).

En este orden de ideas, la concentración del PM menor a diez micrómetros (PM_{10}), en conjunto con los demás condicionantes, es responsable de la aparición de algunas enfermedades, como el desarrollo del asma y su exacerbación, el desarrollo de EPOC, rinitis y faringitis.

Tráfico vehicular

> Un estudio del Departamento Nacional de Planeación evidenció que el 70 % de las emisiones contaminantes en el país provienen principalmente de las fuentes móviles como los camiones, volquetas, buses, autos, motos; mientras que el 30 % es de fuentes fijas como la industria, las quemas, viviendas y zonas mineras (Redacción Turbo, 2019, párr. 8)

Al presentarse el aumento de vehículos en las ciudades, las avenidas sufren sobrecarga en su capacidad de flujo, disminuyendo la velocidad de circulación de cada vehículo y, generando tráfico de manera inminente; es ahí donde se localizan los grandes focos de emisión de PM proveniente de la ignición de hidrocarburos presentes en el combustible de los automotores, los cuales se agudizan en el proceso de arranque y freno durante la congestión, generando otros residuos atmosféricos contaminantes que intensifican el daño al medio ambiente y la salud.

Procesos de contaminación generados por el tráfico vehicular

Hay que tener en cuenta la cantidad de contaminantes que provienen de diferentes procesos, no solo cuando el automotor está en movimiento o en lugares donde haya más automotores; la razón es que, en ocasiones, los vehículos son obsoletos, no se les realiza un mantenimiento oportuno o, el proceso natural de desgaste del motor ocasiona ciertas emisiones nocivas para la salud. A continuación, se nombra las diferentes emisiones provocadas por los automotores en funcionamiento o cuando el motor se encuentra apagado.

Combustión: proceso mediante el cual se aprovecha energía a través de la quema del hidrocarburo (gasolina o diésel); en este proceso se da la liberación de gases como el dióxido de carbono y los óxidos de nitrógeno, que generan material particulado (PM_{10}).

Figura 3

Emisiones provenientes de los vehículos automotores



Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2017)

En la Figura 3 se puede apreciar las emisiones procedentes de los diferentes procesos que pueden ocurrir en un vehículo automotor. Los distintos tipos de emisiones son explicados enseguida:

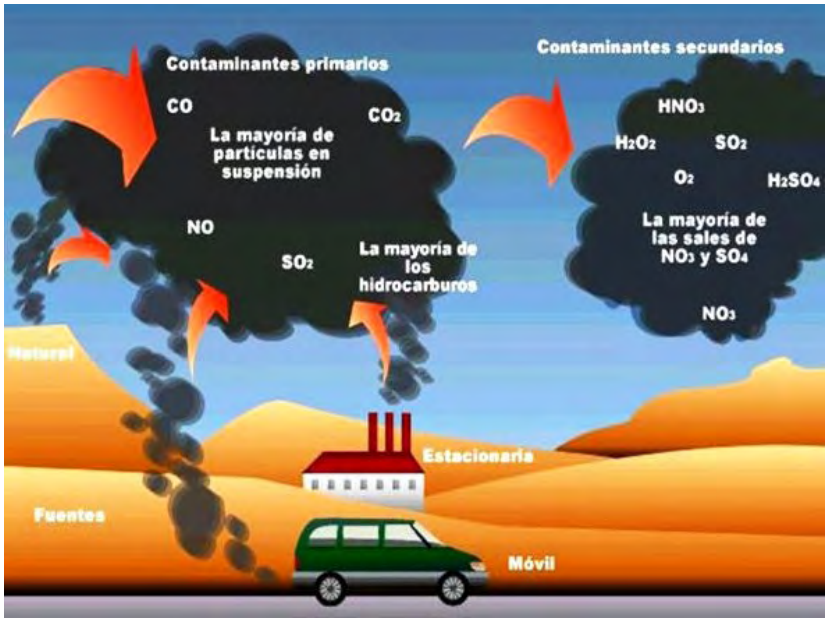
- **Emisiones del tubo de escape:** el tubo de escape es el punto principal de descarga de las emisiones vehiculares resultantes de la oxidación del combustible. Desde allí se emite el total de monóxidos de carbono y óxidos de nitrógeno y, la mitad de los hidrocarburos que produce el vehículo.
- **Emisiones evaporativas del combustible:** las emisiones evaporativas hacen referencia a la suma de todas las emisiones de compuestos orgánicos volátiles diferentes de metano (COVNM) relacionadas con el combustible, pero no derivadas de la combustión de éste. La mayoría de ellas emana de los sistemas de combustibles como, el tanque, el sistema de inyección y las líneas de combustible.

Los gases procedentes de los vehículos cuyo funcionamiento se enfoca en los combustibles fósiles como, la gasolina en diferentes grados de octanajes y el diésel, como se observa en la Figura 4, producen emisiones gaseosas de dióxido de azufre de un 5 % (SO_2), dióxido de carbono de 25 % (CO_2), monóxido de carbono de 87 % (CO) y óxido de nitrógeno con 66 % (NO), entre otros, los cuales son nocivos para el medio ambiente y la salud humana (Ovando, 2010, citado por Pérez, 2017).

Existen contaminantes primarios y secundarios; los primarios son los emitidos directamente a la atmósfera y, dañan la vegetación e irritan los pulmones, mientras que los secundarios, son trasformados al momento de tener contacto con los contaminantes primarios.

Figura 4

Principales gases derivados de la contaminación atmosférica



Fuente: Camacho (2018)

Los procesos de tráfico generan enfermedades respiratorias en los niños, debidas al embotellamiento en zonas escolares, parques y zonas verdes, donde son ellos los más propensos a contraer enfermedades base como bronquitis, rinitis, neumonía o resfriado común que, más adelante, pueden desencadenar enfermedades mucho más graves y duraderas como el EPOC y el asma.

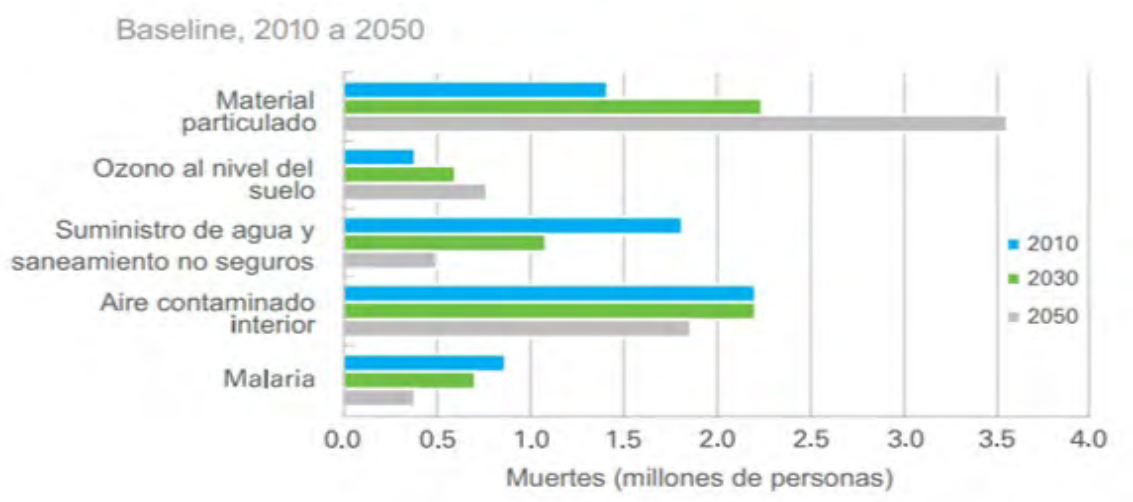
Desde este punto de vista, el crecimiento de la flota automotriz de las urbes en desarrollo siempre estará involucrado directamente en los problemas de salud pública de la región, lo cual radica también en un problema de conciencia ambiental derivada de la educación en materia de contaminantes; por eso, es importante contar con apoyo interdisciplinario que permita la concientización, especialmente de jóvenes y adultos quienes, en su actuar, no tienen en cuenta a los niños y adultos mayores, como poblaciones vulnerables al riesgo.

Sin duda alguna, la contaminación del aire es una de las causas de mortalidad a nivel mundial, especialmente en niños y adultos mayores con enfermedad base como asma o EPOC; por tanto, es fundamental considerar que, esta puede ser producto de la quema de combustibles o la polución producto del tráfico vehicular, especialmente en las zonas urbanas (origen antrópico).

En un estudio realizado por Duque (2016), se evidencia las proyecciones de emisiones atmosféricas en tiempo, a partir del año 2010 hasta el año 2060, donde se aprecia que los procesos de urbanización son una de las causales para el decrecimiento de la calidad del aire en el tiempo, aumentando emisiones de carbón negro, CO, NH_3, NOx, carbón orgánico, SO_2 y VOC. De este modo, en 50 años se estima que, la mortalidad de niños tendrá un incremento por esta causa, como lo muestra la Figura 5.

Figura 5

Muertes prematuras globales por riesgos ambientales seleccionados



Fuente: OECD Environmental Outlook Baseline (citado por Duque, 2016)

En este orden de ideas, Duque (2016) afirma que, la exposición prolongada de los niños a los altos niveles de contaminación atmosférica, representados en altos niveles de PM, traerá consigo el incremento de patologías como bronquitis en niños de dos años de manera paulatina y, cuadros de asma en niños y adolescentes con rangos de edad entre cinco y 19 años.

Por otra parte, de acuerdo con un informe publicado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, 2022), se hace énfasis en los efectos del PM sobre la salud y el medio ambiente, reconociendo que es esencial tener en cuenta el tamaño de la partícula, ya que aquellas menores a diez micrómetros, son las más nocivas para la salud; pero, a pesar de ello, las partículas de hasta diez micrómetros causan daños graves en vías respiratorias de la niñez del mundo.

La EPA (2022) ha listado las siguientes enfermedades, como un efecto nocivo a la salud, atribuido a la contaminación atmosférica:

- Muerte prematura en personas con enfermedades cardíacas o pulmonares
- Infartos de miocardio no mortales
- Latidos irregulares
- Asma agravada
- Función pulmonar reducida
- Síntomas respiratorios aumentados, como irritación en vías respiratorias, tos o dificultad para respirar.

Además, los reportes de la EPA (2022) también evidencian que, el asma es la causa principal de enfermedad respiratoria en los niños, especialmente en los pequeños, que están expuestos continuamente a emisiones de material particulado PM_{10}, partículas que por su tamaño logran pasar por la garganta con facilidad, adhiriéndose a su sistema respiratorio casi de manera inmediata y provocando la falta de aire y la dificultad para respirar, problema que cuenta con una intensidad de larga duración; es decir, que el niño debe aprender a vivir con su enfermedad y portar siempre su medicación a través de inhaladores portátiles o, en el peor de los casos, nebulizaciones que requieren la visita a un hospital.

Es vital reconocer la relevancia del cuidado durante el embarazo, especialmente en zonas donde los niveles de PM_{10} son realmente elevados, con el fin de prevenir malformaciones y retrasos en el crecimiento y desarrollo del feto; de esta forma, la madre asume su papel de cuidadora, desde el momento de la prueba positiva, velando siempre por la salud de su bebé, en aras de proporcionarle un ambiente sano, alejado de fumadores, quemas excesivas e innecesarias y muchos más factores que pueden influir en la prevalencia de las enfermedades respiratorias, no solo del niño, sino también, de toda la familia. El PM_{10} es culpable de las enfermedades respiratorias en los niños.

> Un informe de la Organización Mundial de la Salud sobre contaminación del aire y [la] salud infantil reveló que, cerca del 93 % de los niños y niñas del mundo, menores de 15 años, […] respiran [un] aire tan contaminado, que pone en grave peligro su salud y su crecimiento. (Consultor Salud, 2018, párr. 23)

Tomando en cuenta este porcentaje, alrededor del 31 % de los niños y niñas con rangos de edad menores o iguales a cinco años, presenta enfermedades respiratorias graves, adquiridas ya sea por transmisión directa madre - hijo (enfermedades intrauterinas), como bronquitis y neumonía o, por exposición directa al aire contaminado, como asma y EPOC.

Cabe aclarar que, este porcentaje puede aumentar o disminuir, dependiendo del comportamiento de los procesos de tráfico dentro de la ciudad; por ello, se hace necesario el monitoreo constante de la variable PM_{10} en los distintos puntos de emisión, para garantizar la salud de los más pequeños de la población, a la vez, que

mejora la salud pública regional, evitando futuros contagios y futuros decesos a causa de enfermedades respiratorias agudas y crónicas.

Conclusiones

La contaminación atmosférica por PM produce efectos en la salud de la población, pero sin duda sus mayores efectos se producen en los niños, un sector de la población con mayor susceptibilidad a las amenazas ambientales, en virtud de sus actividades y comportamiento, así como de su reducida capacidad para metabolizar las sustancias tóxicas. Asociado a esto, los niños, a lo largo de su desarrollo, tienen modificaciones en su primer año de vida y, su maduración termina a los seis años de vida, por lo cual la respuesta del sistema inmunitario y pulmonar se ven modificadas por el estímulo del ambiente.

Los factores ambientales, así como la exposición al PM, son responsables de la aparición y/o exacerbación del asma. La exposición a la contaminación atmosférica en etapa de gestación puede conducir al desarrollo de la misma en los siguientes años de vida; además, los niños con madres que durante la etapa de embarazo estuvieron expuestas a constantes niveles de contaminación, son más susceptibles a presentar una disminución en la función pulmonar.

La contaminación atmosférica es un problema de salud pública prioritario en Colombia, en especial en las ciudades con mayores índices de contaminación y, en la época de invierno, donde los índices de contaminación aumentan por la densidad del tráfico vehicular, pues el monóxido de carbono es el gas que se emite en mayor cantidad por los vehículos que utilizan combustibles fósiles como la gasolina y el diésel, los cuales están en continuo aumento, debido al uso continuo que la población hace de ellos, sumado a la variación de las variables climatológicas: temperatura, presión atmosférica, humedad.

Referencias

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). (2022). Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente. Efectos sobre la salud. https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-la-salud-y-el-medioambiente.

Camacho, A. (2018). La importancia del análisis de compuestos orgánicos volátiles (COV) en el aire y el equipo necesario para medirlo. https://blog.analitek.com/la-importancia-del-analisis-de-compuestos-organicos-volatiles-covs-en-el-aire-y-el-equipo-necesario-para-medirlo-0-1.

Consultor Salud. (2018). 1800 millones de niños y niñas en el mundo respiran aire contaminado. https://consultorsalud.com/1800-millones-de-ninos-y-ninas-en-el-mundo-respiran-aire-contaminado/

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2017). Indicadores Tráfico Vehicular. https://www.dnp.gov.co/estudios-y-publicaciones/estudios-economicos/indicadores-de-coyuntura-economica/Paginas/indicadores-trafico-vehicular.aspx

Duque, J. F. (2016). Sobre los efectos de la contaminación atmosférica en la salud. https://www.eafit.edu.co/minisitios/calidad-aire/Documents/contaminacion-efectos-salud.pdf

Gartner, L. P. & Hiatt, J. L. (2011). *Concise Histology.* Saunders/Elsevier.

Martínez, E., Quiroz, C. M. y Rúa, J. A. (2011). Morbilidad respiratoria asociada con la exposición a material particulado en el ambiente. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, *29*(4), 454-460.

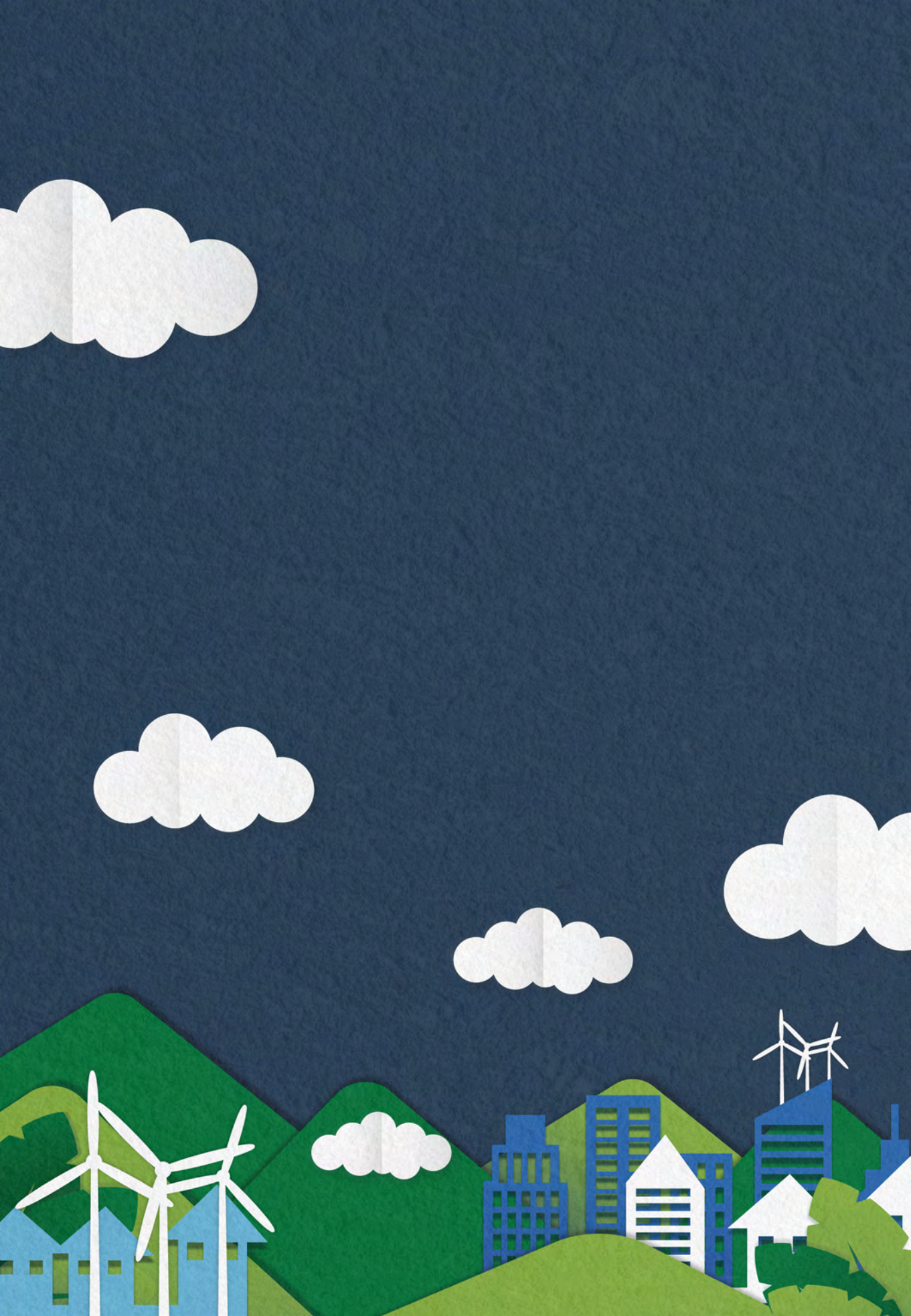
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Guía para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas.* Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Organización Panamericana de la Salud (OPS) y Organización Mundial de la Salud (OMS). (s.f.). Calidad del aire. https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire

Pérez, D. G. (2017). Estudio de emisiones contaminantes utilizando combustibles locales. *INNOVA*, *Research Journal*, *2*(23-24). https://doi.org/10.33890/innova.v3.n3.2018.635

Redacción Turbo. (2019, 19 de febrero). Diesel y vehículos viejos: los contaminantes del aire. https://www.revistaturbo.com/noticias/diesel-y-vehiculos-viejos-los-contaminantes-del-aire-1722

Zhang, L., Morisaki, H., Wei, Y., Li, Z., Yang, L., Zhou, Q., Zhang, X., Xing, W., Hu, M., Shima, M., Toriba, A., Hayakawa, K, & Tang, N. (2019). Characteristics of air pollutants inside and outside a primary school classroom in Beijing and respiratory health impact on children. *Environmental Pollution, 255*. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113147



Diagnóstico y remediación ambiental



Cobertura y uso del suelo en el Santuario de Flora y Fauna Galeras y la zona amortiguadora

Wilmer Andrés Ordóñez Martínez[1]
Germán Edmundo Narváez Bravo[2]

Resumen

En el Santuario de Flora y Fauna Galeras y la zona con función amortiguadora se evidencia la presencia de conflictos de uso del suelo, relacionados con la dinámica económica de las familias aledañas a este. Esta situación genera una fuerte presión sobre ecosistemas de gran importancia ambiental, como el páramo y el bosque altoandino, esenciales en la producción de servicios ecosistémicos. De esta manera, dentro del trabajo denominado "Conflictos de uso de la tierra en el Santuario de Flora y Fauna Galeras y la zona con función amortiguadora", se ha planteado determinar la cobertura y uso actual del suelo en el área de estudio.

En este orden de ideas, para lograr una adecuada identificación de los tipos de coberturas presentes en el Santuario, se ha utilizado la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia y se realizó un análisis de una imagen Sentinel del año 2021 con una resolución de 10 m. De igual manera, se trabajó una clasificación supervisada a través de del software ArcGis 10.3 y, con trabajo de campo se hizo la verificación en lugares claves, logrando determinar que en el área de estudio predominan los pastos y cultivos.

Lo anterior permitió determinar que, en el área de estudio, el sector norte donde la ganadería es la principal actividad económica, hay mayor presencia de pastos limpios, incluso dentro del área de protección, mientras que en el sector sur y suroccidental donde las comunidades derivan su sustento de la agricultura, la parte alta se encuentra en mejor estado de conservación, encontrando coberturas de bosque denso y vegetación secundaria o de transición; el uso predominante es el forestal. En conclusión, esto da como resultado, la creación de las zonas de reservas de la sociedad civil.

Palabras clave: conflicto de uso; problemática ambiental; clasificación supervisada; reservas de la sociedad civil.

[1] Universidad de Nariño, Grupo de Investigación en Geografía Física y Problemas Ambientales – TERRA. Correo: wilmer94ordonez@gmail.com
[2] Universidad de Nariño, Grupo de Investigación en Geografía Física y Problemas Ambientales – TERRA. Correo: genarvaezbravo@gmail.com

Conflictos de uso de la tierra en la microcuenca del río Tajumbina

José Daniel Morillo Madroñero[1]
Yimer Bolaños Muñoz[2]
Germán Edmundo Narváez Bravo[3]

Resumen

La investigación a partir de la cual se elaboró esta ponencia aborda la problemática ambiental relacionada con el uso inadecuado de la tierra en la microcuenca del río Tajumbina, localizada en la zona norte del departamento de Nariño. El objetivo general fue, determinar los conflictos de uso de la tierra relacionados con las actividades productivas"; para esto se analizó las características físico-bióticas y socio-económicas de la microcuenca, con el fin de identificar los conflictos resultantes de la discrepancia entre el uso que el ser humano da al medio natural y, el uso que debería tener, de acuerdo con sus potencialidades y limitaciones.

En el componente metodológico se estableció cuatro fases principales: la primera, referente a la recolección y revisión de información secundaria que aportó la base teórica y conceptual para el abordaje de la temática; la segunda, el procesamiento de la información con la que se elaboró la cartografía preliminar de los aspectos más relevantes de la investigación; la tercera, concerniente al trabajo de campo, consistió en la verificación de la información procesada en fases anteriores y, además, se estableció contacto con la población de la zona; por último, en la cuarta fase se elaboró los productos finales del proyecto.

De esta manera, se identificó 1461,7 ha (25,56 % del total del área de estudio), que se encuentran en algún tipo de conflicto, ubicadas en la parte media y baja de la microcuenca y que afectan la productividad de las tierras, deterioran los suelos y el recurso hídrico, alteran los ecosistemas estratégicos, afectan la calidad y cantidad de los recursos naturales, así como el bienestar de la comunidad presente en el área de estudio. Por ello, a partir de los resultados obtenidos se hizo algunas recomendaciones que permiten un manejo adecuado de la tierra.

Palabras clave: problemática ambiental; conflictos de uso; tierra; microcuenca.

[1] Universidad de Nariño, Colombia. Correo: danielmorillo1126@gmail.com
[2] Universidad de Nariño, Colombia. Correo: yimerbm777@gmail.com
[3] Universidad de Nariño, Colombia. Correo: genarvaezbravo@gmail.com

Estimación de la erosión hídrica de Santiago Tulantepec a través de la EUPSR integrada a Sistemas de información geográfica

Francisco Daniel Vera-Ramírez[1]
Juan Capulín-Grande[2]
Ramón Razo-Zarate[3]
Naum Abraham Fragoso-López[4]
Alfonso Suárez-Islas[5]

Resumen

El aumento de la población humana ha traído consigo, grandes problemas medioambientales; entre ellos, la erosión del suelo, extendida por todo el mundo, ocasionando afectaciones a la productividad y diversidad de los ecosistemas. Por tal motivo, los objetivos de este estudio se centran en determinar el riesgo potencial y actual de la erosión hídrica del suelo en el municipio de Santiago, Tulantepec, a través de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada integrada al software ArcGIS 10.8 para identificar las zonas de mayor riesgo a pérdida de suelo y así, proponer obras y prácticas de conservación y restauración de suelos basadas en los niveles de erosión hídrica actual en el área de estudio.

Para estimar el factor R se empleó el método de interpolación Kriging y el Índice Modificado de Fournier; se usó datos históricos de precipitación media mensual y media anual de una estación que se encuentra dentro de los límites del municipio y de ocho estaciones por fuera de estos, pero próximas a sus límites. Los valores arrojados para R durante el procesamiento indican rangos que van de los 238. 09 a los 278.07 MJ mm ha^{-1} h^{-1} $año^{-1}$, concentrándose los valores más altos en la parte sureste. Para el cálculo del factor K se realizó un muestreo de suelo cada 1 km^2 obteniendo 60 puntos totales, con la finalidad de verificar la textura a través del método del hidrómetro de Bouyoucos, arrojando valores de la FAO que van de 0.007 a 0.079 Mg ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1} según su unidad de suelo y clase textural. Con base en los resultados obtenidos, se generará una serie de recomendaciones para aquellas zonas que presenten mayor riesgo y afectaciones por erosión, y así, permitir controlar y remediar la pérdida de suelo.

Palabras clave: degradación del suelo; ecuación universal de pérdida de suelo; erosión hídrica; sistemas de información geográfica.

[1] Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. Correo: ve243259@uaeh.edu.mx
[2] Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. Correo: juan_capulin3562@uaeh.edu.mx
[3] Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. Correo: ramon_razo@uaeh.edu.mx
[4] Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. Correo: naum_fragoso9276@uaeh.edu.mx
[5] Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. Correo: alfonso_suarez5294@uaeh.edu.mx

Verificación de las rutas de conexión de los corredores biológicos en el municipio de Yacuanquer, Nariño

Emerson Danny Córdoba Bravo[1]
Giovanni Alexander Cuarán Páez[2]
Daisy Gabriela Guerrero Obando[3]

Resumen

Un corredor biológico es una estrategia que brinda conectividad entre los paisajes, ecosistemas y hábitats, sean estos naturales o modificados y, asegura el mantenimiento de la diversidad biológica y los procesos ecológicos y evolutivos, aportando al cuidado y preservación de la flora y fauna presente en un lugar.

En el departamento de Nariño se ubica el Santuario de Fauna y Flora Galeras, área protegida de gran importancia, cuya riqueza está reflejada en la gran variedad de especies de flora y fauna en los ecosistemas de páramo, bosque alto andino y andino; además, cuenta con una zona amortiguadora que cumple la función de atenuar y prevenir alteraciones generadas por acciones antrópicas, en donde se encuentra el municipio de Yacuanquer, donde existen dos corredores de conservación, ubicados en diferentes puntos estratégicos y, distribuidos por toda el área de influencia, como herramientas de interconexión entre la parte baja del Santuario, con los límites municipales a los cuales se les caracterizó la cobertura del suelo a partir de información secundaria en el momento de su implementación. Se realizó una búsqueda de información bibliográfica utilizando fuentes secundarias, repositorios, mapas e informes y, finalmente, se sintetizó la información que permitió caracterizar a los corredores biológicos, obteniendo como resultado, la razón del porqué y las áreas que estos ocupan, además de las coberturas de suelo y zonificación ambiental.

La presencia de corredores de conservación en este municipio denota un área en donde la preservación de flora y fauna es relevante, dada su pertenencia al Santuario, promoviendo la protección de la biodiversidad y del recurso hídrico en un área de alta montaña.

Palabras clave: corredor biológico; diversidad biológica; conectividad; conservación; área protegida.

[1] Universidad Mariana, Colombia. Correo: emecordoba@umariana.edu.co
[2] Universidad Mariana, Colombia. Correo: gicuaran@umariana.edu.co
[3] Universidad Mariana, Colombia. Correo: dgguerreo@umariana.edu.co

Diferentes sistemas de manejo en la vereda Villa Rosa, Colón, Putumayo, Colombia

Adriana del Socorro Guerra Acosta[1]
Lina Fernanda Narváez Aros[2]
Carlos Fernando Rosero Espinosa[3]

Resumen

La investigación se realizó en suelos histosoles de la vereda Villa Rosa, ubicada en el municipio de, Colón, Putumayo, con el objetivo de evaluar algunas propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas de manejo, con tres tratamientos: T1 chagras tradicionales; T2 cultivo de fríjol (*Phaseolus vulgaris*), relevo maíz (*Zea mays*) y T3 manejo ganadero. Se identificó el uso actual del suelo de la vereda, mediante herramientas de información geográfica, que permitieron realizar una modelación y evaluación y, correlacionar algunas variables más sensibles por el manejo del sistema productivo. Se hizo un análisis estadístico de varianza y una prueba de múltiples rangos de Fisher, llevando a cabo una comparación entre los tratamientos evaluados a diferentes profundidades (0-15cm y 15-30cm).

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas (P<0,05), para las propiedades físicas evaluadas, conductividad hidráulica (cm/h) en profundidades de 0 a 15 cm y la densidad real (g/cm^3) a profundidad de 15-30 cm. Los suelos presentaron una Dr en un promedio de valores que fluctuaron entre 0,95 y 2,00 g/cm^3, debido al incremento de agregados minerales a través del tiempo y al manejo realizado en la zona; estos valores se vieron reflejados por la presencia de materia orgánica que contienen estos suelos caracterizados por ser histosoles. En la conductividad hidráulica, la chagra presenta una infiltración que oscila entre 2,72 a 2,78 cm/h, catalogada como moderada. Los tratamientos T2 y T3 que fluctúan entre 0,2 a 1,8 cm/h son clasificados como una infiltración baja. En términos generales, al evaluar algunas propiedades físicas se observó que, a través de los diferentes sistemas de manejo, las variaciones son pocas debido a las características de formación de los suelos de la zona de estudio.

***Palabras clave*:** chagra; histosoles; propiedades físicas del suelo; sistemas de producción; uso del suelo.

[1] Instituto Tecnológico del Putumayo, Sede Valle de Sibundoy, Facultad de Ingeniería, Grupo de investigación en Recursos Naturales Amazónicos (GRAM), coordinadora del semillero de investigación Conservemos Nuestros Suelos (SICNS), Correo: aguerra@itp.edu.co
[2] Ingeniera Ambiental, Instituto Tecnológico del Putumayo, Grupo de investigación en Recursos Naturales Amazónicos (GRAM). Correo: lfnarvaez17s@itp.edu.co
[3] Ingeniero Ambiental, Instituto Tecnológico del Putumayo, Grupo de investigación en Recursos Naturales Amazónicos (GRAM). Correo: feercho98@gmail.com

Modelación del carbono almacenado en la biomasa herbácea de terrenos rehabilitados en el título minero gild-02 en el departamento del Cesar, Colombia

Jorge Eliecer Galvis Daza[1]

Resumen

El título minero GILD-02 se ubica en la zona centro del departamento del Cesar, corredor minero del mismo, en Colombia. Basa su actividad económica en la extracción de carbón térmico, empleando métodos de explotación a cielo abierto. Las diferentes etapas del proceso extractivo contribuyen a la emisión de gases de efecto de invernadero, causante de los cambios climáticos en sistemas naturales y humanos. En la investigación se modeló el carbono contenido por la biomasa herbácea en terrenos rehabilitados por la empresa. La modelación se realizó a partir de la correlación de índices de vegetación extraídos de imágenes de satélite del programa Sentinel-2 y datos tomados en diez puntos de muestreo en terrenos rehabilitados. Para el ajuste de las variables se aplicó dos técnicas: regresión lineal múltiple y algoritmos de bosque aleatorio. La validación de los modelos realizados para la estimación del carbono muestra un coeficiente de correlación de 0.73 y 0.58 respectivamente, para cada uno de los métodos, siendo la regresión lineal múltiple, el método más satisfactorio para modelar el carbono contenido en la biomasa herbácea.

Palabras clave: biomasa herbácea; Sentinel; carbono; minería.

[1] Fundación Universitaria del Área Andina, Colombia. Correo: jgalvis@areandina.edu.co

Remoción de cromo hexavalente en solución acuosa empleando hidrogeles de organoarcilla-alginato de sodio

Mayra Ximena Muñoz Martínez[1]
Gloria Inés Giraldo Gómez[2]
Alejandro Pérez Flórez[3]
Nancy Rocío Sanabria González[4]

Resumen

En esta investigación se realizó la síntesis de hidrogeles de bentonita/alginato y organobentonita/alginato, los cuales fueron utilizados como material adsorbente para la remoción de Cr(III) y Cr(VI) en una muestra real de agua residual no doméstica, proveniente de una curtiembre del municipio de Belén, Nariño. La organobentonita se preparó a partir de bentonita modificada con bromuro de hexadeciltrimetilamonio, HDTMA-Br, y se encapsuló en una matriz de alginato de sodio mediante reacción de reticulación con $CaCl_2$. Con los hidrogeles sintetizados se hizo ensayos de adsorción en columna, obteniéndose remociones de Cr(III) y Cr(VI) mayores al 93.5 y 99.2 %, respectivamente. En conclusión, los hidrogeles de bentonita/alginato y organobentonita/alginato son adsorbentes potenciales para la remoción de cromo en solución acuosa, con la ventaja adicional de ser preparados a partir de un material natural de bajo costo (arcilla tipo bentonita) y un polímero biodegradable (alginato de sodio).

Palabras clave: adsorción; cromo; curtiembre; bentonita; alginato.

[1] Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Colombia. Correo: mxmunozm@unal.edu.co
[2] Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Colombia. Correo: gigiraldogo@unal.edu.co
[3] Pontificia Universidad Javeriana Sede Bogotá, Colombia. Correo: alejandroperez@javeriana.edu.co
[4] Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Colombia. Correo: nrsanabriag@unal.edu.co

Oxidación catalítica en medio heterogéneo de un colorante azoico, empleando el sistema peróxido activado con bicarbonato

Natalia Marín-González[1]
Iván F. Macías-Quiroga[2]
Nancy R. Sanabria-González[3]
Julio A. Cardona-Castaño[4]
Juan D. Rivera-Giraldo[5]

Resumen

Los procesos de oxidación avanzados se han convertido en una tecnología prometedora para el tratamiento de aguas contaminantes con compuestos recalcitrantes. Los colorantes alimenticios sintéticos son atractivos por su estabilidad a la luz, al oxígeno y a los cambios de pH; sin embargo, estas características hacen que estos compuestos no sean biodegradables. Además, los sistemas de tratamiento de aguas convencionales son ineficientes para la remoción de colorantes y, el vertimiento de aguas coloreadas a las fuentes hídricas afecta a los organismos acuáticos, reduce la actividad fotosintética y disminuye la concentración de oxígeno disuelto.

El sistema BAP (por sus siglas en inglés: *Bicarbonate Activated Peroxide*) es una tecnología emergente que utiliza el peróxido de hidrógeno -H_2O_2- activado con bicarbonato, HCO_3-, para la generación de especies reactivas de oxígeno, las cuales son utilizadas para la degradación de contaminantes orgánicos. Con el sistema HCO_3-/H_2O_2 se ha logrado la degradación de varios colorantes, y esta se ha visto favorecida por la presencia de iones metálicos redox como el cobalto. En este trabajo se estudió la actividad del cobalto impregnado en arcilla pilarizada con aluminio, Co/Al-PILC, como catalizador del sistema BAP para la oxidación del colorante azoico rojo allura en solución acuosa. Las variables de respuesta para el seguimiento de la reacción fueron decoloración y remociones de carbono total y

[1] Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Campus La Nubia, Manizales, Colombia. Correo: nmaring@unal.edu.co
[2] Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Campus La Nubia, Manizales, Colombia. Correo: ifmaciasq@unal.edu.co
[3] Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Campus La Nubia, Manizales, Colombia. Correo: nrsanabriag@unal.edu.co
[4] Universidad de Caldas, Manizales, Colombia. Correo: julio.cardona_c@ucaldas.edu.co
[5] Universidad de Caldas, Manizales, Colombia. Correo: juan.rivera@ucaldas.edu.co

nitrógeno total. Los ensayos de oxidación se realizaron bajo condiciones suaves (presión atmosférica y 25 °C) y tiempo de reacción de 5 h. Con este sistema de oxidación se ha logrado decoloración total y remociones de CT y NT mayores al 7.2±0.1 y 52.1±2.4 %, respectivamente, lo cual sugiere que el sistema Al-PILC-BAP es una tecnología potencial para el tratamiento de vertimientos coloreados.

Palabras clave: POxAs; sistema BAP; rojo allura; decoloración; oxidación.

Detección de pesticidas organofosforados mediante un biosensor amperométrico

Nancy Montes Valencia[1]
Gustavo A. Peñuela[2]
Juan B. Cano[3]
Nelson Londoño[4]

Resumen

Los pesticidas organofosforados son compuestos muy tóxicos que pueden inhibir la enzima acetilcolinesterasa, vital para el adecuado funcionamiento del sistema nervioso central. Estos compuestos son una amenaza para la salud humana y el ambiente, porque pueden entrar al ciclo del agua y también contaminar los alimentos.

La necesidad de medir los pesticidas organofosforados en campo y sus bajas concentraciones en los cuerpos de agua, hace difícil su detección; por lo tanto, el principal objetivo de esta investigación fue desarrollar un dispositivo portátil para detectarlos, usando un biosensor amperométrico sensible en aguas crudas.

El biosensor construido en este trabajo corresponde a un electrodo de carbono modificado con nanotubos de carbono multipared y funcionalizado con el grupo carboxilo. A continuación, la enzima fue inmovilizada por enlace químico covalente sobre la superficie del electrodo, paso crucial para lograr un biosensor de alto rendimiento.

El electrodo modificado fue caracterizado por SEM y espectroscopia Raman. Se ha determinado la concentración de enzima y de sustrato que produjeron la máxima corriente y voltaje asociado, ya que son proporcionales a la intensidad de la reacción bioquímica ocurrida. También se ha medido la cinética de la enzima AChE libre sin inhibidor.

Las técnicas de SEM y Raman permitieron caracterizar el electrodo modificado. La enzima acetilcolinesterasa tuvo una apropiada actividad enzimática. El electrodo modificado con MWCNT y funcionalizado con el grupo carboxilo aportó buenas propiedades que favorecieron el alto desempeño del biosensor.

Palabras clave: biosensor; pesticidas organofosforados; contaminación.

[1] Universidad de Antioquia, Institución Universitaria Pascual Bravo. Correo: nancy.montes@udea.edu.co - nmontes@pascualbravo.edu.co
[2] Universidad de Antioquia, Colombia. Correo: gustavo.penuela@dea.edu.co
[3] Universidad de Antioquia, Colombia. Correo: bernardo.cano@udea.edu.co
[4] Universidad de Antioquia, Colombia. Correo: nelson.londono@udea.edu.co

Remoción de cafeína en solución acuosa, usando bentonita como material adsorbente

Javier Andrés Quintero Jaramillo[1]
Javier Ignacio Carrero Mantilla[2]
Nancy Rocío Sanabria[3]

Resumen

La preocupación por los contaminantes emergentes como la cafeína tiene importancia a nivel mundial, dado que, estudios recientes han confirmado su presencia en diferentes fuentes de aguas, superficiales, potables y residuales. La cafeína es un alcaloide empleado como componente activo en medicamentos de uso psicoestimulante, analgésico y como broncodilatador; es un compuesto persistente que no se elimina completamente en las plantas de tratamiento de aguas convencionales y es considerado un indicador de contaminación antropogénica.

El objetivo de la presente investigación fue estudiar la adsorción de cafeína en solución acuosa, usando una arcilla tipo bentonita (adsorbente de origen natural y bajo costo) modificada térmicamente a 200 °C. Se utilizó la Metodología de Superficie de Respuesta basada en un Diseño Compuesto Central para evaluar y optimizar la influencia de dos variables experimentales: dosis de adsorbente y concentración inicial de cafeína en la adsorción de cafeína. Las adsorciones tipo batch fueron realizadas a 25 °C, pH 7.0, velocidad de agitación 400 rpm y un tiempo de contacto de 120 minutos - parámetros definidos en ensayos preliminares. El análisis de varianza con un nivel de confianza del 95 % mostró que, el modelo cuadrático es significativo, con valores de R^2 y R^2-adj de 0.9550 y 0.9269, respectivamente.

Para una concentración inicial de cafeína de 29.5 mg/L, la máxima remoción (91,80 % de adsorción) se logró con una dosis de adsorbente de 2.72 g/L, obteniendo una deseabilidad de 1.0 (condiciones de optimización), resultados que confirman la respuesta aceptable de predicción del modelo de remoción de cafeína con cambios en las dos variables. En conclusión, la adsorción de cafeína usando una arcilla tipo bentonita modificada térmicamente mostró ser un sistema de tratamiento adecuado para la remoción de este contaminante emergente.

***Palabras clave*:** adsorción; bentonita; cafeína; contaminante emergente.

[1] Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, Colombia. Correo: jaquinteroj@unal.edu.co
[2] Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, Colombia. Correo: jicarrerom@unal.edu.co
[3] Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, Colombia. Correo: nrsanabriag@unal.edu.co

Uso potencial de cianobacterias en consorcios microbianos, para la recuperación de suelos deficientes de nutrientes en Colombia

Jorge Cadena-Bajaire[1]
Regie Borja-De La Hoz[2]
Claudia Tapia-Larios[3]

Resumen

La preocupación por la conservación del medio ambiente en el mundo está tomando cada vez más fuerza y, por ende, la creación de nuevas técnicas para la recuperación de estos medios. Por esto, desde hace varios años se ha estado apuntando a desarrollar métodos para la recuperación de suelos contaminados o suelos carentes de sus nutrientes principales, que son aquellos que no cuentan con componentes necesarios como el nitrógeno y el fósforo disponibles.

La implementación de consorcios microbianos con cianobacterias propone una excelente alternativa para el desarrollo de estas nuevas tecnologías, que entrarían a reemplazar a las ya convencionales, con base en compuestos químicos. El principal objetivo de la investigación es identificar el uso potencial que tienen las cianobacterias presentes en consorcios microbianos para la recuperación de suelos deficientes de sus nutrientes principales. Para esto, se estudia los mecanismos que utilizan estos microorganismos, para efectuar la recuperación de diferentes tipos de suelos y su efecto en ellos.

Se concluye que, las cianobacterias tienen gran aplicabilidad a nivel industrial y han sido desarrollados numerosos métodos basados en biotecnología, en donde estos organismos son los principales protagonistas. En cuanto al seguimiento de los nutrientes esenciales que se necesita para la fertilidad del suelo, se menciona principalmente la situación respecto al nitrógeno y al fósforo disponibles, los cuales constituyen elementos altamente limitantes para el correcto desarrollo de los diferentes cultivos para la agricultura y el suelo en general.

Palabras clave: cianobacterias; consorcio microbiano; suelos infértiles; nitrógeno; fósforo.

[1] Universidad Libre seccional Barranquilla, Programa de Microbiología, Colombia. Correo: jorgea-cadenab@unilibre.edu.co
[2] Universidad Libre seccional Barranquilla, Programa de Microbiología, Colombia. Correo: regiea-borjad@unilibre.edu.co
[3] Universidad Libre seccional Barranquilla, Programa de Microbiología, Colombia. Correo: claudiam.tapial@unilibre.edu.co

Remediación de suelos degradados con glifosato a partir de enmiendas orgánicas a escala laboratorio

Dayana Vanessa Abahonza de la Cruz[1]
Oswal Andrés Benavides Mejía[2]
Cristian Polo Fajardo Escobar[3]
Jenny Lucía Huertas Delgado[4]

Resumen

La presente investigación pretende evaluar el proceso de remediación de las propiedades fisicoquímicas de un suelo contaminado con glifosato, mediante la implementación de tres tipos de enmiendas orgánicas: abono orgánico, lombricomposta y lodos residuales. Lo primero es realizar un análisis de las propiedades del suelo a evaluar (suelo control), seguido del proceso de estabilización de las enmiendas; finalmente, se incorpora el agente contaminante (glifosato) y las enmiendas, dando como resultado las siguientes muestras a examinar: Suelo control, suelo contaminando, suelo contaminado + enmienda 1, suelo contaminado + enmienda 2, suelo contaminado + enmienda 3.

El proceso de remediación tiene un periodo de dos meses, en los cuales se realiza pruebas de laboratorio a los 7, 15, 30 y 60 días; en cada prueba se hace tres repeticiones por cada uno de los parámetros fisicoquímicos que se está estudiando: Materia orgánica, humedad, textura, pH, capacidad de intercambio catiónico, densidad aparente, densidad real y conductividad eléctrica. Los resultados parciales indican que la enmienda de mayor eficiencia es el abono orgánico, debido a que, en el parámetro de materia orgánica presenta los resultados más favorables respecto a las otras enmiendas; esto se puede validar.

Considerando las propiedades que tuvieron un cambio, se fue aumentando la capacidad de materia orgánica, densidad real, pH, densidad aparente; es factible

[1] Universidad Mariana, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Ambiental, Colombia. Correo: daabahonza@umariana.edu.co
[2] Universidad Mariana, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Ambiental, Colombia. Correo: oswabenavides@umariana.edu.co
[3] Universidad Mariana, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Ambiental, Colombia. Correo: crisfajardo@umariana.edu.co
[4] Universidad Mariana, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Ambiental, Colombia. Correo: jlhuertas@umariana.edu.co

afirmar que la enmienda mejoró considerablemente las propiedades físicas de la muestra de suelo, debido a procesos microbiológicos y acción de nutrientes; en consecuencia, es posible afirmar que las enmiendas son una herramienta eficiente en el proceso de remediación de suelo contaminando con glifosato, desde el punto de vista de la efectividad y de los costos a la hora de hacer la operación de compostaje, así como su manejo, rapidez de acción y persistencia de este tipo de enmiendas.

Palabras clave: glifosato; remediación; enmiendas.

Biorremediación de suelo contaminado por hidrocarburos, mediante microorganismos eficientes a escala laboratorio en el páramo Bordoncillo, departamento de Nariño

Luis Miguel Erazo Zamudio[1]
Jeffrey Esteban Buchelly Acosta[2]
José Guillermo Gutiérrez Rivera[3]
Jenny Lucía Huertas Delgado[4]

Resumen

La presente investigación se enfoca en el campo de control de contaminación, planteando así la alternativa de biorremediación en un ecosistema muy importante como es el páramo y los servicios ecosistémicos esenciales que presta, ya que en nuestro país se tiene la fortuna de poseer un número considerable de páramos y, el deber como seres humanos es, preservarlos para generaciones futuras. Ante esto se evaluará la biorremediación de un suelo de páramo al ser contaminado con crudo de petróleo y, a su vez, se analizará la variación que tendrán las características del suelo después de incorporar microorganismos eficientes, planteando la investigación con una estructura enfocada en determinar las propiedades fisicoquímicas y biológicas de un suelo control, un suelo contaminado con crudo de petróleo y un suelo remediado mediante microorganismos eficientes, utilizando una metodología dirigida a la parte cuantitativa de tipo correlacional experimental en un campo de proyección ambiental, con los siguientes procesos a realizar: análisis fisicoquímico y microbiológico de la muestra inicial de suelo control y de la muestra inicial de suelo contaminado con petróleo, obtención de la cantidad óptima para la remediación de suelo contaminado por hidrocarburo, según las unidades formadoras de colonias obtenidas y un análisis en cuanto a las propiedades de materia orgánica porosidad, pH, densidad aparente.

Ante lo anterior se implementó un diseño de experimentos con los siguientes avances: se tomó nueve recipientes, en los cuales se introdujo 3 kg de suelo para cada uno; se utilizó 150 y 300 ml de crudo de petróleo como dosis contaminantes y 250ml, 500ml, 1L como dosis de microorganismos eficientes, dejando un recipiente

[1] Universidad Mariana, Colombia. Correo: luismerazo@umariana.edu.co
[2] Universidad Mariana, Colombia.
[3] Universidad Mariana, Colombia. Correo: josgutierrez@umariana.edu.co
[4] Universidad Mariana, Colombia. Correo: jlhuertas@umariana.edu.co

como muestra control y dos recipientes solamente contaminados, definiendo totalmente cuatro muestreos en un tiempo de cuatro meses para, finalmente, evaluar la extracción del petróleo en el suelo mediante cromatografía.

Palabras clave: suelo; biorremediación; hidrocarburo (crudo de petróleo); microorganismos eficientes; páramo.

Estudio de los efectos de una enmienda orgánica sobre las propiedades fisicoquímicas y los procesos erosivos del suelo cultivado con plantas de coca (*Erythroxylum coca*)

Paula Andrea Araujo Goyes[1]
Karen Eliana Coral Pepinosa[2]
Jenny Lucía Huertas Delgado[3]

Resumen

En el Resguardo Santa Clara, municipio de Ricaurte, la plantación de coca (*Erythroxylum coca*) constituye una de las actividades económicas más importantes, pero ha generado un impacto negativo en el suelo, aumentando el transporte de sedimentos, la pérdida de cobertura vegetal, una baja concentración de nutrientes esenciales, razón por la cual se aplicó una enmienda orgánica a base de porquinaza, con el propósito de estudiar sus efectos hacia los procesos erosivos causados y, el mejoramiento de las propiedades fisicoquímicas del suelo.

La aplicación de la enmienda se realizó atendiendo dos usos de suelo con condiciones de pendiente alta y se ejecutó un muestreo cada mes durante tres meses; además, se tuvo en cuenta la metodología de parcelas de escorrentía para el control de la erosión, a raíz de lo cual se determinó que, el suelo control presentó mejores condiciones en comparación al suelo degradado; sin embargo, cabe resaltar que este último no mostró unas condiciones fisicoquímicas totalmente degradadas.

Lo anterior se logró determinar a partir del estudio de diferentes parámetros fisicoquímicos; en este sentido, se evidenció que el suelo control presenta contenidos de materia orgánica con un promedio de 11,43 %, considerado como un suelo con alto porcentaje de materia orgánica; del mismo modo, se obtuvo pH menores a 7, por lo que son considerados como suelos ácidos y no salinos. Los resultados obtenidos de la capacidad de intercambio catiónico demostraron que el suelo degradado presentó un mayor valor de esta (29,44 meq/100g) en comparación al suelo control (29,20 meq/100g), por la relación que existe entre ella y las partículas que conforman la textura del suelo, dado que, el suelo control corresponde a una textura areno franco, mientras que el suelo degradado comprende una textura franco arenosa.

Palabras clave: suelo; monocultivo; erosión hídrica; degradación del suelo; enmienda orgánica.

[1] Universidad Mariana, Colombia. Correo: paraujo@umariana.edu.co
[2] Universidad Mariana, Colombia. Correo: karcoral@umariana.edu.co
[3] Universidad Mariana, Colombia. Correo: jlhuertas@umariana.edu.co

Diseño de coberturas vegetales sostenibles para restauración pasiva asistida de taludes y canteras generadas por minería, incendios forestales y asentamientos humanos

Carlos Arturo Pinto Tolosa[1]

Resumen

En los cerros orientales de Bogotá existen más de 100 canteras abandonadas, resultado de la extracción minera, deforestación, incendios y asentamientos humanos. Son sitios donde se continúa perpetuando la decadencia de los ecosistemas. El diagnóstico de esas áreas evidenció condiciones que dificultan su restauración. La alta complejidad y costos para su rehabilitación, requirió poner en práctica técnicas artesanales y validar modelos hipotéticos para recuperar calidad, biodiversidad y funcionalidad a nivel ecológico, genético, paisajístico e hídrico, a bajo costo. Para ello se diseñó un protocolo sostenible de propagación vegetal con especies rasantes de montaña, para la revegetalización pasiva de las áreas afectadas. Se colectó en la montaña, 17 especies vegetales, con características orientadas a la protección y formación de suelo; se realizó prácticas de propagación en los inertes mineros como testigo y en seis mezclas de ellos con suelo fértil en proporciones de 75, 50 y 25 %. Bajo el método de bloques completos al azar, se midió el crecimiento de las plantas como única variable dependiente. En invernadero se logró propagar doce especies en suelo fértil y siete en las diferentes mezclas, donde destacan tres: *Acmella mutisii*, *Anredera vesicaria* y *Lechemilla orbiculata*, por crecimiento, tamaño y calidad de hoja, raíz y otras cualidades; con estas especies se continuó la investigación. La superposición de resultados, incluidos los costos, orientó la elaboración de las coberturas a partir de fibras sintéticas como refuerzo, la mezcla de sustratos mejorados y propágulos de las especies vegetales seleccionadas y/o enriquecidas con semillas de especies nativas. Los mantos tienen un diámetro de cinco centímetros y un peso promedio de 50 kilos por m^2. En abril de 2017 se inició la fase de campo con la siembra y toma de resultados; en taludes del parque Entrenubes en 2019; en Mirador de los Nevados, administrados por la Secretaría Distrital de Ambiente.

Palabras clave: cerros orientales; canteras; minería; restauración.

[1] Estudiante de la Maestría, Manejo Uso y Conservación del Bosque, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Correo: kwpinto@gmail.com

Evaluación de la calidad del agua y presencia de microplásticos en el lago de Zirahuén, Michoacán

Adabella Ruiz-Vigil[1]
Raúl Cortés-Martínez[2]
Ruth Alfaro-Cuevas-Villanueva[3]

Resumen

La calidad del agua en las corrientes superficiales está determinada por parámetros físicos, químicos, organismos vivos y, por el aprovechamiento al que se encuentran sujetas. Los fenómenos naturales y las actividades humanas se encargan de alterar estos parámetros. Por otro lado, la contaminación por microplásticos, bajo ciertas condiciones ambientales, puede acumularse a una concentración nociva y causar daños ecológicos. Los microplásticos presentes en los cuerpos de agua pueden liberar compuestos tóxicos en su degradación, presentando un potencial riesgo para los organismos acuáticos; por lo tanto, el objetivo de este trabajo es evaluar la calidad del agua y la presencia de microplásticos en el lago de Zirahuén, Michoacán, México. La zona de estudio se localiza en la porción centro–norte del Estado de Michoacán, dentro de la región hidrológica de la cuenca del Balsas a 2075 m s.n.m. Es un lago de tipo endorreico y posee una profundidad máxima de 43 m. Para llevar a cabo lo anterior, se realizó la primera colecta de muestras, de cuatro programadas, incluyendo su principal afluente, el río El Silencio. Se consideró diez sitios de muestreo. Se llevó a cabo la caracterización fisicoquímica y microbiológica, con base en los métodos establecidos en las normas mexicanas, así como la determinación de la presencia de microplásticos mediante métodos reportados en la literatura internacional. Los resultados obtenidos hasta el momento indican una conductividad eléctrica promedio de 153.5 µS/cm y un pH promedio de 8.62, así como un valor de DBO_5 que oscila entre 1.0 a 3.35 mg/L, lo cual indica que el agua es de buena calidad con bajo contenido de materia orgánica biodegradable. El valor de DQO máximo fue de 27 mg/L. La Comisión Nacional del Agua establece un intervalo de 20<DQO<40, el cual indica que el agua de la zona de estudio es de calidad aceptable con indicios de contaminación en algunos sitios. Por otra parte, se observó una baja presencia de microplásticos en las muestras analizadas.

Palabras clave: Lago de Zirahuén; calidad del agua; parámetros fisicoquímicos; microplásticos.

[1] Magíster en Ciencias en Ingeniería Ambiental, UMSNH, Gral. Francisco J. Múgica S/N, Felicitas del Río, 58030, Morelia, Mich. Correo: 1211842k@umich.mx
[2] Químico Farmacobiólogo, UMSNH, Tzintzuntan 173, Colonia Matamoros, 58240, Morelia, Mich. Correo: raul.cortes@umich.mx
[3] Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, UMSNH, Gral. Francisco J. Múgica S/N, Felicitas del Río, 58030, Morelia, Mich. Correo: Ruth.alfaro@umich.mx

Aprovechamiento de cáscaras de frutas como biomasas sostenibles para la remoción de metales pesados en aguas residuales

Dora Luz Gómez-Aguilar[1]
Juan Pablo Rodríguez Miranda[2]
Octavio José Salcedo-Parra[3]

Resumen

En Colombia, hacia el año 2007 se reportó un total de 433 especies de frutales comestibles, posicionando al país como el primero en el mundo en biodiversidad de estos alimentos por km^2 y donde 54 de ellas fueron registradas como las de mayor consumo interno, entre las que se encuentra: limón, banano, mango, entre otras. Su producción aparece registrada en Agronet. Por otro lado, uno de los desafíos ambientales que actualmente están afectando negativamente al ecosistema, son las descargadas continuas de aguas residuales industriales no depuradas tanto a fuentes hídricas como a suelos, las cuales contienen una alta carga contaminante de sustancias orgánicas, inorgánicas y biológicas. Por esta razón, uno de los objetivos fue la indagación acerca del aprovechamiento de biomasas muertas provenientes de cáscaras de frutas reportadas en productos investigativos y que pueden ser utilizadas en el territorio colombiano como alternativas sostenibles para la biosorción de metales pesados presentes en las aguas residuales industriales. Frente a ello, la investigación fue de tipo cualitativo de alcance exploratorio – descriptivo, centrada en una revisión documental entre los años 2010 a 2021 a nivel local, nacional e internacional sobre trabajos de grado, tesis de posgrado, patentes, así como consulta en bases de datos. Acerca de los resultados, se encontró 17 trabajos de grado, tres tesis de maestría, una tesis doctoral y 51 artículos científicos. Se observó mayores investigaciones con las cáscaras de banano, naranja y coco sin/con modificaciones físico-químicas, particularmente en aguas residuales sintéticas. Algunos metales pesados que han sido removidos son Cr (III y VI), Zn(II). Finalmente, se concluye que la cáscara de lulo aún no aparece en productos investigativos ni en patentes, así como, hay pocos estudios en aguas residuales reales y en selectividad de metales. Este tipo de tecnología podría convertirse en una alternativa para la mitigación de contaminantes inorgánicos en Colombia.

Palabras clave: aguas residuales; biosorción; cáscaras de frutas; Colombia; metales pesados.

[1] Universidad Pedagógica Nacional, Colombia. Correo: dgomez@pedagogica.edu.co
[2] Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Correo: jprodriguezm@udistrital.edu.co.
[3] Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Universidad Nacional de Colombia. Correo: ojsalcedop@unal.edu.co - osalcedo@udistrital.edu.co

Niveles, distribución y fuentes de hidrocarburos aromáticos policíclicos en agua y sedimentos del embalse La Fe, Colombia

Fredy Amaringo Villa[1]

Francisco Molina[2]

Resumen

El propósito de este resumen es presentar los resultados de los niveles, distribución y fuentes de hidrocarburos aromáticos policíclicos que están presentes en aguas y sedimentos del embalse La Fe del municipio de Retiro, Antioquia. Este embalse forma parte del sistema principal de abastecimiento de agua para el área metropolitana del Valle de Aburrá, prestando servicio a un millón y medio de habitantes. Las concentraciones de estos hidrocarburos en agua fueron medidas mediante el método de muestreo pasivo, utilizando dispositivos de membrana semipermeable que permiten obtener la concentración promedio ponderada en tiempo. Los análisis de los mismos fueron por medio de cromatografía de gases, acoplada a espectrometría de masas. En esta investigación se halló 14, en los extractos dializados de dispositivos de membranas semipermeables desplegados en seis estaciones durante 21 días en el embalse; las concentraciones varían entre 5.762 a 21.491 ng/g. con un promedio de 11.447 ng/g. A partir de los resultados de los extractos dializados, se estimó la concentración de hidrocarburos disueltos en agua (Cw), variando de un valor mínimo de 219,28 ng/L a un máximo de 1.002,38 ng/L con un promedio de 420,23 ng/L. En cuanto a los sedimentos, se halló 13 hidrocarburos; las concentraciones variaron entre 30,49 a 812,5 ng/g con un promedio de 284,32 ng/g en todas las estaciones muestreadas en el embalse. Para determinar el origen de los hidrocarburos se utilizó la relación de isómeros encontrados en los extractos dializados de dispositivos y sedimentos. De igual manera, se hizo un análisis de componentes principales para determinar las distribuciones de las fuentes y estaciones del embalse. Los resultados sugieren que las principales fuentes de hidrocarburos estudiadas proceden de emisiones vehiculares derivadas de la combustión incompleta de motores, incendios forestales o quema de carbón y leña.

Palabras clave: agua; sedimentos; fuentes; petrogénicas; pirogénicas.

[1] Grupo de Investigación en Gestión y Modelación Ambiental GAIA, Escuela Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Colombia. Correo: fredy.amaringo@udea.edu.co

[2] Grupo de Investigación en Gestión y Modelación Ambiental GAIA, Escuela Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Colombia. Correo: francisco.molina@udea.edu.co

Tratamiento con oxidantes para la reducción de sabor en agua potable

Alexandra Cerón Vivas[1]
Maryory Patricia Villamizar León[2]

Resumen

La planta de tratamiento Bosconia del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga ha presentado eventos de sabor en el agua tratada, propiciados por el crecimiento de microalgas en la fuente abastecedora. La geosmina y el 2-metilisoborneol son metabolitos derivados de las cianobacterias que producen problemas de sabor y olor en el agua. En este estudio se evaluó la oxidación química, como una alternativa para la remoción del sabor generado por geosmina y 2-metilisoborneol. Se tomó muestras de agua antes de la bocatoma que abastece a la planta; se agregó cuatro combinaciones de geosmina y 2-metilisoborneol al agua a tratar y se evaluó dos oxidantes: permanganato de potasio y peróxido de hidrógeno, con cuatro dosis cada uno; además, se evaluó el uso de una poliacrilamida como ayudante. Todas las pruebas fueron realizadas por medio del test de jarras, replicando las condiciones de operación de la planta. La evaluación se hizo por medio de pruebas de catación y análisis de componentes principales. De acuerdo con los resultados, la pre-oxidación es un tratamiento viable a la hora de eliminar los metabolitos mencionados, alcanzando un porcentaje de remoción del 81,58 % para el primero y, de 88 % para el segundo. El peróxido de hidrógeno presenta mayor eficiencia de remoción de los metabolitos cuando no se adiciona poliacrilamida y, el permanganato de potasio aumenta su efectividad en la eliminación de ellos, del agua, con el uso del polímero.

Palabras clave: geosmina; metilisoborneol; oxidación química.

[1] Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Bucaramanga, Colombia. Correo: alexandra.ceron@upb.edu.co
[2] Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Bucaramanga, Colombia. Correo: maryory.villamizar@upb.edu.co

Pasivos ambientales: implicaciones socioecológicas y costos por asumir

María Alejandra Rodríguez Zapata[1]
Cesar Augusto Ruiz Agudelo[2]

Resumen

En Colombia no existe una estructura formal de gestión de pasivos ambientales ni un desarrollo metodológico oficial para su evaluación integral. La presente investigación genera una actualización de la distribución, avances en gestión e implicaciones socioambientales y gubernamentales de estos en el territorio, así como una estimación de su valor económico. Se desarrolló una búsqueda sistemática de información y se los clasificó según el avance en su gestión, como: huérfanos, contingentes o, configurados. La valoración económica se desarrolló mediante el método de transferencia de beneficios, a partir de los costos reportados en la *Ecosystem Services Valuation Database*. Todos los departamentos colombianos estuvieron afectados por la presencia de pasivos ambientales, con excepción de Quindío, Caquetá, Guaviare y Vichada; y, predominantemente en Chocó, Cundinamarca, Antioquia y Cesar. Fueron identificados un total de 223, causados principalmente por la extracción de oro, carbón y petróleo. La valoración económica muestra una deuda máxima de 99 mil millones de dólares en Cesar y, una mínima de 940 millones de dólares en Antioquia. Para la mayoría de los casos, el aprovisionamiento de agua es, en términos económicos, el más afectado. En general, se encontró que los pasivos ambientales en Colombia representan una amenaza particularmente peligrosa para el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible, como consecuencia de la convergencia de bajos estándares ambientales que hacen al país, atractivo a la industria extractiva y, una gran diversidad biológica, étnica y cultural. Se sugiere replantear las actividades extractivas como un motor económico, teniendo en cuenta las implicaciones ambientales, el posible efecto sinérgico negativo con la alta y muy alta vulnerabilidad al cambio climático, estimada para los cuatro departamentos afectados principalmente por pasivos ambientales, la generación de líneas de acción y, una legislación que apunte hacia la prevención y remediación, crucial para definir el futuro de la biodiversidad y la resiliencia sociocultural.

Palabras clave: actividad extractiva; pasivos ambientales; biodiversidad; gestión ambiental.

[1] Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Colombia. Correo: mariaa.rodriguezz@utadeo.edu.co
[2] Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Colombia. Correo: cesara.ruiza@utadeo.edu.co

Análisis bibliométrico sobre el uso de humedales construidos para el tratamiento de efluentes líquidos de la industria láctea

Ana Victoria Chamorro Narváez[1]
Suleidy Arjenis Cuarán Guaranguay[2]
Tatiana Mañunga[3]

Resumen

Los humedales construidos son una alternativa de tratamiento caracterizada por su alta eficiencia en la remoción de contaminantes. Aunque son usados desde hace más de 20 años, en la práctica algunas experiencias muestran deficiencias en su funcionamiento, incluso con aguas residuales simples como las domésticas. En el caso de efluentes de mayor complejidad como los de la industria láctea, resulta importante determinar las variables y aspectos críticos para su implementación. Así, en esta investigación, con apoyo de herramientas de la vigilancia tecnológica, se efectuó un estudio bibliométrico sobre su uso para el tratamiento de efluentes líquidos de la industria láctea. Se empleó una metodología cualitativa realizando búsqueda de artículos científicos en las bases de datos de SCIELO, SCOPUS, B.A.S.E e IEEE. A partir de ecuaciones de búsqueda construidas con palabras claves como "*wastewater whey*, *constructed wetlands*, *cheese whey* y *phosphorous removal*, se recopiló los metadatos que fueron almacenados en archivos *.RIS para la elaboración de mapas bibliométricos a través del software VOSviewer. Los resultados mostraron que se recuperó 1974 documentos en el periodo 2000 - 2020. El mapa de red identificó siete clústeres temáticos en la definición de corrientes principales de investigación. Los clústeres 2, 4 y 5 agruparon el 41,5 % de las palabras claves, con una estrecha relación en temas como industria láctea, biomasa, carbono, nitrificación, nitratos y humedales construidos de flujo subsuperficial, lo que permitió corroborar que, además de la remoción de carbono en el agua residual de la industria láctea, es importante la remoción de nitrógeno; de ahí que los humedales construidos sean una alternativa adecuada para su tratamiento. Se concluye que, la vigilancia tecnológica permitió encontrar el estado actual de la investigación y, reconocer factores principales. El proceso de vigilancia tecnológica puede ser aplicado a diferentes áreas científicas.

Palabras clave: análisis bibliométrico; humedales construidos; tratamiento de aguas residuales; industria láctea.

[1] Universidad Mariana, Facultad de Ingeniería, Programa Ingeniería ambiental, Colombia. Correo: achamorro@umariana.edu.co
[2] Universidad Mariana, Facultad de Ingeniería, Programa Ingeniería ambiental, Colombia. Correo: sucuaran@umariana.edu.co
[3] Universidad Mariana, Facultad de Ingeniería, Programa Ingeniería ambiental, Colombia. Correo: tmanunga@umariana.edu.co

Estimación de caudales medios mensuales en cuencas con escasa información hidrológica mediante el modelo Thomas Fiering y IPH-II MEN

Francisco Mafla[1]
Facundo Ganancias[2]
Andrés Rosero Legarda[3]

Resumen

El artículo presenta una metodología para realizar estimaciones de caudales mensuales en cuencas no aforadas y con poca información disponible, a través de la aplicación de un modelo estocástico para la generación de precipitación y determinístico para su transformación a caudal en las cuencas Chico y Las Tunas, provincia de Catamarca, Argentina. Las estaciones utilizadas para el análisis fueron Motegasto y El Alto, para la calibración del modelo, utilizando 18 y 12 años, respectivamente, mientras que, para la validación fueron empleados registros de 4 y 9. Para la generación de la precipitación mensual se utilizó el modelo estocástico de Thomas Fiering, el cual forja secuencias sintéticas con estructuras correlaciones de mes a mes y con las que se usa doce ecuaciones (cada una corresponde a un mes del año), en tanto que, el modelo IPH-II MEN utilizado en la transformación, se basa en el algoritmo de separación de escurrimiento desarrollado por Berthelot, quien utilizó la ecuación de continuidad, en combinación con la ecuación de Horton y una función empírica para la percolación. Este modelo está compuesto por los algoritmos de pérdidas por evaporación e intercepción, separación de los escurrimientos, propagación del escurrimiento superficial, propagación subterránea y, optimización de parámetros. Los resultados obtenidos indican que existe buena confiabilidad, pues los valores de coeficientes de correlación estuvieron entre 0.6 y 0.7 para el modelo estocástico y, valores de 0.95 y 0.87 para el modelo de transformación. Con esto, se puede decir que los modelos estocásticos y de transformación precipitación-escorrentía son de gran importancia y tienen certeza al momento de predecir escenarios futuros que permitan realizar una correcta planificación del recurso hídrico.

Palabras clave: hidrología estocástica; transformación precipitación-escorrentía; Thomas Fiering; IPH II-MEN.

[1] Universidad Mariana, Colombia. Correo: fmaffla@umariana.edu.co
[2] Universidad Católica de Córdoba, Colombia. Correo: facundoganancias@gmail.com
[3] Universidad Mariana, Colombia. Correo: jorgearosero@umariana.edu.co

Alternativa de tratamiento de aguas provenientes de piscinas termales de Paipa para el posterior vertimiento en el río Chicamocha

Laura Daniela Duarte Sabogal[1]
Mariana Mosquera Forero[2]
Juan Camilo Cely Garzón[3]
Iván Ramírez Marín[4]

Resumen

Las piscinas termales representan un atractivo turístico, gracias a los beneficios que brindan a sus usuarios. Por la naturaleza de estos cuerpos de agua, se da una elevada concentración de contaminantes, como iones cloruro, que afectan la calidad del vertimiento que desemboca en el río Chicamocha, que abastece a zonas agrícolas que efectúan actividades como el riego de cultivos. Sin embargo, no se cuenta con normativas que controlen este tipo de vertimientos; por esta razón, es importante implementar un sistema de tratamiento que permita controlar la contaminación generada.

Con el fin de llevar a cabo el tratamiento de aguas y, teniendo en cuenta que este estudio corresponde a la segunda fase de un proyecto que inició en el año 2019, se determinó el estado actual de la corriente de descarga de las piscinas, por medio de una campaña de muestreo y análisis químico, donde se demostró que la concentración de iones cloruro supera en un 2305,5 % la normativa establecida, de un valor mínimo de 250 mg Cl-/L. A fin de seleccionar un tratamiento que permita acercarse a los estándares establecidos, se analizó diferentes casos de estudio, donde se reducía la concentración de iones cloruro por medio de tratamientos terciarios y, de acuerdo con los factores críticos de decisión establecidos por medio de una encuesta, se determinó un secuenciamiento compuesto por una fase de carbón activado granular seguido de intercambio iónico, fijando las condiciones de proceso y encaminando la propuesta a un nivel aceptado por entidades reguladoras. Con esta alternativa, se considera una implementación en centros turísticos que basan su actividad en el uso de aguas termales, disminuyendo el impacto ambiental generado por las corrientes de descarga, conociendo las especificaciones técnicas para cada etapa del proceso, factores operativos y variables críticas a considerar.

Palabras clave: piscinas termales; carbón activado; intercambio iónico; cloruros.

[1] Fundación Universidad de América, Colombia. Correo: laura.duarte2@estudiantes.uamerica.edu.co
[2] Fundación Universidad de América, Colombia. Correo: mariana.mosquera@estudiantes.uamerica.edu.co
[3] Fundación Universidad de América, Colombia. Correo: juan.cely@profesores.uamerica.edu.co
[4] Fundación Universidad de América, Colombia. Correo: ivan.ramirez@profesores.uamerica.edu.co

Determinación de minerales de asbesto en agua, inventario de pasivos ambientales mineros, Valle Hermoso, Córdoba, Argentina

Gabriela Cejas[1]
Rosa Ayala[2]

Resumen

El presente trabajo aplica geología médica para tratar la relación entre los factores geológicos naturales y la salud. La zona de estudio es un yacimiento de vermiculita denominado La Saltona (31° 7' 23.96"S - 64° 26' 9.94"O), en las proximidades de la localidad de Valle Hermoso, invadiendo terrenos de la Reserva Natural de Vaquerías.

El método de estudio aplicado fue la técnica estándar de disgregación y separación por líquidos pesados, para su posterior observación bajo líquidos de índice de refracción conocidos, con el fin de separar y concentrar las diferentes especies minerales y así, estudiar en detalle los minerales asbestiformes. De las muestras de agua, se preservó el residuo seco en condiciones naturales de desecación, para realizar interpretaciones de las condiciones de afectación ambiental *in situ*. Los granos minerales sueltos fueron estudiados por medio del microscopio petrográfico.

Finalmente, se pudo establecer la presencia de minerales asbestiformes en todas las muestras extraídas; de los porcentajes registrados en el tramo de arroyo, los máximos se dan en el sector conectado con escombrera. La escorrentía Este-Oeste influye en la acumulación y concentración de fibras de asbestos en la cuenca serrana.

Se pudo establecer directrices ambientales relacionadas con los minerales asbestiformes para la zona de estudio, que permiten suponer que, las presencias en porcentaje de estos minerales pueden servir como indicadores ambientales de calidad de agua. Para una efectiva remediación ambiental, se recomienda el seguimiento y monitoreo anual y sistemático de los minerales de asbesto.

Palabras clave: asbestos; geología médica; pasivos ambientales mineros.

[1] Universidad Católica de Córdoba, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Correo: 1717874@ucc.edu.ar
[2] Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Correo: rosa.ayala@unc.edu.ar

Tecnologías para la degradación de contaminantes emergentes en el agua

Camilo Fabián Arévalo Ruiz[1]
Julián Camilo Peña Bermúdez[2]
Andrea Carolina Sánchez Díaz[3]

Resumen

Actualmente, el aumento de contaminantes vertidos a las aguas, producto de la actividad humana, está planteando grandes retos. Los investigadores buscan reducir los efectos adversos de contaminantes como los metales pesados y ciertos contaminantes orgánicos considerados relevantes, debido a su alta persistencia en el medio ambiente. Las aguas residuales producidas en diversas industrias contienen una cantidad notable de colorantes, grasas, ácidos, detergentes, metales pesados y metaloides, además de contaminantes emergentes como fármacos, compuestos orgánicos, drogas, productos de higiene personal, microplásticos, entre otros. Los contaminantes emergentes son compuestos de distinto origen y naturaleza química respecto a los contaminantes convencionales, cuya presencia en el medio ambiente o, sus posibles consecuencias, han pasado inadvertidas y, por lo tanto, no están regulados. Estudios científicos han relacionado estos vertimientos con problemas de salud pública. Desafortunadamente, los procesos convencionales de remediación de aguas residuales no pueden eliminar los colorantes y otros contaminantes emergentes por completo. Las aguas residuales cargadas de color por la existencia de varios contaminantes pueden impedir la entrada de luz solar y oxígeno y, propiciar la formación de compuestos cancerígenos debido a la decoloración anaeróbica, lo que puede afectar la cadena alimentaria de la vida acuática.

Para este proyecto se realizó una revisión de tecnologías novedosas de alto impacto, implementadas en los procesos de remediación de aguas contaminadas por contaminantes emergentes, como: procesos de oxidación avanzada, de separación física, biodegradación, haciendo uso de membranas que han demostrado ser eficientes para la eliminación de contaminantes orgánicos tóxicos presentes en las aguas residuales. Para concluir, las investigaciones revisadas han demostrado que las tecnologías de remoción existentes deben ser actualizadas para contar con la capacidad de remover los contaminantes emergentes, planteando un reto en el tratamiento de aguas residuales a nivel mundial.

Palabras clave: contaminantes emergentes; degradación; microorganismos; agua.

[1] Fundación Universitaria Agraria de Colombia, Colombia. Correo: arevalo.camilo@uniagraria.edu.co
[2] Fundación Universitaria Agraria de Colombia.
[3] Fundación Universitaria Agraria de Colombia.

Tratamiento físico-biológico de residuos líquidos de biodigestores

Sandra Pascoe Ortiz[1]
César Octavio Vargas García[2]
Karen Andrea Zuluaga Velásquez[3]
Juan José Franco Martínez[4]

Resumen

Las actividades agropecuarias consumen agua y generan residuos líquidos que requieren un tratamiento previo para desecharlos o reutilizarlos. En México, se utiliza biodigestores que contribuyen a la reducción de los gases de efecto invernadero generados cuando las excretas de animales son dejadas al aire libre. Además de producir biogás, se obtiene un subproducto líquido llamado biol, que se utiliza como fertilizante; en ocasiones, no es posible aprovecharlo en su totalidad y, aunque se genera en grandes cantidades, este no debe ser desechado directamente en los cuerpos de agua o al drenaje, por la cantidad de contaminantes. Los excedentes de biol deben ser tratados, para tener una calidad aceptable y poder desecharse o reutilizarse en la limpieza de corrales, la realimentación del biodigestor o en riego, sin saturar el suelo.

El objetivo del presente trabajo fue diseñar un sistema de tratamiento físico-biológico para los excedentes de biol generado en un biodigestor alimentado con excretas porcinas. **Metodología**: se diseñó y construyó un sistema de tratamiento a nivel de laboratorio, el cual consta de diferentes etapas: filtración, reactor de lodos activados, humedales subsuperficiales y lagunas de maduración. El biol fue caracterizado antes y después del tratamiento para evaluar la efectividad, de acuerdo con la remoción de contaminantes. **Resultados**: el sistema de tratamiento permitió eliminar el 96,6 % de la demanda biológica de oxígeno, el 87,6 % de la demanda bioquímica de oxígeno, el 84,7 % de las grasas y aceites, el 73,4 % del nitrógeno total, el 100 % de los sólidos sedimentables y, el 28,1 % de los sólidos totales en suspensión; el único parámetro que aumentó, fue el fósforo total. **Conclusiones**: el tratamiento fue efectivo y debe seguirse estudiando para lograr su escalamiento a nivel industrial, además de seguir la investigación del aumento de fósforo y sus posibles soluciones.

Palabras clave: biogás; biol; humedales; lodos activados.

[1] Universidad del Valle de Atemajac, Campus Guadalajara, México. Correo: sandra.pascoe@univa.mx
[2] Universidad del Valle de Atemajac, Campus Guadalajara, México. Correo: cesar_univa@hotmail.com
[3] Universidad Católica de Manizales, Colombia. Correo: karen.zuluaga@ucm.edu.co
[4] Universidad Católica de Manizales, Colombia. Correo: juan.martinez1@ucm.edu.co

Diseño de dos humedales artificiales a escala de laboratorio, para el tratamiento del lodo proveniente de una planta de tratamiento de agua residual doméstica

Betty Nayely España Bolaños[1]
Tatiana Mañunga[2]
Paola Ortega Guerrero[3]

Resumen

Los humedales artificiales para tratamiento de lodos, también conocidos como lechos de secado plantados, consisten en lechos poco profundos rellenos de grava y plantados con macrófitas emergentes. Esta tecnología ha sido aplicada por más de 20 años en comunidades pequeñas; sin embargo, no existen guías estandarizadas para su diseño. De otro lado, la planta de tratamiento de aguas residuales que trata el agua residual doméstica de la vereda la Floresta, en Gualmatán, Nariño, no tiene un tratamiento de lodos y estos, son entregados a la empresa de aseo, para su disposición.

Es de interés para esta investigación, diseñar un humedal a escala laboratorio para el tratamiento del lodo generado en la planta. Inicialmente, para identificar las variables de diseño, se realizó una búsqueda bibliográfica de las experiencias que usan lechos de secado plantados. Adicionalmente, se efectuó la caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lodos frescos; se recolectó dos muestras, con sus respectivos triplicados. Posteriormente, de acuerdo con el Estándar de Métodos se hizo un análisis de pH, humedad, nitrógeno total Kjeldahl, conductividad, sólidos totales y volátiles y, microbiológicos. Los resultados mostraron que la tasa de carga basada en el área (entre 30 y 250 kg ST/m^2 año) y área per cápita (entre 1.5 a 4.0 hab/m^2) son los principales parámetros empleados en el diseño de este tipo de humedales. Asimismo, se observó que los valores de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del lodo eran superiores a los máximos establecidos en el Decreto 1287 de 2014; por lo tanto, se vio la necesidad de su tratamiento. Finalmente, adaptando los criterios identificados para el diseño, se encontró que, a escala real se requiere un área de 1059 m^2 para tratar el lodo generado por la población de la cabecera municipal (2117 habitantes) que, llevados a escala laboratorio, son: 0.50 m^2 (Población = 1.0 habitante).

Palabras clave: humedales; lodos de PTAR; totora, medio filtrante.

[1] Universidad Mariana, Facultad de Ingeniería, Programa Ingeniería Ambiental, Colombia. Correo: bespana@umariana.edu.co
[2] Universidad Mariana, Facultad de Ingeniería, Programa Ingeniería Ambiental, Colombia. Correo: tmanunga@umariana.edu.co
[3] Universidad Mariana, Facultad de Ingeniería, Programa Ingeniería Ambiental, Colombia. Correo: portega@umariana.edu.co

Evaluación del comportamiento hidráulico de un filtro percolador tipo aerobio a escala laboratorio en la Sede Alvernia, Campus Universidad Mariana

Viviana Marcela Cuaspud Chamorro[1]
Mayerlin Solanyi Ipiales Melo[2]
Gloria Lucía Cárdenas Calvachi[3]

Resumen

El tratamiento biológico de aguas residuales con filtros percoladores es una de las alternativas más eficientes en la remoción de contaminantes, por su menor requerimiento de energía, mantenimiento y por su buena operatividad, que garantizan una alta eficiencia, lo cual hace interesante su implementación en pequeños núcleos de comunidades que poseen bajos recursos económicos.

Para realizar estudios de optimización del diseño se requiere prototipos a escala de laboratorio con los que se pueda evaluar aspectos hidrodinámicos como régimen de mezcla, tiempos de residencia, geometría del reactor, condiciones de flujo no ideal, como cortocircuitos, zonas muertas, escenarios que pueden afectar el desempeño del reactor. La presente investigación pretende evaluar el comportamiento hidráulico de este reactor biológico, comparando este comportamiento con dos lechos filtrantes diferentes, como punto de partida de un buen funcionamiento de tecnologías de tratamiento para aguas residuales.

En el avance de la investigación, como primer objetivo, se diseñó un filtro percolador de alta tasa a escala laboratorio, de forma circular, con el fin de garantizar una adecuada distribución del fluido, evitando zonas muertas. Para evaluar la eficiencia hidráulica se escogió dos lechos filtrantes plásticos: uno, con piezas de tubería corrugada y otro, con cilindros con filamentos sintéticos, ambos, por su alta área superficial y porosidad, que permiten una mayor cantidad de biomasa adherida por unidad de volumen de material de empaque. Dentro de su diseño se tuvo en cuenta dos metodologías para el dimensionamiento del filtro: una, a partir del tiempo de retención hidráulico y la otra, adoptando una carga hidráulica superficial. Según la tasa del filtro, se pudo evidenciar que, la más apropiada donde se ajusta las medidas a escala laboratorio para su respectiva construcción es, la primera.

Palabras clave: tiempo de retención hidráulica; comportamiento hidráulico; lecho filtrante; carga hidráulica superficial; diseño.

[1] Universidad Mariana, Colombia. Correo: vicuaspud@umariana.edu.co
[2] Universidad Mariana, Colombia. Correo: mayipiales@umariana.edu.co
[3] Universidad Mariana, Colombia. Correo: glucardenas@umariana.edu.co

Presencia de contaminantes farmacéuticos en el agua a causa de la pandemia COVID-19

José Miguel Pimiento Ovalle[1]
Alexandra Cerón Vivas[2]

Resumen

Los contaminantes farmacéuticos son compuestos ampliamente utilizados que, en su mayoría, no están regulados por legislación ambiental; sin embargo, se encuentran de forma común en aguas residuales y superficiales. En Colombia, los informes sobre su monitoreo ambiental son limitados, por lo que existen brechas de información en esta temática; además, se desconoce el efecto de la situación de salud actual provocada por la pandemia COVID-19 sobre la carga ambiental de los fármacos en agua y, justamente, esta investigación tuvo como objetivo, llevar a cabo una revisión bibliográfica de los compuestos farmacéuticos asociados a la pandemia y su presencia esperada en el medio acuático, de acuerdo con factores como sus propiedades fisicoquímicas, facilidad de consumo, riesgo ambiental en el agua, entre otros. La revisión bibliográfica se realizó a través de motores de búsqueda como Google y diferentes bases de datos como *Science Direct*, *Google Scholar*, *PubMed*, *ACS Publications*, *Web of Science*, etc. La búsqueda fue limitada a tesis de pregrado, posgrado, maestría y doctorado, libros y artículos científicos publicados en los últimos cinco años, para garantizar veracidad en la información; de igual forma, se utilizó palabras claves en los motores de búsqueda, tales como: *Pharmaceuticals*, COVID-19, *Water*, *Environmental risk*, etc. En la revisión se encontró, principalmente, artículos científicos disponibles entre 2020 y 2022; la búsqueda se enfocó en aquellos que realizaban mediciones de las concentraciones y análisis del riesgo ambiental generado. Los fármacos que han tomado un interés ambiental en el contexto de la pandemia son: cloroquina, hidroxicloroquina, azitromicina, ivermectina, dexametasona, remdesivir, favipiravir, entre otros. El monitoreo de los contaminantes farmacéuticos en agua se ha realizado desde hace varios años, pero resulta fundamental seguir con este análisis, considerando la ocurrencia de esta pandemia y, su influencia sobre el consumo de fármacos y la carga ambiental que esto genera.

Palabras clave: COVID-19; fármacos; recurso hídrico.

[1] Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Bucaramanga, Colombia. Correo: jose.pimiento.2017@upb.edu.co
[2] Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Bucaramanga, Colombia. Correo: alexandra.ceron@upb.edu.co

Micorremediación de un suelo agrícola contaminado con hidrocarburos rango diésel, empleando cepas aclimatadas

Carlos H. Velasco Ramírez[1]
Anabelle Cerón Nava[2]
Alejandro Islas García[3]

Resumen

Los suelos tienen un importante papel en los ciclos biogeoquímicos e hídricos y, de manera económica, en la agricultura. Una de las principales problemáticas ambientales es su contaminación con hidrocarburos, derivada de su explotación, producción y distribución. La investigación tuvo por objetivo, la biorremediación de un suelo agrícola contaminado por diésel con 8,000 ppm, empleando hongos filamentosos aislados de suelos agrícolas y diésel intemperizado. Las cepas fueron aclimatadas previamente durante tres semanas, en un medio con diésel, con aumento gradual de concentración de 5000 a 15,000 ppm. Posteriormente, para el tratamiento del suelo contaminado, a nivel de microcosmos, se realizó la bioaumentación con dichos microorganismos y bioestimulación con sales, como fuente de nitrógeno y fósforo. El control fue únicamente bioestimulado agregando nutrientes y agua. Las siete diferentes cepas de hongo filamentoso fueron añadidas a los distintos microcosmos, mediante un inóculo estandarizado de 180,000 esporas/mL. A los 20 días del tratamiento se determinó la concentración de diésel para establecer los porcentajes de remoción de cada hongo filamentoso. La extracción y determinación por cromatografía de gases se realizó de acuerdo con los métodos EPA 3546 y EPA 8015C, respectivamente. Los porcentajes de remoción obtenidos fueron del 2,01 al 32,68 %. Los hongos que presentaron una mayor degradación de diésel fueron *Aspergillus terrerus*, *Aspergillus sp* y *Microsporum sp* con 32,68, 31,30 y 26,03 %, respectivamente. El control bioestimulado presentó una remoción de 31,26 % del contaminante. En los resultados se observó que, en este suelo agrícola la implementación de una bioestimulación es una mejor alternativa, en comparación de una bioaumentación exógena, dado que, no hubo diferencia significativa. Por

[1] Facultad de Ciencias Químicas, Vicerrectoría de Investigación, Universidad La Salle, México. Correo: chvr.inga@gmail.com
[2] Facultad de Ciencias Químicas, Vicerrectoría de Investigación, Universidad La Salle, México. Correo: anabelle.ceron@lasalle.mx
[3] Facultad de Ciencias Químicas, Vicerrectoría de Investigación, Universidad La Salle, México. Correo: alejandro.islas@lasalle.mx

lo anterior, se puede concluir que, es indispensable realizar pruebas previas en laboratorio, para seleccionar la mejor técnica de biorremediación de un suelo contaminado y restaurar sus funciones ecológicas y/o económicas.

Palabras clave: hongos filamentosos; remoción; microcosmos.

Bioestimulación y bioaumentación de un suelo contaminado por aceite residual automotriz

Blanca Celeste Saucedo Martínez[1]
Liliana Márquez Benavides[2]
Juan Manuel Sánchez-Yáñez[3]

Resumen

En la bioestimulación de suelo impactado por aceite residual automotriz, los detergentes Tween 80® y Triton X-100® emulsifican los hidrocarburos para que, la microbiota del suelo los oxide mediante el enriquecimiento con minerales esenciales de una solución mineral. Dicha oxidación del aceite residual automotriz podría ser mayor si se bioaumenta el suelo con la inoculación de *Xanthobacter autotrophicus*, ampliamente conocida por su capacidad de oxidar hidrocarburos aromáticos en sistemas de tratamiento de aguas residuales, pero sin reportes de suelo contaminado por este aceite o, por otro tipo de hidrocarburos.

El objetivo de este trabajo fue bioestimular, mediante los detergentes y la solución mineral y, bioaumentar con *Xanthobacter autotrophicus*, un suelo impactado por aceite residual automotriz. Se realizó el experimento con 1 kg de suelo contaminado por 60,000 ppm y, posteriormente, con solución mineral al 50 %. Para la bioaumentación del suelo, se activó *Xanthobacter autotrophicus* en agar, sin nitrato ni sacarosa, que se inoculó en el suelo impactado por el aceite. La variable respuesta de la bioestimulación y bioaumentación del suelo fue la concentración final de este, por Soxhlet. Después de tres meses de bioestimulación y bioaumentación, la mayor disminución se registró en el suelo impactado, con un decremento de 60,000 ppm a 17,599 ppm de aceite, valor numérico estadísticamente diferente al suelo impactado por el mismo, sin bioestimular ni bioaumentar, usado como control negativo, con un decremento de solo 60,000 ppm a 39,215 ppm. Los resultados

[1] Microbiología Ambiental, Instituto de Investigaciones Químico Biológicas, Ed-B3 Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Francisco J. Mujica S/N, Col. Felicitas del Rio C.P. 58000, Morelia, Mich, México. Correo: 0617797j@umich.mx
[2] Microbiología Ambiental, Instituto de Investigaciones Químico Biológicas, Ed-B3 Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Francisco J. Mujica S/N, Col. Felicitas del Rio C.P. 58000, Morelia, Mich, México. Correo: lmarquez@umich.mx
[3] Microbiología Ambiental, Instituto de Investigaciones Químico Biológicas, Ed-B3 Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Francisco J. Mujica S/N, Col. Felicitas del Rio C.P. 58000, Morelia, Mich, México. Correo: syanez@umich.mx

indicaron que, la mezcla de ambos detergentes emulsificaron la mayor parte del aceite, para que fuera disponible para su mineralización por los microorganismos autóctonos en suma con *Xanthobacter autotrophicus* estimulados por la solución mineral al 50 %.

Palabras clave: bioaumentación; bioestimulación; hidrocarburos; mineralización; suelo.

Efecto de la cáscara de huevo en suelos ácidos

Laura Osorno Bedoya[1]
Juliana Vallejo Jiménez[2]
Geraldine Laverde Rodríguez[3]
Estefanía Marín Acevedo[4]
Andrea Tamayo Londoño[5]

Resumen

En Colombia, más del 80 % de los suelos son ácidos, con presencia de toxicidades por Al, Fe, Mn, deficiencias de P, Ca, Mg, lo que restringe el crecimiento y desarrollo de las plantas. Como tratamiento, se aplica materiales que neutralizan H^+ o forman complejos con el Al^{3+}, como las cales $CaCO_3$ $MgCO_3$ y yesos $CaSO_4$. La cáscara de huevo de ave doméstica contiene hasta 98 % de $CaCO_3$, lo que la hace atractiva como material encalante. El objetivo de este trabajo fue, evaluar el efecto de la cáscara de huevo en suelos ácidos, para lo cual se hizo dos experimentos: uno, la incubación de un suelo ácido (pH: 4) con dosis crecientes de cáscara de huevo y cal agrícola como control (0, 0.5, 1 y 2 g/kg) y dos, el efecto de la cáscara de huevo en el crecimiento y desarrollo de *Leucaena leucocephala* en un suelo ácido; se usó tres dosis basadas en los cálculos agronómicos para neutralizar el Al y cumplir los requerimientos nutricionales de Ca; este experimento duró tres meses. En ambos se hizo tres repeticiones. Como resultados, la cáscara de huevo no presenta diferencia significativa con la cal agrícola; con ambos materiales, al aumentar la dosis, aumenta el pH de suelo desde 4,4 hasta 5,5 con la dosis más alta de 2g/kg de encalante. Las plantas de *Leucaena* crecieron mejor en presencia de la cáscara de huevo; además, la concentración de Ca foliar aumentó en la planta; por lo tanto, el uso de la cáscara como enmienda, es una alternativa con beneficios ecológicos y económicos y, de producción limpia, ya que este material es un residuo de plantas de incubación de huevos y de las industrias que los procesan.

Palabras clave: acidez; aluminio; calcio; carbonato de calcio.

[1] Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia. Correo: laura.osorno@colmayor.edu.co
[2] Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia. Correo: julianavallejojimenez@gmail.com
[3] Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia. Correo: glaverde@est.colmayor.edu.co
[4] Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia. Correo: estefaniamarin@est.colmayor.edu.co
[5] Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia. Correo: andrea.tamayo@colmayor.edu.co

Alternativas para el control y recuperación de suelos degradados por erosión, implementando los sistemas de información geográfica, en el municipio de San Vicente de Chucurí, Colombia

Jenifer Amado[1]
Angélica Muskus[2]
Sandra Correa[3]

Resumen

Para determinar las alternativas de control y recuperación de suelos degradados por erosión en San Vicente de Chucurí, se realizó una investigación de las actividades del municipio y del estado actual de erosión, información que se recopiló a través de diversos estudios y fuentes de información secundaria, proyectada en un Sistema de Información Geográfica, con el fin de evaluar la erosión en la región y, su relación con las actividades del municipio. Posteriormente, se investigó, analizó y determinó las alternativas a implementar en la región, considerando la evaluación de la erosión. Finalmente, las alternativas fueron proyectadas en mapas desarrollados por el software ArcGIS con base en la información recopilada.

Los resultados mostraron que, la región tiene una erosión hídrica leve y moderada y que, el municipio tiene un crecimiento excesivo de sus actividades agrícolas. Además, se identificó las faginas y labranza mínima, como las alternativas de mayor beneficio técnico y costo efectivo a implementar en la región. Finalmente, se estableció una clasificación que expone dos veredas ubicadas en el área sur central del municipio: la 25 y la 34, como las más afectadas por grado y clase de erosión y, las alternativas a implementar en cada caso. Como conclusiones generales se destaca que, la erosión del municipio no refleja un estado crítico, pues en un 41,6 % de su extensión, es leve; en un 43,6 % es moderada; en un 14,7 % no hay y, solo en un 0,005 % es severa. Como consecuencia, es urgente capacitar a la comunidad en la correcta implementación de las estrategias y tecnologías propuestas y en el adecuado uso del suelo, con el fin de no agravar la situación existente en el municipio.

Palabras clave: suelos; erosión; tecnologías; sistemas de información geográfica.

[1] Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Bucaramanga, Colombia. Correo: jenifer.amado.2015@upb.edu.co
[2] Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Bucaramanga, Colombia. Correo: angelica.muskus@upb.edu.co
[3] Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Bucaramanga, Colombia. Correo: sandra.correa@upb.edu.co

Implementación y evaluación del comportamiento hidráulico de un reactor anaerobio de flujo ascendente a escala de laboratorio en la ciudad de Pasto, Nariño

Eyder Alexander Melo Daza[1]
Lizeth Fabiana Paz Santacruz[2]
Gloria Lucía Cárdenas Calvachi[3]

Resumen

El estudio de sistemas de tratamiento biológico de aguas residuales para determinar las tecnologías más eficientes requiere, contar con prototipos a escala de laboratorio con los que se pueda evaluar, entre otros aspectos hidrodinámicos, el régimen de mezcla, los tiempos de residencia, geometría del reactor, condiciones de flujo no ideal como cortos circuitos, zonas muertas, condiciones que pueden afectar el desempeño del reactor. La presente investigación pretende evaluar el comportamiento hidráulico de un reactor anaerobio de flujo ascendente a escala de laboratorio.

En el primer objetivo se realizó el diseño del reactor, analizando aspectos como costo, tamaño, disponibilidad local del inóculo y de materiales, experiencias anteriores y espacio físico disponible, en dos configuraciones de forma: cilíndrico y rectangular. Se seleccionó un diseño rectangular, por la fácil implementación y adecuación de los separadores trifásicos o campanas de gas, partiendo de un caudal de diseño para obtener un Tiempo de Retención Hidráulica de 0.8 días, de acuerdo con la bibliografía, que se adapte para lograr la carga hidráulica que permita una adecuada velocidad ascensional y las demás características necesarias para el exitoso desempeño del reactor. Posteriormente, en el desarrollo de los demás objetivos, se implementará el reactor y se evaluará la eficiencia hidráulica, utilizando lodos de diferentes procedencias con los cuales se podrá realizar el análisis estadístico comparativo.

Palabras clave: reactor UASB; diseño hidráulico; diseño a escala laboratorio; aguas residuales.

[1] Universidad Mariana, Colombia. Correo: eymelo@umariana.edu.co
[2] Universidad Mariana, Colombia. Correo: lizepaz@umariana.edu.co
[3] Universidad Mariana, Colombia. Correo: glucardenas@umariana.edu.co

Selección del medio de soporte para un reactor anaerobio de crecimiento adherido

Sebastián Camilo Moran Paz[1]
Diana Carolina Romo Benavides[2]
Tatiana Mañunga[3]
Paola Ortega Guerrero[4]

Resumen

Entre las diferentes problemáticas ambientales que Colombia enfrenta, se destaca el déficit de saneamiento básico que ha conllevado la contaminación del recurso hídrico y los impactos negativos sobre la salud pública. El tratamiento del agua residual es una alternativa para aumentar las coberturas de saneamiento. Entre esas alternativas están los reactores anaerobios de crecimiento adherido, sistemas biológicos que permiten la eliminación de materia orgánica.

La elección del medio de soporte en los reactores influye en su diseño y, sobre todo, en la remoción de cargas contaminantes. Así, el objetivo de esta investigación fue seleccionar dos materiales como medio de soporte para un reactor a escala de laboratorio. Se realizó una revisión bibliográfica en bases de datos como Scielo, Scopus y Google Scholar, para la identificación de los medios de soporte más comúnmente empleados. Los medios encontrados fueron caracterizados, teóricamente, en función del peso, resistencia, costos, disponibilidad en la zona, porosidad, reacción con el agua residual y nivel de adherencia; estos son los principales requisitos deseables para materiales de soporte. Posteriormente, se construyó una matriz de comparación con tres escalas: 1, No cumple; 3, Cumple parcialmente; y, 5, Cumple. Cada característica fue evaluada en función del requerimiento. Los resultados parciales mostraron que, es común el uso de carbón activado, vidrio sinterizado, espumas de poliuretano y polietileno de alta densidad en estos reactores. La matriz de comparación arrojó que, las espumas de poliuretano y de polietileno son los dos materiales más adecuados para implementarse en un reactor. Aunque se requiere mayores determinaciones, se espera que, a través de un estudio hidrodinámico se evalúe en mayor detalle la influencia de los dos medios seleccionados sobre el desempeño de un reactor a escala de laboratorio.

Palabras clave: agua residual; medio de soporte; comportamiento hidrodinámico.

[1] Universidad Mariana, Colombia. Correo: semoran@umariana.edu.co
[2] Universidad Mariana, Colombia. Correo: diaromo@umariana.edu.co
[3] Universidad Mariana, Colombia. Correo: tmanunga@umariana.edu.co
[4] Universidad Mariana, Colombia. Correo: portega@umariana.edu.co

Determinación experimental de constantes de desoxigenación en el río Güiza

Jorge Luis Calvachi Vargas1
Johan Camilo Realpe Villota2
Gloria Lucía Cárdenas Calvachi3

Resumen

El conocimiento y estudio de los cuerpos hídricos permite realizar un adecuado manejo y la prevención de alteraciones que involucren desequilibrios en el ecosistema. La modelación en ríos es una herramienta importante y, por ello, en el presente trabajo se pretende determinar los valores experimentales de la tasa de desoxigenación para el río Güiza, ubicado en el departamento de Nariño, considerando variables como: características físicas, hidráulicas y fisicoquímicas propias del río, para contar con valores reales, sin asumir valores de otras regiones del planeta, que no se ajustan a las condiciones presentes en los cuerpos de agua. La constante tasa de desoxigenación mide la velocidad a la cual se degrada la materia orgánica presente en un sistema acuático y, es un importante insumo para la modelación de calidad de agua.

La investigación ha permitido, en primera instancia, evaluar características físicas e hidráulicas de los ríos Pasto, Güiza y Juanambú. El segundo de ellos fue seleccionado, gracias a su fácil accesibilidad y a la conveniencia para tomar los datos necesarios para efectuar los análisis estadísticos de correlación. Adicionalmente, para los fines propuestos se revisó información secundaria y primaria en campo en cuanto a características físicas, hidráulicas y fisicoquímicas del río, pudiendo definir tres estaciones de muestreo: Dos Ríos, San Francisco y, la cabecera municipal de Ricaurte. Posteriormente, se evaluará parámetros como: pendiente, ancho, velocidad y profundidad del río, así como la determinación de análisis *in situ* y de laboratorio como pH, temperatura, conductividad, demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto y demanda química de oxígeno$_5$. Con estos datos se determinará experimentalmente la tasa de desoxigenación con el método de Thomas y de Bosko, para luego hacer correlaciones con las características del río.

Palabras clave: biodegradación; desoxigenación; demanda bioquímica de oxígeno; oxígeno disuelto; demanda química de oxígeno.

[1] Universidad Mariana, Colombia. Correo: jocalvachi@umariana.edu.co
[2] Universidad Mariana, Colombia. Correo: johrealpe@umariana.edu.co
[3] Asesora. Universidad Mariana, Colombia. Correo: glucardenas@umariana.edu.co

Sistema de aprovechamiento de aguas residuales domésticas para uso en riego agrícola, como estrategia de gestión de la contaminación del río Ijagüí, municipio de Buesaco, Nariño

Jairo Exequiel Martínez Córdoba[1]
Sergio Esteban Narváez Pabón[2]
Tatiana Mañunga[3]

Resumen

La población de Buesaco realiza vertimientos de aguas residuales sin tratamiento, contaminando los ríos Buesaquito, al occidente del casco urbano, e Ijagüí, al oriente. Las condiciones topográficas de cima y punto de silla han influenciado un desarrollo urbanístico particular, obligando la configuración de un sistema de colectores de aguas residuales que genera cuatro puntos de vertimiento.

El presente estudio se desarrolló sobre el vertimiento localizado en el barrio Robert Rojas, sector suroriental de Buesaco, que corresponde al 47 % del aporte sanitario del área urbana, que alberga 6780 habitantes, para el año 2020. Se determinó las características fisicoquímicas del vertimiento, así como el impacto generado sobre la fuente receptora. Para el análisis de alternativas se consideró el uso de las aguas residuales tratadas en riego agrícola, considerando que, la zona de impacto del vertimiento está dedicada a la agricultura y no cuenta con fuentes de agua o sistemas de irrigación. Se analizó como alternativa, el diseño de un tratamiento centralizado en la parte alta de la ladera, hasta cumplir los límites máximos estipulados en las normas; posteriormente, la conducción y distribución del agua residual tratada sobre las áreas agrícolas, previo tratamiento del riego, para el cumplimiento sobre uso de aguas residuales. Los resultados indican similitudes entre la Alternativa 2: Desbaste + Desarenado + Sedimentador Primario + Reactor Anaerobio + Biodiscos + Clarificador Secundario y, la Alternativa 3: Desbaste + Desarenado + Sedimentador Primario + Reactor Anaerobio + Humedal en

[1] Universidad Mariana, Facultad de Ingeniería Programa Ingeniería ambiental, Colombia. Correo: jairmartinez@umariana.edu.co
[2] Universidad Mariana, Facultad de Ingeniería Programa Ingeniería ambiental, Colombia. Correo: sernarvaez@umariana.edu.co
[3] Universidad Mariana, Facultad de Ingeniería Programa Ingeniería ambiental, Colombia. Correo: tmanunga@umariana.edu.co

sitio de aprovechamiento, con las cuales es posible plantear un reúso en riego agrícola. Además, atendiendo las características físicas, químicas y bacteriológicas encontradas en el vertimiento, así como el caudal para riego estimado en 0.35 l/s por usuario, es posible beneficiar a 64 predios para agricultura sustentable.

Palabras clave: contaminación hídrica; tratamiento de aguas residuales; reúso de aguas residuales; riego agrícola.

Remoción de cromo y sulfuro en el tratamiento de agua residual sintética de curtiembres, mediante humedales artificiales a escala laboratorio

Daniela Nicolle Viasus Zambrano[1]
Natalia Beatriz Guerrero Rosero[2]
Gloria Lucía Cárdenas Calvachi[3]

Resumen

Nariño es el segundo departamento de producción de cuero de Colombia, después de Cundinamarca. Para el curtido de pieles se utiliza sales de cromo y sulfuro, lo que genera aguas residuales altamente contaminantes, dada su toxicidad.

En la ciudad de Pasto, Nariño, en el sector del Polvorín, existen nueve curtiembres que descargan sus aguas residuales al río Pasto, afectando las propiedades fisicoquímicas del cuerpo de agua. Una vez identificado el problema, se decide realizar la presente investigación a escala laboratorio, con el objetivo de evaluar la eficiencia de humedales artificiales con dos plantas naturales para la remoción de cromo y sulfuro en el tratamiento de agua residual sintética de curtiembres. Para ello, es necesaria la preparación de agua residual sintética con similar composición a la del efluente de un tratamiento primario de las aguas residuales de curtido. Su cálculo parte de concentraciones generadas en curtiembres y, a partir de la remoción, se determina concentraciones típicas para alimentar los humedales como tratamiento secundario, usando dos plantas: totora y cortadera junquillo. Para la evaluación se tomará muestras a la entrada y a la salida de los humedales cada 15 días durante tres meses, realizando los análisis en el laboratorio, con los métodos yodométrico y colorimétrico, para luego sistematizar la información y, finalmente, hacer un análisis estadístico para saber cuál humedal es el más eficiente en la remoción de cromo y sulfuro.

Como resultado del primer objetivo, se cuenta con las concentraciones de cada parámetro que va a tener el agua residual sintética que ingresará a los humedales artificiales y, la metodología para su preparación; específicamente, los valores para cromo y sulfuro que ingresan al humedal artificial son de 86.5 y 142.2 mg/l respectivamente, los cuales son muy altos con respecto a la norma.

Palabras clave: agua residual sintética; humedales artificiales; cromo; sulfuro; remoción.

[1] Universidad Mariana, Colombia. Correo: daviasus@umariana.edu.co
[2] Universidad Mariana, Colombia. Correo: nataliguerrero@umariana.edu.co
[3] Universidad Mariana, Colombia. Correo: glucardenas@umariana.edu.co

Diseño de estrategias de gestión para aumento de la eficiencia energética en el bloque académico del Campus Pance de Unicatólica

Jhon Alexander Muñoz Cifuentes[1]
Jessica Lorena Diuza Arboleda[2]

Resumen

Con este proyecto de investigación se pretendió diseñar una estrategia de gestión energética para el uso óptimo de recursos energéticos, que permita mejorar la eficiencia de energía del bloque académico de Unicatólica, con base en la norma internacional, que brinda el paso a paso que se debe seguir para implementar, dirigir y controlar un sistema de gestión de esta naturaleza, en aras de conseguir una mejora continua en este aspecto.

La metodología planteada consta de tres fases: 1) Conocer el comportamiento del consumo energético del bloque académico, lo que permitió determinar qué equipos electrónicos, actividades, procesos y zonas generaban mayor consumo, para saber qué estrategias proponer. 2) Propuesta: como estrategia, se diseñó un manual de gestión energética que permitirá el aumento de la eficiencia energética del bloque, con ayuda de un *dashboard*. 3) Validación: se validó el funcionamiento de la estrategia y se determinó el costo de desarrollo mediante un análisis de costo - beneficio.

Si bien la implementación de un sistema de gestión energética permitirá mejorar la eficiencia energética del bloque académico de Unicatólica, es necesario que el personal que labora en el bloque académico y la comunidad universitaria en general, tengan una cultura de ahorro energético, realicen un análisis de las actividades y procesos llevados a cabo en el bloque, para el correcto funcionamiento del sistema; así, se logrará el aumento de la eficiencia energética y, con ello, eliminar actividades y equipos electrónicos innecesarios, generando conciencia para dar paso a la optimización del recurso energético.

Palabras clave: eficiencia energética; sistema de gestión; mejora continua; estrategias; campus sostenible.

[1] Fundación Universitaria Católica Lumen Gentium, Colombia. Correo: jhon.munoz01@unicatolica.edu.co
[2] Fundación Universitaria Católica Lumen Gentium, Colombia. Correo: jessica.diuza01@unicatolica.edu.co

Evaluación de indicadores en áreas de restauración ecológica y uso pecuario en la reserva natural el Encanto Andino

Yuli Vanesa Cárdenas Jojoa[1]
Rubén Darío Guerrero Burbano[2]
Sandra Milena Madroñero Palacios[3]

Resumen

La restauración ecológica ha sido reconocida como el proceso de ayudar al restablecimiento de un ecosistema, para mejorar su estructura, composición y función y así, soportar los requerimientos socioeconómicos.

Desde esta perspectiva, el estudio se llevó a cabo en la Reserva Natural Encanto Andino, en el corregimiento de El Encano, con el objetivo de evaluar indicadores en los componentes de suelo, vegetación y socioeconomía, en dos áreas: una, con procesos de restauración ecológica pasiva y la otra, con uso de fines pecuarios, para lo cual se identificó en principio, una serie de indicadores en cada uno de los componentes, mediante revisiones bibliográficas que posteriormente, fueron priorizadas y seleccionadas, por medio de una matriz multicriterio; su cuantificación se hizo a través de muestreos para el componente biofísico y, entrevista semiestructurada para el componente socioeconómico.

Finalmente, se analizó las diferencias existentes entre las dos áreas, con el uso de estadística descriptiva, estableciendo una línea base en función de los indicadores establecidos. Como resultado, se evidenció una mínima variación en la unidad de los indicadores del componente suelo; sin embargo, hubo una gran variabilidad en el indicador de composición para la vegetación, observando especies arbóreas en la zona de restauración ecológica, en contraste con las especies herbáceas en la zona de uso pecuario. El área de restauración ecológica genera mayores beneficios ambientales, como la prestación de servicios ecosistémicos; sociales, como el fortalecimiento de la cultura y, económicos, en cuanto a los ingresos recibidos por medio del ecoturismo y sus actividades complementarias, en comparación con el área de uso pecuario, la cual se convierte en una limitante para el proceso de restauración, afectando las propiedades del suelo y el establecimiento de especies arbóreas, que conlleva la pérdida de beneficios socioeconómicos.

Palabras clave: restauración ecológica; reserva natural; uso pecuario; priorización de indicadores.

[1] Universidad de Nariño, Colombia. Correo: yulicardenas93@gmail.com
[2] Universidad de Nariño, Colombia. Correo: iam.rubengb@gmail.com
[3] Universidad de Nariño, Colombia. Correo: smadronero@umariana.edu.co

Evaluación de la retención de humedad en suelos andisoles, producto del cambio de uso en el municipio de Guachucal, Nariño

Karen Lohana Osorio Vallejo[1]
Leidy Andrea Novoa Reina[2]
Jenny Lucía Huertas Delgado[3]

Resumen

La investigación se realizó en el corregimiento de Chimangual, municipio de Guachucal, al sur del departamento de Nariño, con el fin de evaluar la variación en los porcentajes de humedad en suelos andisoles, que contribuye al conocimiento del impacto causado en la degradación por acción antrópica, específicamente en el cambio de uso de suelo pecuario, agrícola y conservación (páramo).

Para el análisis de la curva de retención de humedad se consideró cada uso de suelo, tomando muestras no disturbadas a diferentes profundidades: 0-5 cm, 5-15 cm y, 15-30 cm, para los siguientes puntos de saturación: 0.01 Bar/1.00 pF, 0.10 Bar/2.00 pF, 0.35 Bar/2.54 pF y 15 Bar/4.20 pF.

La prueba estadística de comparación de medias ANOVA y, posterior de Tukey, evidencian diferencias significativas entre los usos de suelo evaluados a distintas tensiones y profundidades. En las diferentes profundidades, con 2,54 pF -logaritmo de la tensión-, hay un mayor porcentaje en saturación en uso de suelo de páramo, debido a los poros de retención de agua útil, seguido por el uso de ganadería y, por último, uso de cultivo. Los cambios en la cobertura y compactación provocada generan pérdida de humedad sobre el suelo, impacto que se refleja en los resultados de este estudio. En general, todo tipo de práctica agrícola ocasiona la pérdida de cobertura en un tiempo determinado, por lo cual se puede concluir que, el cambio de uso de suelo genera un impacto negativo en la retención de humedad que pueden generar los suelos.

Palabras clave: suelo; retención de humedad; porosidad; hidráulica del suelo; partículas minerales.

[1] Universidad Mariana, Colombia. Correo: karosorio@umariana.edu.co
[2] Universidad Mariana, Colombia. Correo: lenovoa@umariana.edu.co
[3] Universidad Mariana, Colombia. Correo: jlhuertas@umariana.edu.co

Dinámica del carbono orgánico en suelos del Humedal Ramsar Laguna de La Cocha

Eliana Coral Paredes[1]
Juan Carlos Loaiza Úsuga[2]
Tatiana Rondón[3]
Jenny Huertas[4]

Resumen

Las reservas de carbono en el suelo son de vital importancia para el clima global, ya que el suelo está categorizado como el sumidero de carbono más grande del mundo, después de los océanos. Los suelos, páramos y humedales andinos, son áreas claves para entender la dinámica de las reservas de carbono, considerado este, un indicador por excelencia de la calidad y salud del suelo, debido a su relación con propiedades físicas, químicas y biológicas. El monitoreo del contenido de las reservas de carbono en estos ecosistemas representa un papel crucial en la mitigación del cambio climático.

El objetivo de este proyecto se basó en la cuantificación del contenido de estas reservas, en función del uso de suelo (pasto, cultivo y páramo) y su influencia en la concentración de carbono en el humedal Laguna de la Cocha. Se realizó un muestreo para nueve perfiles de suelo en intervalos a profundidad de 0-5, 5-15,15-30,30-50,50-70 y 70 a 100 cm, con tres repeticiones por uso de suelo, para un total de 54 muestras disturbadas. El análisis se realizó mediante digestión húmeda. Los resultados indican que existen diferencias significativas entre las reservas de carbono bajo diferentes usos de suelo y profundidades, encontrando que, en la dinámica de las mismas, son mayores Páramo>Pasto>Cultivo. Por otra parte, el mayor contenido de las reservas se registró a 0-5 cm de profundidad bajo condición de páramo (18,35 %) y los menores valores, entre 70 y 100 cm bajo uso de cultivo (1,03 %). Para todos los usos de suelo estudiados, más del 50 % de las reservas de carbono en el suelo se concentró en los 30 cm del perfil del suelo. Su acumulación está directamente relacionada con el uso de suelo y el desarrollo de actividades antrópicas; estas últimas influyen de manera negativa en el almacenamiento del carbono.

Palabras clave: uso de suelo; carbono; humedal; andisoles.

[1] Departamento de Geociencias y Medioambiente, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Colombia. Correo: ecoralp@unal.edu.co
[2] Departamento de Geociencias y Medioambiente, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Colombia. Correo: jcloaiza@unal.edu.co
[3] Agrosavia, Centro de Investigación La Selva, Colombia. Correo: trondon@agrosavia.co
[4] Programa de Ingeniería Ambiental Universidad Mariana, Colombia. Correo: jlhuertas@umariana.edu.co

Respuesta de *Phaseolus vulgaris* a *Bacillus thuringiensis* y *Micromonospora echinospora* a dosis reducida del nitrato de amonio

Adilene Velázquez-Medina[1]
Juan Manuel Sánchez-Yañez[2]

Resumen

La producción de granos *Phaseolus vulgaris* (frijol) demanda fertilizante nitrogenado como nitrato de amonio que, aplicado en exceso, causa pérdida de productividad del suelo. El objetivo del trabajo fue analizar la respuesta de *P. vulgaris Bacillus thuringiensis* y *Micromonspora echinospora* a dosis del 70 % del fertilizante nitrogenado. El experimento fue hecho bajo un diseño experimental de bloques al azar: cinco tratamientos y seis repeticiones, con variables de respuesta: biomasa a nivel de madurez fisiológica: peso seco aéreo/radical, peso seco del fruto, peso total de frutos y rendimiento. Los datos experimentales fueron analizados por ANOVA/Tukey. Los resultados mostraron que *P. vulgaris* al 70 % de fertilizante nitrogenado en madurez fisiológica con *B. thuringiensis/M. echinospora* registró 3.83 g de peso seco aéreo y 0.33 g de peso seco radical, 7.70 g de peso seco del fruto, 40 g de peso total de frutos y 4.0 Ton/ha de rendimiento, valores numéricos estadísticamente diferentes, comparados con 1.73 g de peso seco aéreo, 0.05 g de peso seco radical, 3.15 g de peso seco del fruto, 28 g peso total de frutos y 0.02 Ton/ha de rendimiento de *P. vulgaris* sin *B. thuringiensis/M. echinospora* con el fertilizante nitrogenado al 100 %. Esto sugiere que *B. thuringiensis* y *M. echinospora* endófitamente en las raíces de las plantas, promovieron el sano crecimiento de *P. vulgaris* y estimularon la maduración de las vainas, a pesar de la dosis reducida en 30 % del nitrato de amonio.

Palabras clave: *P. Vulgaris*; *B. thuringiensis*; *M echinospora*; nitrato de amonio.

[1] Microbiología Ambiental, Instituto de Investigaciones Químico Biológicas, Ed-B3, México. Correo: adilenev628@gmail.com
[2] Microbiología Ambiental, Instituto de Investigaciones Químico Biológicas, Ed-B3. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México. Correo: syanez@umich.mx

Índice de calidad ecológica utilizando macroinvertebrados acuáticos en el río Batá del municipio de Santa María, Boyacá – Colombia

Liceth Carollay Martínez-Romero[1]
Zulma Edelmira Rocha-Gil[2]
Claudia Constanza Pérez-Rubiano[3]
Johan Hernán Pérez[4]

Resumen

En Colombia, cada vez son más los estudios de calidad del agua en los ecosistemas hídricos superficiales, siguiendo el método de índices biológicos y/o ecológicos que permiten ahondar el campo del análisis de calidad de agua gracias a su accesibilidad, control y economía. Los sistemas acuáticos en ecosistemas altoandinos son un importante caso de estudio de investigación, dado que, en las últimas décadas, estas zonas han sido sometidas a procesos intensivos de transformación y degradación causados por actividades humanas.

El objetivo de este estudio fue determinar la calidad del agua del río Batá, en el municipio de Santa María, Boyacá, Colombia, mediante índices de calidad ecológica, utilizando macroinvertebrados acuáticos con el fin de comprender el estado actual del recurso hídrico. Durante el estudio se hizo tres muestreos en diferentes épocas entre 2018 y 2019, donde se colectó muestras biológicas en tres puntos estratégicos de la cuenca. Asimismo, se extrajo una muestra de agua compuesta por cada punto para analizar parámetros fisicoquímicos como: pH, conductividad, nitritos, nitratos, oxígeno disuelto, DBO_5 y DQO. Se colectó en total, 1618 individuos en los diferentes puntos de estudio y épocas de muestreo, reportando una predominancia de los órdenes *Ephemeroptera*, *Campeloma* y *hemíptera*.

[1] Facultad de Ciencias e Ingeniería, Ingeniería Ambiental, Grupo de investigación Gestión Ambiental, Universidad de Boyacá, Colombia. Correo: licmartinez@uniboyaca.edu.co
[2] Facultad de Ciencias e Ingeniería, Ingeniería Ambiental, Grupo de investigación Gestión Ambiental, Universidad de Boyacá, Colombia. Correo: zerocha@ uniboyaca.edu.co
[3] Facultad de Ciencias de la Educación, Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental, Grupo de Investigación en Estudios Micro y Macro Ambientales (MICRAM), Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia. Correo: claudia.perez01@uptc.edu.co
[4] Facultad de Ciencias e Ingeniería, Ingeniería Ambiental, Grupo de investigación Gestión Ambiental, Universidad de Boyacá, Colombia. Correo: jhperez@ uniboyaca.edu.co

En general, la abundancia de estos órdenes refleja un estado de contaminación en el agua, probablemente asociado a la transformación de los hábitats de macroinvertebrados, por la influencia de actividades mineras y pecuarias, lo cual se evidencia mediante índice BMWP/Col, que define la calidad de agua como aceptable en el muestreo realizado en época seca, pero, en los muestreos realizados en épocas de lluvia, el índice clasifica estas aguas como dudosas o críticas, presentándose como contaminadas y moderadamente contaminadas.

Palabras clave: índices ecológicos; calidad del agua; macroinvertebrados.

Efecto del cambio climático sobre el comportamiento hidrológico de la cuenca alta del río Pasto para el año 2050, Nariño, Colombia

Juan Pablo Toro Martínez[1]

Resumen

Actualmente, la cuenca alta del río Pasto es fuente abastecedora de agua de consumo humano para el municipio de Pasto, capital del departamento de Nariño, Colombia. Por ello, se requiere evaluar el efecto del cambio climático para realizar una gestión integral ante un escenario futuro cambiante. Por esta razón, este estudio tuvo como objetivo, evaluar el efecto del cambio climático sobre el comportamiento hidrológico de la cuenca para el año 2050, haciendo uso del modelo *Soil Water Assessment Tool* y la proyección a futuro del Modelo de Circulación General HadGEM2-ES con la reducción de escala por el método estadístico de MarkSim®. Se determinó las condiciones climáticas durante el periodo 1985-2015 con base en la información suministrada por el IDEAM; para ello se utilizó diversos métodos; uno de ellos fue la ponderación de distancia inversa IDW para el caso de precipitación, humedad relativa y brillo solar; el método de Fries et al., para temperatura y, el método de Swartman y Ogulande para radiación solar. Finalmente, se identificó que, la disponibilidad hídrica superficial tanto para el periodo 1985-2015 como para el escenario de Trayectorias de Concentración Representativas 8.5 al año 2050, se encuentra bajo escasez severa. En ese sentido, en 2050, la disponibilidad de agua dulce renovable per cápita anual se reduciría en un 49,57 %, lo que podría afectar la salud de la población por efectos negativos en el suministro, la calidad de los alimentos que son producidos en la zona y, generar otros factores de estrés, lo cual puede conllevar el incremento en los conflictos. Por lo tanto, se debe establecer medidas de conservación y restauración de suelos y de la cobertura vegetal de la zona alta.

Palabras clave: cambio climático; herramienta de evaluación de suelos y aguas (*Soil Water Assessment Tool*); modelación hidrológica; proyección climática; recursos hídricos.

[1] Universidad de Manizales, Colombia. Correo: juanpablodx63@yahoo.com.co

Importancia ecológica de la apicultura en el mantenimiento y conservación de la biodiversidad y los agroecosistemas

Natalia Cardona Reyes[1]
Laura Alejandra Cuellar[2]
Luis Alexander Carvajal Pinilla[3]

Resumen

La apicultura, actividad agrícola que proporciona protección al medio ambiente, mantiene ciclos fenológicos y contribuye al equilibrio de ecosistemas y a la producción agroforestal mediante la polinización. No obstante, la ampliación agrícola en la región andina, desequilibra ecosistemas, alterando ciclos bioecológicos y ambientales. El objetivo es, identificar los aspectos e impactos ambientales que la apicultura origina, para la estabilidad ambiental de ecosistemas circundantes en el municipio de Algeciras, Huila.

En 49 fincas apícolas se realizó diagnóstico y caracterización ambiental, aplicando encuesta sociodemográfica, DOFA, listas de chequeo y matriz ambiental, evidenciando que los apicultores poseen alto nivel de conocimiento en el manejo de las colonias, apiarios, posturas, selección de reinas y, obtienen productos como propóleo, núcleos, miel y polen. Las mayores debilidades están en la falta de financiamiento institucional y la poca cultura empresarial que lleva a la informalidad. La mayor oportunidad es la disponibilidad de insumos para la actividad apícola; entre las fortalezas se destaca la venta asegurada de todos los productos y subproductos y la experiencia en el manejo y mantenimiento a largo plazo de las colmenas. La principal amenaza es el uso inadecuado de plaguicidas y agroquímicos. En las listas de chequeo, pocos impactos negativos, principalmente, contaminación puntual del aire por ahumadores; entre los impactos con puntuación positiva, embellecimiento paisajístico, regulación de cadenas tróficas, aumento de servicios ecosistémicos, generación de empleo, aumento de biodiversidad circundante a los apiarios y mejoramiento de la calidad de vida. Las matrices ambientales categorizaron impactos muy poco significativos y moderadamente significativos, como cambios en el uso del suelo, modificación puntual del paisaje, contaminación por desechos residuales y generación de enfermedades respiratorias en el apicultor. Se destacó que, la apicultura es una actividad supremamente importante para el aumento y conservación agroecosistémica del medio ambiente.

Palabras clave: apicultura; biodiversidad; manejo; productividad; sostenibilidad.

[1] Corporación Universitaria del Huila, Colombia. Correo: natalia_cr@corhuila.edu.co
[2] Corporación Universitaria del Huila, Colombia. Correo: laura_cb@corhuila.edu.co
[3] Corporación Universitaria del Huila, Colombia. Correo: luis.carvajal@corhuila.edu.co

Rasgos morfológicos de cuatro especies forestales nativas con potencial en procesos de restauración ecológica del bosque alto andino, Nariño, Colombia

Pedro Pablo Bacca Acosta[1]
Diana Lucía Burbano[2]
Santiago David Córdoba Portilla[3]
Diana Lizeth López Salcedo[4]

Resumen

El estudio de rasgos morfológicos en especies forestales nativas del bosque altoandino permite predecir comportamientos e interacciones ecológicas ante cambios ambientales o antropológicos en los ecosistemas. El objetivo de esta investigación fue determinar los patrones morfológicos foliares que caracterizan a *Cleome arborea Kunth*, *Weinmannia mariquitae Szyszyl*, *Viburnum triphyllum Benth* y *Leandra Subseriata (Naudin) Cogn*. en el bosque altoandino de la Granja Experimental Botana de la Universidad de Nariño, donde fueron evaluados 40 individuos, diez por especie y, de cada uno se recolectó diez hojas representativas de los cuatro puntos cardinales en ramas de la parte media y periférica de la copa. Las variables morfométricas evaluadas fueron: longitud pecíolo principal, grosor pecíolo principal, largo hoja, ancho hoja, número de venas primarias en haz, venación haz, venación envés, forma hoja, borde hoja, ápice hoja, base hoja, pubescencia haz, pubescencia envés, color hoja haz, color hoja envés, ondulación lámina foliar. Las variables cuantitativas y cualitativas fueron procesadas a través del análisis de componentes principales y el análisis de correspondencias múltiples, respectivamente. En el primero, los descriptores que mejor explican la correlación foliar de los dos primeros factores fueron ANH/LH en *C. arbórea* (61 %), *W. mariquitae* (95 %), *V. triphyllum* (92 %) y *L. Subseriata* (72 %). En el segundo, para los cuatro primeros ejes, las características de mayor aporte fueron *CHaz/CEnv* en *C. arbórea* (61 %), *W. mariquitae* (60 %), *V. triphyllum* (61 %) y *L. Subseriata* (61 %). La caracterización de

[1] Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia, Colombia. Correo: pbacca@agrosavia.co Centro de Investigación Obonuco. Km. 5, vía Pasto - Obonuco, Nariño, Colombia.
[2] Universidad de Nariño, Colombia. Correo: dbiologia@gmail.com Calle 18 Cr 50 Ciudadela Universitaria Torobajo. Pasto - Nariño, Colombia.
[3] Universidad de Nariño, Colombia. Correo: cordobapsd98@gmail.com Calle 18 Cr 50 Ciudadela Universitaria Torobajo. Pasto - Nariño, Colombia.
[4] Universidad de Nariño, Colombia. Correo: lizethlopez@udenar.edu.com Calle 18 Cr 50 Ciudadela Universitaria Torobajo. Pasto - Nariño, Colombia.

las hojas estableció que, los descriptores botánicos más relevantes para las especies nativas evaluadas fueron: ancho, largo y color del haz/envés.

Palabras clave: caracterización; especies nativas; descriptores botánicos; patrones morfológicos.

Identificación y priorización de una idea de negocios para el aprovechamiento ambiental y socioeconómico de los residuos sólidos del municipio de Puerto Rico – Caquetá

Fredy Alejandro Murillo Díaz[1]

Leidy Karina Alvarado Recaman[2]

Resumen

El municipio de Puerto Rico, situado en el departamento de Caquetá, Colombia, presenta falencias importantes en el cumplimiento de lo dispuesto en el Artículo 90 del Decreto 2981 de 2013, en el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo y estipula que, se debe desarrollar procesos de aprovechamiento de residuos. La norma define que los municipios y distritos deben diseñar, implementar y mantener actualizados, los programas y proyectos sostenibles de aprovechamiento de residuos sólidos, cuando actualizan el respectivo plan de gestión integral de residuos sólidos, para lo cual deberán priorizar estudios de factibilidad sobre aprovechamiento de residuos.

La presente investigación corresponde a la primera fase de la etapa preoperativa dentro del ciclo de un proyecto de inversión pública, donde se desarrolló el estudio de perfil denominado 'Identificación y priorización de una idea de negocio para el aprovechamiento ambiental y socioeconómico de los residuos sólidos del municipio de Puerto Rico, Caquetá', para determinar si es viable el aprovechamiento del potencial ambiental y socioeconómico de los residuos sólidos en el municipio, recopilando información primaria mediante muestreo estadístico y haciendo revisión a información bibliográfica y documentos oficiales para, al final, presentar un análisis de debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas del proyecto. Se analizó la disponibilidad de los principales insumos que requiere el proyecto y se realizó un sondeo de mercado que refleja, en forma aproximada, las posibilidades del aprovechamiento mediante la producción de abono orgánico (compost), idea productiva priorizada empleando dos métodos de priorización de alternativas de inversión: calificación por puntos y método del análisis dimensional, dejando las bases para dar las etapas subsiguientes, estudio de prefactibilidad y factibilidad, en las cuales se tomará la decisión de proceder o no, con su implementación.

Palabras clave: aprovechamiento; ambiental; socioeconómico; residuos sólidos.

[1] Universidad del Cauca, Colombia. Correo: mfredy@unicauca.edu.co

[2] Universidad del Cauca, Colombia. Correo: lkalvarado@unicauca.edu.co

Evaluación microbiológica de la calidad de las aguas superficiales en los Altos-Norte de Jalisco, México

Aldo Antonio Castañeda Villanueva[1]
María D. Méndez Robles[2]
Jacqueline López Becerra[3]

Resumen

Como prioridad en el presente estudio, se evaluó cuantitativamente la calidad microbiológica de las aguas superficiales de los principales cuerpos de agua en los ocho municipios que conforman la región Altos-Norte del estado de Jalisco, la cual se localiza en el centro-occidente de México y está consolidada como una importante región productora que aporta más del 31 % del Producto Interno Bruto agropecuario del estado.

Mediante la determinación de organismos indicadores como los coliformes totales y los fecales es posible apreciar que, la mayoría de ríos y presas de la zona de estudio presentan baja calidad microbiológica en sus aguas, por diversos niveles de contaminación, principalmente de origen fecal, provocada principalmente por: descargas de aguas residuales sin tratamiento adecuado provenientes tanto de núcleos de población, explotaciones pecuarias e industrias, como por el cambio en el uso del suelo y la sobrefertilización de cultivos. Esta situación pone en riesgo el desarrollo sustentable de esta estratégica región del país, evidenciando la necesidad de implementar programas para la constante y periódica evaluación, tanto fisicoquímica como microbiológica de la calidad de sus cuerpos de agua superficiales, para mitigar oportunamente los impactos de los núcleos de la población y sus actividades productivas en cada municipio de la región.

Palabras clave: agua superficial; contaminación ambiental; microorganismos en aguas; Jalisco México.

[1] Universidad de Guadalajara, México. Correo: acastaneda@cualtos.udg.mx
[2] Universidad de Guadalajara, México. Correo: mdmendez@cualtos.udg.mx
[3] Universidad de Guadalajara, México. Correo: jacqueline.lopez5272@alumnos.udg.mx

Tendencias tecnológicas para el aprovechamiento de subproductos orgánicos del sector hortofrutícola

Danilo Javier Betancourth Muñoz[1]
Tatiana Mañunga[2]

Resumen

Tal como lo corroboran las cifras de la Asociación Hortofrutícola de Colombia, este país es un productor mayorista en frutas y hortalizas. La Asociación informó que la exportación colombiana de frutas y hortalizas frescas y procesadas sumó más de 264,000 toneladas en 2019, siendo un 10 % más que el año anterior. Sin embargo, unido a este crecimiento, también incrementan las cifras de residuos orgánicos en toda su cadena de valor, que comprende, desde la producción de bienes de origen agropecuario como frutas frescas, vegetales y granos, hasta la transformación industrial de bienes como jugos, enlatados, mermeladas, compotas, pulpas y salsas, etc. El principal problema de los residuos orgánicos del sector hortofrutícola puede estar relacionado con la disposición final que, habitualmente se realiza en rellenos sanitarios o vertederos, desaprovechando el potencial de fuentes carbonadas y nutricionales contenidas en los residuos. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue identificar las tendencias tecnológicas para la transformación de residuos orgánicos del sector hortofrutícola en productos que generen un beneficio económico y medioambiental. Para esto se realizó un estudio bibliométrico, apoyado en el Software VosViewer, que permitirá establecer las diferentes tecnologías disponibles para la trasformación de residuos orgánicos.

Los resultados muestran que los diferentes usos que reciben los residuos orgánicos son para alimentación animal, valorización biológica y química, generación de biocombustibles, compostaje y lombricultivo, siendo estos dos últimos, tecnologías adecuadas para su aprovechamiento, ya que facilitan su uso como recurso primario y generan un producto alternativo a los abonos inorgánicos para la formación de vida en las plantas.

Palabras clave: tecnologías; aprovechamiento; residuos; orgánicos; subproductos.

[1] Universidad Mariana, Colombia. Correo: dabetancourth@umariana.edu.co
[2] Universidad Mariana, Colombia. Correo: tmanunga@umariana.edu.co

Simulación del desempeño hidrológico de techos verdes para eventos de lluvia mediante el uso del software EPA SWMM

José Duván Ordoñez Satizabal[1]

Gloria Lucía Cárdenas Calvachi[2]

Resumen

La investigación está relacionada con el estudio del comportamiento de cubiertas verdes en eventos de escorrentía, a partir de una simulación mediante el software EPA SWMM, considerando cómo se debe construir un módulo de cubierta verde. Se realiza el ajuste de las variables hidrometeorológicas y, principalmente, un análisis del comportamiento de la precipitación. El estudio se enfoca en la necesidad de implementar módulos de techo verde en la ciudad de Pasto, Nariño, para la prevención de inundaciones, además de dar a conocer los beneficios ambientales que puede producir la implementación de este tipo de tecnología.

Se aplicó la metodología de Proceso Analítico Jerárquico para la selección de una alternativa adecuada para el modelo adecuado para cubiertas verdes. Los datos hidrometeorológicos fueron descargados del sistema DHIME del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, para simular un evento de lluvia en la ciudad, durante el mes de noviembre de 2019.

Palabras clave: techos verdes; precipitación; simulación; escorrentía.

[1] Universidad Mariana, Colombia. Correo: joseordonez@umariana.edu.co
[2] Universidad Mariana, Colombia. Correo: glucargenas@umariana.edu.co

Estado del arte de la evolución de los materiales de empaque en biofiltros, para tratar contaminantes atmosféricos

Juan Sebastián Moncayo Tarapues[1]
Jhon Eduar España Andrade[2]
Francisco Javier Caicedo Mesa[3]

Resumen

La contaminación atmosférica es uno de los problemas ambientales de mayor relevancia, por los efectos negativos sobre la salud y el medio ambiente. Dentro de los contaminantes atmosféricos se encuentra el grupo de los compuestos orgánicos volátiles, que intervienen en la formación de ozono troposférico y generan problemas de salud, como irritación en vías respiratorias y ojos. Uno de los sistemas implementados para mitigar el impacto generado por las emisiones de estos compuestos son los biofiltros, cuyo funcionamiento consiste en hacer pasar una corriente de gaseosa contaminada a través de un lecho fijo construido por un material de empaquetamiento donde está retenida la biomasa responsable de la degradación final de los contaminantes.

El objetivo de esta investigación fue estudiar el estado del arte de la evolución de los materiales empleados en los empaques de los biofiltros, al igual que la identificación de los empaques más implementados, sus propiedades y, establecer las alternativas de mejora.

Se encontró que, los materiales de empaque más utilizados son lechos orgánicos: musgos, fibra de coco, carbón activado, paños de microfibra, fibra de coco, lechuguín, bagazo de caña, compostaje de pollinaza; lechos húmedos: turba, compost, entre otros y, los no inertes: espuma de poliuretano, partículas de polietileno tereftalato. Las propiedades de los empaques están enfocadas en la retención de humedad, la remoción de plomo, eficientes para la remoción y eliminación de ácido acético, además de biomasa, que permiten eliminar olores a sistemas sanitarios de aguas residuales, reducir la cantidad de materia orgánica, entre otras. Las alternativas de mejoramiento están enfocadas en las tecnologías biológicas, tratamientos biológicos que son utilizados para la depuración de los contaminantes orgánicos e inorgánicos, biofiltros para la reducción biológica de sulfuro de hidrógeno, entre otros.

Palabras clave: biofiltros; material de soporte; contaminación atmosférica; tratamiento de gases; emisiones atmosféricas.

[1] Universidad Mariana, Colombia. Correo: juansmoncayo@umariana.edu.co
[2] Universidad Mariana, Colombia. Correo: jhoespana@umariana.edu.co
[3] Universidad Mariana, Colombia. Correo: fjmessa@umariana.edu.co

Capacidad de sorción en polvos al oriente del Lago de Cuitzeo

Mariela Casillas Corona[1]
María Alcalá de Jesús[2]
Marco Antonio Martínez Cinco[3]
Angelina Almanza Ayala[4]

Resumen

En los últimos años, los estudios sobre contaminación del agua por metales tóxicos han atraído una mayor atención que, sobre la contaminación de los suelos. Al este de la ribera del Lago de Cuitzeo se reporta la presencia de arsénico, que puede estar afectando la salud de los habitantes de la zona. Respecto a los polvos provenientes de las áreas secas del lago, la información es escasa, especialmente sobre la relación de los metales tóxicos con las propiedades químicas de los polvos. La materia orgánica, el pH y la capacidad de intercambio catiónico influyen en la disponibilidad y retención de los metales tóxicos. El objetivo fue obtener un Índice de Capacidad de Sorción en polvos de la ribera del Lago de Cuitzeo mediante las propiedades químicas de estos. Los polvos fueron recogidos, secados y tamizados (0.044 mm) en un estudio previo. El pH, la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico fueron determinados de acuerdo con el DOF de 2002. El índice de capacidad de sorción se obtuvo ponderando las propiedades químicas mediante la ecuación obtenida por Casillas en el año 2011. Se realizó un análisis estadístico de la ecuación de Kruskal Wallis con *statgraphics*. Las clases de pH variaron de neutra a fuertemente alcalina; las de materia orgánica, en su mayoría, fueron medias y, las de la capacidad de intercambio catiónico, bajas y medias, éstas en mayor proporción. El índice de capacidad de sorción varió de clase baja a alta. La capacidad de intercambio catiónico y el índice de capacidad de sorción presentaron diferencias estadísticas significativas con P de 0.00208854; en cambio, para el pH y la materia orgánica, el valor de P fue mayor a 0.05. Las clases medias con los valores más altos de materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico tienen relación directa con el índice de capacidad de sorción de clases altas. Los polvos presentan buena capacidad de sorción por lo que, los metales tóxicos quedan retenidos en las partículas de polvo. A valores más altos de materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico, más alto es el índice de capacidad de sorción.

Palabras clave: elemento potencialmente toxico; capacidad amortiguadora; polvos urbanos.

[1] Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. Correo: mariela.casillas@umich.com
[2] Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. Correo: maria.alcala@umich.com
[3] Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. Correo: marco.martinez@umich.com
[4] Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. Correo: 1210345C@umich.mx

Energías renovables



Análisis del potencial de producción de biohidrógeno a partir de agua residual agroindustrial del café en la zona de Chachagüí, Nariño

Ángela Daniela Enríquez Bucheli[1]
Jaime Roberto Pérez Montalvo[2]
Tatiana Mañunga[3]

Resumen

Actualmente, el suministro de energía a nivel mundial depende de la explotación de combustibles fósiles, lo que representa una amenaza para la duración de las reservas de recursos naturales no renovables y el incremento de emisiones de CO_2. Las energías limpias como los biocombustibles, pueden evitar la emisión de gases de efecto invernadero y, ser producidas a partir de recursos renovables como biomasa, residuos orgánicos, incluidas las aguas residuales agroindustriales.

En este trabajo se analiza la obtención de biohidrógeno a partir de aguas residuales agroindustriales de café, generadas en la zona de Mata Redonda en el municipio de Chachagüí, Nariño, donde se procesa el café de forma artesanal y se genera vertimientos que afectan al entorno, por lo que se requiere alternativas limpias y sustentables para su tratamiento. Así, teniendo en cuenta las características fisicoquímicas de las aguas residuales del café, se hizo una comparación teórica para conocer la viabilidad de la producción de biohidrógeno con este tipo de agua. *In situ*, se tomó valores de pH y temperatura, mientras que los parámetros de demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno, nitrógenos totales, fósforo, sólidos suspendidos y sólidos totales, fueron caracterizados en el laboratorio de Alvernia, usando las metodologías adaptadas de los Métodos Estándar y otros autores. Los resultados mostraron que el agua residual tiene un pH de 2.85 unidades de pH, demanda biológica de oxígeno de 91200.00 mg/L y carbohidratos de 730.03 mg/L. Estos valores la confirman como un sustrato adecuado para la producción de hidrógeno por procesos biológicos. Parcialmente, se concluye que el hidrógeno es una energía renovable que puede reemplazar el exceso de energía producida por hidrocarburos. A partir del hidrógeno producido por procesos biológicos también se puede generar otros subproductos que pueden servir como fuente o materia prima para otros productos de alto valor energético y/o económico.

Palabras clave: anaerobio; agroindustrial; biohidrógeno; biogás.

[1] Universidad Mariana, Colombia. Correo: angeladenriquez@umariana.edu.co
[2] Universidad Mariana, Colombia. Correo: jaiperez@umariana.edu.co
[3] Universidad Mariana, Colombia. Correo: tmanunga@umariana.edu.co

Estudio de la fracción vegetal de residuos urbanos como fuente potencial de biomasa para biocombustible sólido

Fernando Damián Barajas Godoy[1]
Marco Antonio Martínez Cinco[2]
José Guadalupe Rutiaga Quiñones[3]
Roberto Guerra González[4]
Agustín Castro Montoya[5]
Víctor Manuel Ruiz García[6]

Resumen

En este proyecto se analizó la variación del contenido de lignocelulósicos en la biomasa obtenida de la fracción vegetal de residuos municipales respecto de la condición inicial de la biomasa, tal como fue obtenida, conformando un sistema de siete lotes, así como el comportamiento de los valores observados del poder calorífico respecto del contenido de carbono fijo, compuestos orgánicos volátiles y cenizas. Una muestra de aserrín se procesó como testigo en las mismas condiciones, siendo la biomasa forestal, la fuente más empleada a escala global en la obtención de biocombustible sólido. En contraste con los residuos, se encontró que el contenido de hemicelulosa es comparable y que, aun cuando el contenido de celulosa en aserrín es superior al de residuos, los poderes caloríficos discrepan solo por 0.88 MJ/Kg, es decir, 4,5 %. Mientras el contenido de extraíbles en los residuos es superior al 50 % en todas las observaciones, en aserrín llega solo a 10,1 % como máximo. Se valorizó como una fuente de biomasa recomendada para la obtención de biocombustible sólido, por su valor comparable al de la biomasa forestal y, superior a otras fuentes de biomasa reportada por otros investigadores.

Palabras clave: biomasa; valorización; biocombustible; FORSM; poder-calorífico.

[1] Posgrado Facultad de Ingeniería Química, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. Correo: fbarajas@umich.mx
[2] Posgrado Facultad de Ingeniería Química, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. Correo: marco.martinez@umich.mx
[3] Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. Correo: jose.rutiaga@umich.mx
[4] Posgrado Facultad de Ingeniería Química, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. Correo: roberto.guerra@umich.mx
[5] Posgrado Facultad de Ingeniería Química, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. Correo: acastro@umich.mx
[6] Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Universidad Autónoma de México, Campus Morelia, México. Correo: vruiz@cieco.unam.mx

Biodiesel, perspectivas en Colombia y el mundo: una mirada a las microalgas

Diana Patricia Martínez Garzón[1]
Andrea Carolina Sánchez Díaz[2]

Resumen

La economía y el desarrollo de un país dependen enormemente de la disponibilidad de fuentes de energía. Las fuentes convencionales de energía en las industrias de producción y transporte provienen principalmente de combustibles fósiles agotables, como el carbón, el petróleo natural y el gas, por lo cual la opción de biodiesel, combustible altamente ecológico, se considera viable respecto a energías renovables.

En esta ponencia se analiza el proceso productivo de biodiesel a partir de microalgas, con diferentes formas de cultivo, técnicas y condiciones durante el proceso, sin excluir los beneficios ambientales y económicos que brinda esta labor. Se ha hecho investigaciones y pruebas nacionales e internacionales que arrojan diversos resultados en cuanto a tipos de microalgas empleadas para producción de biodiesel y acumulación de lípidos de las mismas. Al realizar los estudios, se examina y observa factores como: crecimiento específico, rendimiento y productividad de biomasa, contenido de lípidos y otros. Dado que estos organismos contienen un elevado porcentaje de aceites, es factible la producción de biodiesel, teniendo en cuenta si son cultivadas en laboratorios, en plantas de tratamiento de aguas residuales, fotobiorreactores, entre otros.

En Colombia, las microalgas *Scenedemus ovalternus* y *Chlorella vulgaris* presentan las mayores productividades de lípidos, en comparación con la productividad de la actual materia prima empleada en el país para la producción industrial de biodiesel. En México e Irán se ha estudiado otros tipos de microalgas; entre ellos, la muy conocida *Spirulina*, además de experimentar el cultivo de microalgas en aguas que usualmente no se usaría, lo que permite obtener más conocimientos, con la posibilidad de llegar a muy buenos resultados, como la depuración de aguas residuales a partir de estos mismos organismos, proceso que, también proporciona biomasa para biocombustibles, siendo un gran aporte a las ciencias ambientales.

Palabras clave: biodiesel; microalgas, sostenibilidad ambiental; economía; formas de cultivo.

[1] Fundación Universitaria Agraria de Colombia. Correo: martinez.diana3@uniagraria.edu.co
[2] Fundación Universitaria Agraria de Colombia. Correo: sanchez.andrea6@uniagraria.edu.co

Obtención de biogás a escala laboratorio a partir del aprovechamiento de residuos orgánicos

María Camila Aguirre López[1]
Mario Alberto Castillo Castillo[2]
Juan Carlos Narváez Burgos[3]

Resumen

En esta propuesta de investigación se pretende establecer una ruta de procesamiento para la obtención de biogás a partir de una enmienda orgánica seleccionada con base en propiedades específicas de los residuos aprovechables que surgen en una finca cafetera y que, constituyen como materia promisoria debido a las características que poseen, como: un buen porcentaje en humedad, azúcar, pectina, sólidos volátiles, potasio, entre otros y, un bajo porcentaje en cenizas.

La investigación se realizó con el fin de demostrar la inclusión de residuos orgánicos en la cadena productiva, que podrían ser aprovechados para beneficio y suplemento de las necesidades presentes en la finca. Se pretende entonces, evaluar el rendimiento en la producción de biogás a partir de una configuración adecuada de subproductos inoculados en un sistema de codigestión anaerobia, previamente caracterizadas sus propiedades fisicoquímicas y biológicas y, establecida la configuración adecuada de los mismos, teniendo en cuenta condiciones de procesamiento estándar y, habiendo analizado su rendimiento en la producción de biogás por codigestión.

Se concluyó, parcialmente que, en la caracterización de los subproductos provenientes de la finca cafetera, la pulpa de café y la cáscara de plátano contienen mayor contenido de carbono y nitrógeno, por lo que obtuvieron un mayor rendimiento de biogás respecto a las cáscaras de banano verde y naranja, además de que esta última, posiblemente, presentó un alto contenido de limoneno, siendo este compuesto un limitante para obtener un buen rendimiento de biogás. Finalmente, el inóculo manifestó una óptima relación carbono/nitrógeno, que está dentro de los rangos que satisfacen las necesidades de crecimiento y producción de metano de las bacterias anaerobias.

Palabras clave: biogás; digestión anaerobia; inóculo; metano; biodigestor.

[1] Universidad Mariana, Colombia. Correo: mariaaguirre@umariana.edu.co
[2] Universidad Mariana, Colombia. Correo: mariocastillo@umariana.edu.co
[3] Universidad Mariana, Colombia. Correo: jcnarvaez@umariana.edu.co

Elaboración de carbón ecológico a partir de cáscara de coco a escala laboratorio

Astrid Vanessa Espinel Oviedo[1]
Paola Andrea Mejía Álvarez[2]
Francisco Javier Caicedo Messa[3]

Resumen

El incremento poblacional ha ocasionado un consumo excesivo de diversas fuentes de energía provenientes de combustibles naturales, generando procesos de alto impacto como la tala de zonas boscosas, por la extracción minera.

El objetivo de la presente investigación es proponer un proceso para la fabricación de carbón ecológico a partir de cáscara de coco, considerando sus propiedades físicas y químicas para, finalmente, evaluar el poder calorífico obtenido.

Mediante la revisión de literatura se encontró que, este proceso comprende las siguientes etapas: elaboración del aglomerante natural a partir de yuca y, de la briqueta, a partir de la cáscara de coco. Inicialmente, se hace la selección de la materia prima, secado, molienda, tamizado, aplicación del aglomerante, compactación y proceso térmico. Es importante que las proporciones sean adecuadas para identificar las dosis óptimas en cada proceso.

Con este proyecto se pretende aprovechar un residuo orgánico como la cáscara de coco, dando como resultado una alternativa para sustituir la combustión de leña, involucrando nuevamente residuos, a un ciclo económico. Las pruebas más comunes realizadas a este tipo de biocombustibles son definidas como: rendimiento masa/tiempo, poder calorífico, humedad y porcentaje de ceniza.

Palabras clave: briqueta; aglomerante; cáscara de coco; energía renovable; poder calorífico.

[1] Universidad Mariana. aespinel@umariana.edu.co
[2] Universidad Mariana. pamejia@umariana.edu.co
[3] Universidad Mariana. fjmessa@umariana.edu.co

Caracterización físico-química y mecánica de briquetas de borra de café

Claudio Alberto Moreno Arias[1]
Oscar Chamarraví Guerra[2]
Eric Fabien Navarro Árquez[3]
Miguel Fernando Jiménez Jiménez[4]

Resumen

Este trabajo presenta los resultados del proyecto de investigación titulado *Caracterización de la briqueta tipo 2 de aserrín de café como combustible sólido, alternativo a la leña y al carbón mineral en cocinas, restaurantes y pequeños negocios, basado en la norma NTC 2060*, el cual se llevó a cabo en la Fundación Universidad de América de Bogotá, Colombia. Esta propuesta de biocombustible sólido buscaba analizar si podía ser una alternativa al uso de la leña, el cual requiere de la tala de bosques, especialmente en zonas rurales, causando exposición a los humos de combustión, que son causantes de enfermedades respiratorias como la obstrucción crónica pulmonar, enfisema y cáncer de pulmón. Se escogió como materia prima, la borra del café, residuo ampliamente disponible, por ser Colombia un país productor y consumidor de la bebida.

Dentro de los objetivos trazados están, identificar el estado del arte del uso de borra en la elaboración de briquetas, elaborarlas de acuerdo con la norma, diseñar y construir una prensa briquetadora, determinar las características fisicoquímicas de poder calorífico, humedad, emisiones, facilidad de encendido y duración de la combustión y, evaluar su comportamiento mecánico con pruebas de compresión, impacto y abrasión.

Con respecto a los resultados se obtuvo que, el poder calorífico de las briquetas es inferior al del carbón; presentan facilidad de encendido y duración durante el proceso de combustión y baja formación de cenizas. La respuesta obtenida en los ensayos mecánicos mostró que las muestras elaboradas mantienen su integridad física en condiciones de almacenamiento, embalaje y transporte. Con estos resultados, se puede concluir que el biocombustible propuesto es una alternativa sostenible al uso de la leña y el carbón mineral para procesos de cocción.

Palabras clave: borra; biocombustibles sólidos; residuos de café.

[1] Fundación Universidad de América, Colombia. Correo: claudio.moreno@profesores.uamerica.edu.co
[2] Fundación Universidad de América, Colombia. Correo:oscar.chamarravi@profesores.uamerica.edu.co
[3] Fundación Universidad de América, Colombia. Correo: eric.navarroo@profesores.uamerica.edu.co
[4] Fundación Universidad de América, Colombia. Correo: miguel.jimenz@profesores.uamerica.edu.co

Marco teórico del ambiente en los sistemas de energía marítima

María Carmen Espinosa Espinosa[1]
José Jesús Ángel Aguilar[2]
Efraín Mateos Farfán[3]

Resumen

Hablar de energía renovable es un tema muy extenso, dadas múltiples formas de generar energía; entre las más usadas están: las plantas hidroeléctricas, en un 41,2 %; las solares, en un 25,3 %; el viento, en un 25,0 %, mientras otros tipos de generación de energía renovable en conjunto, representan el 8,5 %, según datos de la Agencia Internacional de las Energías Renovables.

Estas formas de generar energía no son utilizadas porque sean las mejores, sino por las características de las zonas; por tanto, hablar de energía marítima, es un fenómeno reciente, debido a las grandes bondades que tiene y porque la gran mayoría de países tiene el potencial de generar este tipo de energía por sus costas. Al tiempo que se vuelve competitivo este tipo de energía, está en la mira de regulaciones para su construcción, operación y la relación que implicará los cambios del ambiente con los dispositivos de estas plantas.

Este trabajo menciona las interacciones de investigaciones entre los sistemas de energía marítima y el ambiente. Hasta el momento, los estudios recientes han mostrado que los riesgos percibidos hacia la fauna están asociados por ruido submarino, cableado, cambios de hábitat y colisión contra las turbinas marítimas, generados por alguna de las etapas de la planta. Por ende, estos peligros deben ser gestionados y comprendidos. Otras interrelaciones necesitan urgentes averiguaciones estratégicas concretas para lograr entender sus peligros asociados y para minimizar los costes y los años de monitorización durante la vida de un plan. Debido a que no hay procedimientos viables para la monitorización de ciertas relaciones, la inversión en averiguaciones estratégicas es la solución exclusiva, por lo cual se recomienda seguir trabajando en esta área.

Palabras clave: energía marítima; riesgo ambiental; fauna marítima; hábitat.

[1] Universidad Nacional Autónoma de México, Programa de Doctorado en Ingeniería Civil Campus IMTA. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, Jiutepec, Morelos, México, C.P. 62550.
Correo: maria.espinosa@posgrado.imta.edu.mx
[2] Instituto Tecnológico Superior de Uruapan, Carr. Uruapan-Carapan No. 5555, Col. La Basilia, 60015 Uruapan, Mich., México Correo: droidmers@gmail.com
[3] Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Ingeniería Civil, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, Jiutepec, Morelos, México, C.P. 62550 Correo: emateos@posgrado.imta.edu.mx

Simulación de sombreado para sistemas residenciales de generación solar fotovoltaica en entornos urbanos y rurales, utilizando el Modelo para Asesoría de Sistemas

Daniela Alejandra Nolasco Hernández[1]
Juan Sebastián Solís-Chaves[2]

Resumen

En esta investigación se desarrolló modelos de sombreado para dos sistemas de generación solares fotovoltaicos; uno de ellos, ubicado en el área rural de la sabana cundiboyacense y el otro, en el área urbana de la capital colombiana. La intención del proyecto es demostrar que las pérdidas son mayores cuando los módulos son afectados por el sombreado. Ambos sistemas consideran una carga eléctrica para un hogar promedio, estimación de la cual se parte para dimensionar sus componentes. Para el caso específico, se optó por excluir el uso de un banco de baterías. Con el fin de observar el desempeño de los sistemas, se hizo simulaciones por medio del Modelo para Asesoría de Sistemas, programa que permite diseñar diversos modelos basados en energías renovables. Utilizando esta herramienta, se recreó simulaciones comparativas para los dos entornos, observando su comportamiento en un modelo sin sombreado; y otro, donde se incluye objetos de tamaño considerable que ensombrecen la superficie de los paneles. Los resultados del modelamiento confirmaron que, efectivamente, el porcentaje de pérdidas aumentó cuando los módulos fueron afectados por la sombra. Se concluye que, si bien el fenómeno del sombreado provoca disminución en la potencia entregada por los paneles, no afecta otras partes del sistema. En el caso específico, es necesario deslastrar cargas no críticas, pues no se considera un sistema de baterías de respaldo que proporcione la carga que se pierde con el ensombrecimiento; de igual forma, existen otras formas de prevenir los efectos del sombreado, incluyendo componentes adicionales al sistema, los cuales pueden ser implementados en investigaciones derivadas de los resultados de este proyecto.

Palabras clave: energías renovables; energía solar fotovoltaica; System Advisor Model (SAM); simulaciones; sombreado.

[1] Universidad ECCI, Colombia. Correo: danielaa.nolascoh@ecci.edu.co
[2] Universidad ECCI, Colombia. Correo: jsolisc@ecci.edu.co

Simulación de un sistema solar fotovoltaico con seguimiento usando un Modelo para Asesoría de Sistemas, para María La Baja, Bolívar

Kevin Ospino Silgado[1]
J. S. Solís-Chaves[2]

Resumen

Este trabajo simula el aprovechamiento de energía de un sistema solar fotovoltaico cuando se adiciona un sistema de seguimiento solar: *tracking*. El software para abordar este análisis es el Modelo para Asesoría de Sistemas. Se compara computacionalmente las pérdidas del sistema solar fotovoltaico y cómo se puede compensar con un mejor aprovechamiento de la radiación solar, al agregar un sistema de seguimiento con uno o dos ejes de movimiento. Este análisis será comparativo respecto de un sistema solar fotovoltaico sin pérdidas y cuyos paneles están fijos en una determinada posición. Se obtiene, además, un perfil de carga eléctrica de una casa del municipio de María La Baja, Bolívar, a partir de las facturas de energía mensuales, para constatar que la energía generada es suficiente para alimentar la casa. Actualmente, en este municipio hay apagones reiterativos, por lo que este trabajo busca presentar una alternativa para cambiar la situación al proponer una solución renovable.

Se emplea una metodología cuantitativa y de simulación computacional, revisando antecedentes para el proyecto, estudiando el software escogido, con el fin de dimensionar los componentes del sistema solar fotovoltaico, para así comprender los resultados obtenidos, partiendo de las configuraciones angulares y de la inclinación del sistema de seguimiento disponible en el Modelo para Asesoría de Sistemas. El resultado evidencia un 40 % más de eficiencia, lo que significa que se consigue un 40 % más de potencia eléctrica corriente continua, para un mismo perfil de radiación solar y para un mismo tipo de carga conectada al sistema.

Se concluye que, para la zona ecuatorial, basta con configurar el *tracking* de un solo eje, ya que la relación de la potencia generada versus las pérdidas del sistema, sigue siendo pequeña, mientras que, con un *tracking* de dos ejes, las pérdidas aumentan considerablemente, mientras que la potencia generada, no aumenta en la misma proporción.

Palabras clave: energías renovables; pérdidas; Modelo para Asesoría de Sistemas; sistemas de generación solar fotovoltaica; sistemas de seguimiento.

[1] Estudiante Ingeniería Mecatrónica, Universidad ECCI, Colombia. Correo: kevin.ospinos@ecci.edu.co
[2] Magíster, Universidad ECCI, Colombia. Correo: jsolisc@ecci.edu.co

Sistema de gestión para cargas desconectables en instalaciones

Luis Alejandro Yépez[1]
Nicole Stefany Vargas[2]
Luis Alejandro Arias[3]

Resumen

El artículo presenta un sistema de gestión para cargas desconectables en instalaciones residenciales, como una forma de reducción del consumo energético. La alta demanda que conlleva el consumo mundial de electricidad, supone la causa principal de las emisiones de gases de efecto invernadero. Como una forma de posible respuesta a esta problemática, se muestra y aborda el diseño de un aplicativo en el espacio de computación en la nube, el cual coordina las acciones de sistema de control automatizado para las cargas de usuario de una red eléctrica de distribución. Cada usuario, por medio del aplicativo, tiene la posibilidad de monitorear el estado de consumo eléctrico de sus cargas durante las 24 horas del día y, clasificar su consumo en tres niveles posibles: hora valle, hora semivalle y hora pico.

El sistema de gestión de cargas que se presenta en este artículo ofrece soluciones innovadoras para un uso optimizado de la energía, con un potencial de ahorro de hasta un 20 % y, permite reducir significativamente sus costos energéticos. Con el sistema de gestión se puede optimizar fácilmente el presupuesto de energía y, reducir drásticamente los costos en tres pasos: diagnóstico del consumo del usuario, registro de los datos en el sistema y, planificación y control del consumo por desconexión, logrando resultados significativos en cada paso.

De acuerdo con los resultados, el sistema de gestión de cargas desconectables en instalaciones residenciales permite reducir el consumo energético de las viviendas gracias a la combinación de estrategias de control automatizado como la dimerización de cargas, el escalonamiento en su conexión y, los cambios de revoluciones por minuto para cargas dinámicas como motores.

Palabras clave: aplicación WEB; respuesta a la demanda; estrato socioeconómico; control de cargas.

[1] Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Correo: layepezg@correo.udistrital.edu.co
[2] Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Correo: nsvargasm@correo.udistrital.edu.co
[3] Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Correo: lincarias@yahoo.com

Microgeneración de energía renovable en Loja, Ecuador: aporte a la política pública

Alción de las Pléyades Alonso Frank[1]
Lorena Fernanda Alvarado Rodríguez[2]
Sandra Vanessa Valarezo Jaramillo[3]
José Luis Galarza Viera[4]

Resumen

El elevado consumo de energías no renovables, asociado al acelerado crecimiento poblacional, afecta los recursos ambientales de los cuales dependen los habitantes urbanos a nivel global. En este contexto, la República del Ecuador destaca por poseer recursos naturales abundantes que, bajo una planificación sostenible, están siendo empleados como materia energética. Producto de ello, la matriz eléctrica actual presenta un 59 % de renovables y persigue ser incrementada a futuro, mediante proyectos hidráulicos, solares y eólicos a gran escala, conforme se precisa en el Plan Nacional de Eficiencia Energética del Ecuador 2016-2035.

Se pone en valor que, la ciudad de Loja es considerada como el sitio donde existe mayor promedio de velocidad del viento registrado en todo el territorio ecuatoriano, admisible para su aprovechamiento energético. No obstante, si bien tiene un elevado potencial solar, su desarrollo para fines de generación eléctrica es aún incipiente. En este contexto, el presente trabajo tiene por objeto, establecer lineamientos arquitectónicos, urbanos y energéticos para la microgeneración de energías renovables en el sector edilicio, que resulten en un aporte a las políticas públicas en la materia, a escala local. La formulación de dichos lineamientos se efectúa con base en el estudio preliminar de aspectos político-administrativos y técnicos que circunscriben a la generación de energías renovables en entornos urbanos. Como complemento, se encuesta a la población para conocer el nivel de aceptabilidad de las mismas. Los resultados exponen que, de ser implementados los lineamientos enunciados, el sector edilicio supone un valioso potencial de introducción de energías renovables, favorecido por un nivel de adherencia por parte de la población consultada, del 57 %.

Palabras clave: energía solar fotovoltaica; energía eólica; energía eléctrica; sustentabilidad.

[1] Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Universidad Nacional de San Juan, Argentina. Correo: afrank@faud.unsj.edu.ar
[2] Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador. Correo: lfalvarado@utpl.edu.ec
[3] Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador. Correo: svvalarezo@utpl.edu.ec
[4] Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador. Correo: jlgalarza@utpl.edu.ec

Aplicaciones del óxido de zinc fabricado por el método ERAP en las celdas solares

Julián Camilo Peña[1]
Gerardo Gordillo[2]

Resumen

La transición energética mundial es inminente; la energía solar fotovoltaica es una de las mejores opciones para la transición hacia energías renovables. Actualmente, el mercado de los paneles solares está dominado por la tecnología de silicio; sin embargo, tecnologías novedosas para el desarrollo de paneles solares entre las cuales se encuentra la tecnología de película delgada, han demostrado que pueden obtener eficiencias iguales o superiores que los paneles de silicio, a un menor costo. Uno de los materiales más usados en la tecnología de película delgada es el óxido de zinc que, gracias a sus propiedades ópticas y eléctricas, además de sus características como buena estabilidad y alta movilidad electrónica, le permiten ser usado como óxido conductor transparente y como capa selectiva de electrones.

El óxido de zinc puede ser fabricado por múltiples métodos; entre ellos: deposición química de vapor, deposición física de vapor asistida por plasma, pulverización de magnetrón y pirólisis de aerosol; sin embargo, estos métodos presentan algunas desventajas, como altos costos de producción. En esta investigación se fabricó películas delgadas de óxido de zinc por el método de evaporación reactiva asistida por plasma, el cual presenta ventajas respecto a los métodos convencionales de fabricación, reflejadas en términos de costos y facilidades para la deposición homogénea de la capa de óxido de zinc en grandes áreas. Para finalizar, las propiedades ópticas (usando transmitancia espectral), eléctricas (realizando medición de la resistividad eléctrica) y morfológicas (usando difracción de rayos x) del óxido de zinc fabricado, fueron caracterizadas, corroborando la obtención de películas delgadas de óxido de zinc con propiedades adecuadas para ser usadas como óxido conductor transparente y como capa selectiva de electrones.

Palabras clave: óxido de zinc; energía solar fotovoltaica; evaporación reactiva asistida por plasma.

[1] Universidad Nacional de Colombia. Correo: jpenabe@unal.edu.co
[2] Universidad Nacional de Colombia. Correo: ggordillog@unal.edu.co

Dimensionamiento solar fotovoltaico usando un Modelo para Asesoría de Sistemas para proyectos rurales agrícolas sin red eléctrica compartida

Andrés Giovanny Carrión Granados[1]
J. S. Solís-Chaves[2]

Resumen

Este proyecto presenta el dimensionamiento de un sistema de generación solar fotovoltaica con bancos de baterías, para un sistema de riego por aspersión de agua para cultivos, con el que se busca garantizar el acceso a una energía limpia, segura y sostenible, a la población que requiere del acceso al agua y así, garantizar la producción de alimentos para sus comunidades, de acuerdo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible definidos por la Organización de las Naciones Unidas en su Agenda para 2030. La gran mayoría de los primo-motores que alimentan las motobombas actuales funcionan con combustibles fósiles (diésel o gasolina), puesto que trabajan aislados de la red eléctrica. Por ello, se propone como solución al sistema de energía tradicional, una alternativa solar fotovoltaica que trabaje de forma eficaz, que sea renovable y, además, rentable, para los habitantes de las zonas rurales colombianas, promoviendo la inversión en sistemas solares fotovoltaicos de bombeo, al presentar una simulación técnica, económica o de prefactibilidad, realizada por medio del software Modelo para Asesoría de Sistemas.

Palabras clave: bancos de baterías; desarrollo sustentable; energías renovables; energía solar fotovoltaica; System Advisor Model (SAM).

[1] Universidad ECCI, Colombia. Correo: giovanny.g.carrion@gmail.com
[2] Universidad ECCI, Colombia. Correo: jsolisc@ecci.edu.co

Almacenamiento de energía solar en sumideros térmicos

Alejandro Garza Galicia[1]

Resumen

La transformación energética mundial demanda sistemas productores más eficientes y sustentables y, para lograrlo con energías renovables, se requiere que exista una disponibilidad en las fuentes de energía, situación que no se alcanza por completo con el sol y el viento, por lo que hace a estas energías, intermitentes en la producción de electricidad.

En la actualidad se está estudiando diferentes formas de mantener la continuidad de las fuentes a través de pilas, tanto eléctricas utilizando litio, como térmicas con diferentes sales; sin embargo, por su costo, infraestructura requerida y alta huella de carbón, todavía no se alcanza la rentabilidad económica y ambiental necesaria. Considerando la problemática ambiental de las pilas eléctricas, en el presente trabajo se analiza el comportamiento térmico de cuatro materiales diferentes para el almacenamiento de energía solar a través de calentamiento en un concentrador de tipo parabólico con sistema de girasol: las sales fueron llevadas a su temperatura máxima, acorde a la radiación solar promedio de 980 watts/m^2; se revisó sus condiciones de estructura física antes y después del calentamiento y, los materiales no presentaron alteraciones en su calor especifico. Se describió el enfriamiento térmico en función del tiempo y las condiciones ambientales, obteniéndose que, el carbonato de sodio resulta con un tiempo de almacenamiento de seis horas 28 minutos, a un rango de temperaturas de entre 77.5 °C y 112.4 °C, mientras el sulfato de sodio resultó con un tiempo menor de cuatro horas siete minutos, a un rango de, entre 80.9 a 119 °C. De esta forma, existe la posibilidad de utilizar estos materiales en sumideros de calor en centrales térmicas que utilizan un fluido de trabajo o aquellos sistemas térmicos que requieran un respaldo o ahorro de energía para mantener la continuidad de los procesos.

Palabras clave: almacenamiento térmico solar; calor específico; sales; cambio climático.

[1] Universidad del Valle de Atemajac Campus GDL, Zapopan Jalisco México. Correo: a.garza@univa.mx

Gestión ambiental



Disminución de gases de efecto invernadero mediante el aprovechamiento de residuos plásticos en el departamento de Nariño

Johny Walter Tovar Trujillo[1]
Helmer Fernando Jaguandoy Tobar[2]
Oscar David Silva Moreno[3]
Milton Andrés Reina[4]
Wilson Alexander Torres Erasso[5]

Resumen

El proyecto tiene como objetivo principal, disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, mediante el aprovechamiento de residuos plásticos, a través de un modelo de economía circular que se realiza bajo el apoyo del Fondo Acción, que hace parte de la Iniciativa Internacional del Clima del Ministerio de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de la República Federal de Alemania y, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en la puesta en marcha de 'Colombia Baja en Carbono'. Con este proyecto se busca que, hasta el año 2036 se reduzca más de 18.000 toneladas de estos gases, al evitar el uso de las resinas plásticas vírgenes que son importadas del extranjero y generan distintos impactos ambientales. Este modelo se desarrolla en cinco componentes: 1) Campañas de sensibilización ambiental con 6000 estudiantes en 48 colegios de Nariño, en temas sobre buenas prácticas de separación de residuos en la fuente y cuidado del medio ambiente; 2) Reciclaje de 8.496 Ton de plástico; 3) Ampliación de la capacidad instalada en la planta de transformación de residuos plásticos en madera plástica; 4) Reincorporación de los materiales a la economía mediante la entrega de 48 ecoparques, quioscos ecológicos y 6000 ecomateras para los estudiantes capacitados y, 5) Replicabilidad para promover este tipo de proyectos demostrativos a nivel regional y nacional mediante un plan de comunicación y gestión del conocimiento. También incluye el diseño de una plataforma web educativa de acceso gratuito a la comunidad, llevando hasta el momento, un 50 % de ejecución del proyecto, capacitando de forma virtual a 5055 estudiantes y reduciendo 236.65 Ton de CO_2, datos que serán registrados en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero.

Palabras clave: disminución; gases efecto invernadero; plástico.

[1] Soluciones Ambientales de Nariño S.A.S., Colombia. Correo: gerencia@solamnar.com
[2] Soluciones Ambientales de Nariño S.A.S., Colombia. Correo: info@solamnar.com
[3] Soluciones Ambientales de Nariño S.A.S., Colombia. Correo: ing-ambiental@solamnar.com
[4] Soluciones Ambientales de Nariño S.A.S., Colombia. Correo: subdirección@solamnar.com
[5] Soluciones Ambientales de Nariño S.A.S., Colombia. Correo: marketing@solamnar.com

Reutilización de envases de politereftalato de etileno en fabricación de cubiertas tipo domo

Ángela Cristina Zúñiga Guali[1]
Jenny Paola Castillo Perdomo[2]

Resumen

Anualmente, cerca de ocho millones de toneladas de residuos plásticos terminan en los océanos, afectando las fuentes hídricas, lo cual se convierte en una problemática ambiental a nivel mundial. En busca de dar solución a esto, se ha realizado el diseño de una propuesta de cubierta tipo domo, para ser empleada en el secado de productos agrícolas, considerando los objetivos 6 (agua limpia y saneamiento), 9 (industria, innovación e infraestructura) y 11 (ciudades y comunidades sostenibles) de la Agenda 2030 sobre el desarrollo sostenible, aprobados por la Organización de las Naciones Unidas.

El proyecto se inicia con un proceso investigativo sobre reutilización de envases tipo PET; luego se desarrolla una fase experimental donde se realiza los prototipos de cubiertas tipo colonial y domo, se obtiene información del comportamiento físico y la forma en la cual pueden ser manipulados estos envases, con la finalidad de garantizar la mayor eficiencia en la construcción de las cubiertas y aprovechamiento del material. Finalmente, se llega a la fase de observación, donde el prototipo es expuesto a condiciones ambientales naturales en el municipio de Zipaquirá, Cundinamarca, para revisar el comportamiento de las botellas y las falencias que puedan presentar los diseños.

El resultado es un prototipo tipo domo donde se utilizó botellas de tres litros, por su mayor área útil. Al momento de realizar la instalación del material PET en la estructura, se procura que este no tenga abolladuras, las cuales generan protuberancias y complicaciones al fijarlas con grapas. En el tiempo de exposición, el prototipo no ha mostrado mayores variaciones en sus dimensiones, forma y color. De igual forma, se apreció que se debe reducir la distancia utilizada entre las grapas, a fin de evitar filtraciones.

Palabras clave: cubierta; diseño; envases PET; reciclaje.

[1] Corporación Universitaria Minuto de Dios, Colombia. Correo: azunigagual@uniminuto.edu.co
[2] Corporación Universitaria Minuto de Dios, Colombia. Correo: jcastillop6@uniminuto.edu.co

Estrategias para el manejo de los residuos sólidos orgánicos generados en la plaza de mercado de Yacuanquer, Nariño

Claudia Viviana Vargas Vallejos[1]
Camilo Andrés Melo Cisneros[2]
María Margarita Portilla Gonzales[3]

Resumen

En el casco urbano de Yacuanquer se genera, en promedio, 50 toneladas de residuos sólidos mensuales, dispuestos en el relleno sanitario de Antanas. Debido a esto, no existen alternativas para la reincorporación de los Residuos Sólidos Orgánicos generados en la plaza de mercado. El objetivo general fue diseñar una propuesta para la gestión integral de los residuos generados por la comercialización de productos agrícolas en la plaza de mercado de Yacuanquer, el cual se efectuó a través de tres objetivos: 1) realizando un diagnóstico en la zona de estudio, 2) recopilando cinco estrategias para el manejo de los residuos y, 3) formulando un manual para la implementación de las dos mejores alternativas.

Para efectuar este propósito se implementó una metodología donde se ejecutó dos caracterizaciones en la plaza, para conocer la producción diaria de los residuos. Adquiridos estos resultados, se recopiló distintas estrategias a través de información secundaria; seguidamente, se evaluó por medio de la metodología 'Matrices para tamizar ideas', con la cual se logró determinar objetivamente las alternativas más óptimas, considerando las condiciones sociales, económicas y ambientales del municipio.

Como resultado de esta investigación, se identificó que los residuos sólidos orgánicos generados en la plaza de mercado son mayores, en comparación con los residuos ordinarios aprovechables y no aprovechables, pues representan entre el 95 y el 91 % del total registrado en las dos caracterizaciones. Consecuentemente, se obtuvo cinco estrategias para aprovechar estos recursos; entre ellas: Compostaje, Lombricompostaje, Biodigestor, Ensilaje y Abono Bocashi. Finalmente, se elaboró un manual para la implementación de las dos mejores alternativas. En conclusión, se puede mencionar que los residuos sólidos orgánicos son los más generados en la plaza de mercado, siendo totalmente desaprovechados; en función de esto, se delimitó que las dos mejores opciones para su aprovechamiento son: el lombricompostaje y el compostaje de pila por volteo.

Palabras clave: residuos orgánicos, aprovechamiento, alternativas, gestión integral, plaza de mercado.

[1] Universidad Mariana, Colombia. Correo: clvargas@umariana.edu.co
[2] Universidad Mariana, Colombia. Correo: camimelo@umariana.edu.co
[3] Universidad Mariana, Colombia. Correo: maportilla@umariana.edu.co

La gestión de los residuos de construcción y demolición a nivel mundial: Un análisis comparativo

Sindy Sofía Suárez Silgado[1]
Lucrecia Calderón Valdiviezo[2]
Carolina Betancourt Quiroga[3]

Resumen

Los residuos provenientes de las actividades constructivas, denominados residuos de construcción y demolición, son considerados, mayoritariamente, residuos inertes. No obstante, la problemática consiste en su gran volumen de generación y en su inadecuada gestión y disposición, que ocasiona grandes impactos medioambientales, como: aporte de material particulado a la atmósfera, contaminación y colmatación de fuentes hídricas, afectación de la cobertura vegetal existente y de la calidad del paisaje urbano, disminución de la vida útil de vertederos y, sumado a esto, las bajas tasas de reciclaje de los mismos.

De acuerdo con lo anterior, la gestión de estos residuos se constituye en una temática de interés y preocupación mundial. De ahí la pretensión de llevar a cabo un estudio del estado del arte de la gestión ambiental actual al respecto, estableciendo comparaciones entre los países desarrollados y los países en desarrollo.

Los tipos de investigación cuantitativa empleados en este estudio fueron: descriptivo y *ex post facto*, que permitieron establecer relaciones de causa y efecto. Se realizó una revisión bibliográfica en revistas indexadas y bases de datos electrónicas, mediante la estrategia de búsqueda y criterios de selección.

Los resultados obtenidos llevan a concluir que, las mayores diferencias entre los países desarrollados y los países en desarrollo, están en: la legislación, control de la misma, la infraestructura de gestión, el porcentaje de reciclaje, los instrumentos de gestión, los incentivos, las barreras o limitantes en la gestión y, los diferentes niveles de conciencia medioambiental en sus habitantes.

Palabras clave: construcción; gestión ambiental; residuos de construcción y demolición.

[1] Universidad Antonio Nariño, Colombia. Correo: sindysofia@uan.edu.co
[2] Universidad Politécnica de Cataluña. Correo: lucrecia.calderon@upc.edu
[3] Universidad Antonio Nariño, Colombia. Correo: carolina.betancourt@uan.edu.co

Aportes, desafíos y oportunidades de investigaciones sobre basura marina en el territorio colombiano: una revisión

Javier Andrés Esteban Muñoz[1]

Dora Luz Gómez Aguilar[2]

Resumen

La presente ponencia busca socializar los resultados de una investigación cuyos objetivos y preguntas orientadoras giraron alrededor de analizar y describir la tendencia investigativa sobre la producción y divulgación de artículos científicos en el periodo 2000 - 2021 respecto al tema de 'basura marina' en el territorio colombiano, tomando como referencia, las bases de datos SCOPUS y Web of Science, para observar en qué lugares de Colombia y situaciones han estado centrados los mismos. Finalmente, especificar los aportes, desafíos, vacíos e investigaciones planteadas en los manuscritos.

El paradigma investigativo fue cualitativo, con alcance exploratorio-descriptivo. En cuanto al diseño metodológico, primero, se revisó artículos en dichas bases de datos en el periodo seleccionado, empleando palabras claves o tesauros en español e inglés; segundo, se realizó la lectura del título, resumen y palabras claves y, se eligió aquellas divulgaciones relacionadas con el objeto de estudio mencionado; tercero, se hizo un mapeamiento bibliométrico y análisis de contenido, apoyados en los softwares Vosviewer 1.7 y NVivo 12 Plus.

Acerca de los resultados, se revisó y seleccionó 21 artículos, desde 2015 hasta la actualidad; en ellos se menciona las zonas colombianas investigadas, resultados, desafíos, oportunidades, vacíos investigativos, en términos de la formulación de políticas ambientales, gestión y manejo de residuos sólidos en las playas del caribe colombiano, protección de áreas marinas, entre otros. Finalmente, se concluye que hay muy poca investigación alrededor del tema, como sostienen algunos autores. Este levantamiento de información se podría tomar como iniciativa para futuras líneas o proyectos de investigación. El tema de 'basura marina' en Colombia, en términos de manejo y gestión ambiental, formulación de políticas y regulaciones ambientales, educación ambiental, es un campo que se está abriendo paulatinamente

Palabras clave: bases de datos; basura marina; Colombia; investigaciones; revisión.

[1] Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá D.C., Colombia. Correo: jaestebanm@upn.edu.co

[2] Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá D.C., Colombia. Correo: dgomez@pedagogica.edu.co

Manejo de integrado de residuos orgánicos urbanos en instituciones públicas, orientado a la producción de energía y autogeneración eléctrica

Andrea Tamayo Londoño[1]
Laura Osorno Bedoya[2]

Resumen

La fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos en Latinoamérica es gestionada con un enfoque sanitario, para minimizar olores, vectores y efectos sobre la salud pública, como premisa. Esta biomasa residual es energía química que puede ser aprovechada usando métodos químicos, físicos o biológicos; dentro de estos últimos, la digestión anaerobia es una solución de doble eco, que reduce impactos ambientales y genera un subproducto con alto valor.

La fracción orgánica, luego de ser triturada, cuenta con un potencial energético de 184 L CH4/ Kg demanda química de oxígeno día, identificado por medio de una prueba del potencial bioquímico de metano. Posteriormente, se evaluó este potencial en un sistema a escala de banco conformado por un reactor de hidrolisis y uno metanogénico tipo UASB. El primero fue cargado con 50 kg de fracción orgánica triturada, obteniendo 5.9 L de hidrolizado con un pH entre 3.8 y 4.7, una demanda química de oxígeno total de 72.833 mg/L, una soluble de 15.800 mg/L en el día 5 de operación, una total de 115.700 g/L y, una soluble de 73.600 mg/L en el día 30, evidenciando una solubilización de la materia orgánica y, por lo tanto, mayor disponibilidad para su conversión a metano. El hidrolizado fue alimentado al reactor metanogénico, en fase de arranque. Paralelamente, con base en el potencial de metano identificado, se adelanta el diseño y construcción de un Motor Stirling para identificar el potencial eléctrico disponible por cada kg de residuo.

El objetivo es determinar las condiciones operacionales para obtener el mayor rendimiento de metano en un sistema de digestión anaerobia multietapa en el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, generada en instituciones públicas, como alternativa de manejo integrado para la producción de energía y autogeneración eléctrica.

Palabras clave: digestión anaerobia; reactor de hidrolisis; fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos; potencial bioquímico metanogénico; reactor UASB.

[1] Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia. Correo: andrea.tamayo@colmayor.edu.co
[2] Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia. Correo: laura.osorno@colmayor.edu.co

Distribución, análisis y georreferenciación de actores sobre envases, empaques y embalajes bajo la luz de la Resolución 1407 de 2018

Julieth Dayana Beltrán Vargas[1]
Natalia Melo Fuentes[2]
Liseth Dayana Piñeros Peña[3]

Resumen

Este proyecto busca documentar y analizar la distribución de los actores generadores, gestores y transformadores de envases y empaques, bajo la luz de la Resolución 1407 de 2018 y su modificatoria en el marco nacional. La metodología se centra en tres fases: con la primera, la actual, se busca el levantamiento de la información a través de una encuesta; con la segunda, desarrollada simultáneamente, se pretende obtener nuevas fuentes de información con métodos alternativos, como grupos focales, a partir de acercamientos con asociaciones o gremios que pertenecen a la población objeto del proyecto. La tercera y última fase, se centra en la georreferenciación de los actores a escala nacional, haciendo uso de los Sistemas de Información Geográfica y el análisis técnico y estadístico de las variables de interés.

Como resultado, la encuesta se difundió a los diferentes actores y se identificó una participación más activa de los gestores, en comparación a los demás actores. Actualmente, la encuesta está en proceso de diligenciamiento por parte de la población objeto; sin embargo, es posible encontrar una tendencia respecto a la ubicación geográfica, principalmente en la zona andina.

En conclusión, hasta la fecha se ha podido establecer que, en la gestión y transformación de residuos de envases y empaques, ha habido dificultades relacionadas con la falta de recursos, tecnología y garantías de mercadeo; de igual modo, se ha evidenciado un bajo flujo en la recolección de información, debido a la poca participación de las empresas, gremios y/o asociaciones, lo que ha generado el planteamiento de nuevos mecanismos de difusión. Considerando los tipos de materiales de envases y empaques contenidos en la Resolución base, es posible establecer que el plástico y el cartón son los de mayor uso en la actualidad.

Palabras clave: generador; gestor; transformador; posconsumo; Resolución 1407.

[1] Universidad de La Salle, Colombia. Correo: jbeltran44@unisalle.edu.co
[2] Universidad de La Salle, Colombia. Correo: nmelo59@unisalle.edu.co
[3] Universidad de La Salle, Colombia. Correo: lpeneros14@unisalle.edu.co

Problemas en vertimientos a causa de detergentes de la central de esterilización

Sara Juliana Jaramillo Arvilla[1]
Natali Lorena Mena Guerrero[2]

Resumen

Los hospitales y centros médicos son una fuente importante de efluentes, con desechos peligrosos e infecciosos para el medio ambiente. Generalmente, los flujos de los desechos son clasificados en tres clases: desechos municipales, compuestos de materiales no peligrosos, como los de la cocina y reciclables, como el papel, cartón y plásticos; desechos médicos, que incluyen los peligrosos e infecciosos, como los anatomopatológicos, los de cirugía y, materiales como agujas, vasos rotos, desechos líquidos, incluidos los farmacéuticos, químicos y biológicos de laboratorios y, desechos radioactivos.

El objetivo de esta investigación fue, identificar la carga orgánica que aportan los desechos líquidos de la central de esterilización en el Centro Médico Imbanaco en la ciudad de Cali, Valle del Cauca, ya que esto causa complicaciones en los vertimientos, los cuales se rigen por la Resolución 631 de 2015. Los insumos utilizados en esta zona son detergentes enzimáticos que cuentan con una alta carga contaminante por su composición, dado que esta mezcla contiene residuos líquidos anatomopatológicos, incrementando espontáneamente, su carga contaminante. Para cuantificar la carga que estos insumos aportan, se tomó muestras de distintos detergentes de la central de esterilización, como Cidezyme, Cidezyme extra, Cidex Opa y Endozime, usados para higienizar distintos equipos del centro médico.

Aparte de medir carga orgánica se midió otros parámetros como el potencial de oxidación y reducción, porcentaje y concentración de oxígeno disuelto, pH y conductividad, con una sonda multiparamétrica. Como resultado, se evidencia que los detergentes enzimáticos utilizados en la central de esterilización aportan una carga extremadamente alta a los vertimientos del centro médico Imbanaco.

Palabras clave: carga orgánica; contaminación; desechos; detergentes enzimáticos y vertimientos.

[1] Universidad de Pamplona, Universidad del Valle, Colombia. Correo: sara.jaramillo22@unipamplona.edu.co
[2] Universidad de Pamplona, Universidad del Valle, Colombia. Correo: natali.mena@correounivalle.edu.co

Normas ISO 14001, Versión 1996, 2004, 2015 y la importancia de su implementación en empresas de Colombia

María Margarita Portilla González[1]
Cristian David Muñoz Rosero[2]
Narly Milady Rosero Solarte[3]

Resumen

La importancia de conseguir una certificación ISO radica en que sirve a aquellas organizaciones interesadas en conseguir y demostrar una actuación medioambiental correcta. La certificación ISO 14001 en sistemas de gestión ambiental es bien conocida por los sectores de negocios, quienes buscan una mejora continua en que su empresa controle y reduzca su impacto en el medio ambiente. El objetivo principal de la investigación fue realizar un análisis comparativo de la familia de las normas ISO 14001 1996, 2004, 2015, para la certificación de empresas en Colombia.

La metodología empleada para la ejecución de los objetivos consistió en una recopilación de información y búsqueda detallada de literatura científica relevante, en idioma inglés o español, utilizando bases de datos y buscadores digitales como: ScienceDirect, Scielo, Google Académico, ResearchGate, Normas ICONTEC, Sistema de Gestión Ambiental y la parte empresarial. Como resultados, se pudo identificar los diferentes cambios que ha tenido la norma a lo largo de los años; del mismo modo, las empresas certificadas con la Norma ISO 14001 versión 2015, evidenciaron los beneficios que está les otorga.

Como conclusión general, se puede señalar el papel que desempeñan las normas ISO 14001 y, la gran importancia en cuanto a las diferentes organizaciones que han decidido implementarla, dado que les ayuda a responder correctamente ante los retos de la sostenibilidad, así como también, garantizar la obtención de múltiples beneficios; no ayuda únicamente a ahorrar capital en la eficiencia de los recursos, sino que además, reduce los residuos generados y permite cumplir con las licitaciones públicas y con la normativa ambiental vigente.

Palabras clave: Norma ISO 14001; normativa; organización; Sistema de Gestión Ambiental; impacto ambiental.

[1] Universidad Mariana, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Ambiental, Colombia. Correo: maportilla@umariana.edu.co

[2] Universidad Mariana, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Ambiental, Colombia. Correo: cristmunoz@umariana.edu.co

[3] Universidad Mariana, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Ambiental, Colombia. Correo: narrosero@umariana.edu.co

Evaluación de biopelículas obtenidas a partir del almidón de las semillas de aguacate (*Persea americana Mill*) y mango (*Mangifera Indica L*)

Jhoana Patricia Montenegro Cordoba[1]
Hugo Andrés Gomajoa Enríquez[2]
Leidy Johana Escobar Jiménez[3]
Ángela Daniela Malte Oliva[4]

Resumen

Actualmente, a nivel mundial se genera residuos sólidos orgánicos en grandes cantidades, debido al crecimiento poblacional e industrial, sin dar, en muchas oportunidades, un tratamiento adecuado, produciendo impacto ambiental y riesgos para la salud, como aspectos directos. La presente investigación se enfocó en la evaluación de un bioplástico obtenido de fuentes alternativas, como el almidón extraído de semillas de aguacate y mango, aprovechando así, estos residuos. Para ello, se realizó la caracterización de la materia prima y la extracción del almidón, a partir de estos materiales. Se obtuvo y caracterizó las biopelículas (espesor, humedad, solubilidad, densidad y permeabilidad al vapor de agua); se hizo ensayos mecánicos de resistencia y elongación, planteando un diseño experimental multifactorial. Las variables de respuesta fueron la resistencia (kPa) y la elongación (m). En cuanto a los resultados de las biopelículas obtenidas, se logró un rango de espesor entre 1.967mm y 0.337mm. En promedio, la humedad de las muestras fue de 45,8 %, solubilidad de 0.0016 g*mm/h*m^2*kPa, permeabilidad de 0.001693 y densidad, de 1.087 g/mL. Como valor máximo de resistencia, se alcanzó un valor de 0.681 kPa. Los valores de porcentaje de elongación estuvieron entre el 115,3 % y el 340 %.

Así entonces, se definió que las películas compuestas por 50 % de almidón de semillas de aguacate y 50 % de almidón de semillas de mango, dieron como resultado, características más sobresalientes en comparación a las muestras con porcentajes de composición diferente. Igualmente, los resultados de caracterización de las películas muestran que este biopolímero puede ser estudiado para un uso potencial como, por ejemplo, películas biopoliméricas para envases, cubrimiento de alimentos y otros productos.

***Palabras clave*:** mango; aguacate; biopelículas; biopolímeros; almidón.

[1] Universidad Mariana, Colombia. Correo: jmontenegro@umariana.edu.co
[2] Universidad Mariana, Colombia. Correo: hgomajoa@umariana.edu.co
[3] Universidad Mariana, Colombia. Correo: leidyescobar@umariana.edu.co
[4] Universidad Mariana, Colombia. Correo: amalte@umariana.edu.co

Alteración del río Suárez en el sector Boca Puente San Luis, por actividades antrópicas, vertido de las aguas residuales procedentes del municipio de Puente Nacional, Santander

Nelson Andrey Navas Gallo[1]
Ginna Isabel Monsalve Delgado[2]

Resumen

El río Suárez, considerado uno de los afluentes hídricos más importantes del departamento de Santander, presenta una problemática ambiental, como muchos otros cauces de Colombia: recibe aguas residuales, sin ningún tipo de tratamiento o, con un tratamiento nulo de diferentes municipalidades o urbanizaciones.

Este proyecto analiza los impactos ambientales que son generados en el sector Boca Puente San Luis, lugar donde recibe las aguas residuales del municipio de Puente Nacional. Para lograr esta valoración fue necesario desarrollar una línea base ambiental de los diferentes medios (abiótico, biótico y social), a través de visitas de campo, realizando inventarios de flora y fauna proseguidos de un análisis de muestras de parámetros: físico, químicos y biológicos, de acuerdo con la normatividad y, una comparativa agua arriba y aguas abajo respecto al vertimiento municipal. Finalmente, se formuló estrategias ambientales para mitigar, minimizar y/o prevenir las alteraciones ambientales que son generadas sobre este recurso ambiental.

El método para la valoración de los impactos ambientales fue el de Leopold, con el cual se analizó cada una de las actividades que generan aguas residuales, ya sean de índole doméstica o no y, la afectación a cada uno de los recursos. Se observa que los resultados de las muestras superan significativamente los indicados por la norma, evidenciando la alteración significativa de este recurso hídrico.

Palabras clave: agua residual; fuente hídrica; impacto ambiental; vertimiento.

[1] Unidades Tecnológicas de Santander, Colombia. Correo: nnavas@correo.uts.edu.co
[2] Unidades Tecnológicas de Santander, Colombia. Correo: ginaisa29@gmail.com

Evaluación del ciclo de vida en la construcción civil: análisis comparativo de dos sistemas estructurales vs. costos constructivos

Víctor Javier Angulo Montaño[1]
Ruby Criollo Martínez[2]

Resumen

El objetivo de la investigación fue, realizar un análisis preliminar de los impactos ambientales potenciales generados por dos tipos de edificaciones: aporticadas en concreto reforzado y aporticadas metálicas, mediante la metodología de evaluación de ciclo de vida, con el propósito de identificar la alternativa de sistemas constructivos más eficientes y menos impactantes, desde el punto de vista de la sostenibilidad ambiental, frente a los costos de construcción.

Se trata de una investigación exploratoria que busca examinar o explorar un tema o problema poco estudiado o, que no ha sido abordado anteriormente. La metodología incluye las fases de: 1) Contextualización, que implica una revisión de la literatura disponible de los sistemas constructivos, estudio del funcionamiento del software IE4B de Athena y la determinación de criterios para seleccionar una localización análoga a la ciudad de Pasto, entre las disponibles en el software IE4B. 2) Diseño estructural de una edificación tipo de cinco pisos para uso residencial, con pórticos en concreto y pórticos metálicos y, cálculo de costos constructivos. 3) Estimación de los impactos ambientales producidos por cada sistema mediante el software IE4B de Athena. 4) Comparación: análisis comparativo entre los sistemas aporticados en concreto reforzado y aporticado metálico, desde el punto de vista de su impacto ambiental potencial y de los costos constructivos.

El proyecto se encuentra en la fase 3. Con los resultados, se podrá proponer una metodología ágil y de bajo costo, que permita seleccionar la alternativa de un sistema constructivo más eficiente y menos impactante, desde el punto de vista de la sostenibilidad ambiental y de costos económicos.

Palabras clave: análisis de ciclo de vida en la construcción civil; impactos ambientales de las edificaciones; construcción sostenible.

[1] Universidad de Nariño, Colombia. Correo: amvictor01@gmail.com
[2] Universidad de Nariño, Colombia. Correo: rubycriollo@udenar.edu.co

Gestión ambiental pública para el desarrollo de la acuicultura de pequeña y mediana escala de moluscos y algas en Chile

Christian Díaz Peralta[1]
Catterina Sobenes Vennekool[2]
Francisca Sandoval Martínez[3]
Carolina Moya Pérez[4]

Resumen

El crecimiento de la acuicultura marina en los últimos diez años ha posicionado a Chile como el primer exportador y segundo productor a nivel mundial, considerando la participación de acuicultores de pequeña y mediana escala.

El objetivo de este trabajo fue, establecer una guía de la gestión ambiental pública para el cultivo de algas o moluscos de pequeña y mediana escala en Chile. Metodológicamente, se revisó las normativas acuícola, ambiental y sanitaria, logrando establecer una ficha por especie. Se identificó los antecedentes generales establecidos en el Reglamento del Sistema de Evaluación Ambiental para los contenidos mínimos comunes y específicos de la Declaración de Impacto Ambiental, junto a los criterios técnicos requeridos, correspondientes a los permisos ambientales sectoriales y estudios ambientales.

Como resultados, se observó que, es el titular (pescador artesanal o pequeño productor) quien debe gestionar las normativas relacionadas con diez ministerios y sus correspondientes servicios públicos; además, debe proporcionar los antecedentes necesarios que permitan evaluar la alteración significativa a los sistemas de vida y costumbres de los grupos humanos protegidos (pueblos originarios). Para dar cumplimiento a las distintas fases de construcción, operación y abandono, se debe realizar nueve estudios que deben ser subcontratados a profesionales acreditados por los correspondientes servicios públicos y, en caso de construcción de obras, se suma siete especificaciones técnicas realizadas por profesionales especialistas.

[1] Universidad Católica de la Santísima Concepción. Centro de Investigación en Biodiversidad y Ambientes Sustentables (CIBAS), Chile. Correo: chdiaz@ucsc.cl
[2] Universidad Católica de la Santísima Concepción. Centro de Investigación en Biodiversidad y Ambientes Sustentables (CIBAS), Chile. Correo: csobenes@ucsc.cl
[3] Universidad Católica de la Santísima Concepción. Magíster en Medio Ambiente, Chile. Correo: francisca.sandoval@ucsc.cl
[4] Consultora Cabaltué, Concepción, Chile. Correo: cmoyape@gmail.com

En conclusión, la gestión ambiental pública mediante una Declaración de Impacto Ambiental orientada al cultivo de algas o moluscos, es un proceso técnico y normativo complejo que requiere de autorizaciones de diez ministerios, para el desarrollo de la actividad productiva; y, además, permite la acuicultura de pequeña y mediana escala en áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos y en concesiones para la acuicultura en Chile.

Palabras clave: gestión ambiental; acuicultura de pequeña escala; impacto ambiental.

Diagnóstico ambiental sobre aspectos e impactos generados durante el beneficio del café especial

Yicenia Marcela García[1]
Paula Julissa Calderón[2]
Luis Alexander Carvajal Pinilla[3]

Resumen

En el proceso del beneficio del café se altera sensiblemente el entorno ambiental, afectando agua, suelo, biodiversidad circundante y calidad del café. El objetivo de este estudio es diagnosticar aspectos e impactos ambientales del beneficio de café especial del municipio de Santamaría, Huila. Mediante recorridos en cafetales, se diligenció listas de componentes ecosistémicos, identificación de aspectos e impactos ambientales, generación de matriz ambiental y diagnóstico de residuos. En 30 unidades productivas cafeteras se registró, i) distribución de naranjos, mandarinos, limones, guamas, aguacates, plátano y granadilla; ii) entre mamíferos abundan ardillas rojas, guaras y borugos; iii) entre las aves, pava negra y cardenal; iv) hay constante contaminación sobre el recurso hídrico debido al vertimiento directo de aguas residuales y acumulación puntual de cascarilla, producto del despulpado de café; v) conectividad de fragmentos de bosque andino mediante corredores ecológicos en el paisaje cafetero. La comunidad se beneficia de bienes y servicios ambientales como agua para consumo humano, leña para cocinar y purificación del aire; vi) se identificó nueve impactos negativos, entre ellos, cinco severos: contaminación de aguas superficiales y subterráneas, cambios en uso del agua, alteración de la calidad del agua, aumento de carga de sedimentos en cuerpos de aguas y, afectación a especies; cuatro moderados: destrucción del ecosistema lótico, generación de malos olores, pérdida de paisaje y cobertura vegetal; entre los tres impactos positivos: aumento de fauna, generación de empleo y alteración en calidad de vida de caficultores; vii) generación de residuos como pulpa del café, aguas mieles y bolsas plásticas; también hay quemas agrícolas y de basura. Durante el proceso del beneficio de café varios componentes ambientales son alterados, principalmente el agua y suelo, por la inadecuada disposición de residuos, lo cual genera graves problemas de contaminación en los ecosistemas aledaños.

Palabras clave: afectaciones; agroecosistema; biodiversidad; caracterización; desequilibrio.

[1] Corporación Universitaria del Huila, Corhuila, Colombia. Correo: ym-garciap@corhuila.edu.co
[2] Corporación Universitaria del Huila - Corhuila, Colombia. Correo: pj-calderono@corhuila.edu.co
[3] Corporación Universitaria del Huila - Corhuila, Colombia. Correo: luis.carvajal@corhuila.edu.co

Estado ecoambiental de empresas de turismo de naturaleza, Paicol, Huila

Janitza Unifred Endo Reyes[1]
Luis Alexander Carvajal Pinilla[2]

Resumen

El turismo de naturaleza ofrece actividades recreativas, de educación ambiental e investigación científica, para ayudar a los turistas y residentes a tomar conciencia del desarrollo del territorio, con fines naturales, culturales y ambientales. También establece relaciones directas con las nuevas formas de turismo y el desarrollo regional de la comunidad.

El objetivo planteado es establecer un diagnóstico del componente ecoambiental en las empresas promotoras de turismo en el municipio de Paicol, al suroccidente del departamento de Huila. Inicialmente, se identificó los escenarios turísticos ideales para actividades de ecoaventura, así como las empresas que ofertan estos servicios. Se aplicó encuestas para caracterización de los emprendimientos turísticos y a los turistas, con el fin de conocer su experiencia.

Paicol presenta escenarios turísticos como senderismo, espeleología, balsismo y rápel, principalmente. Se detectó cuatro empresas que ofertan constantemente actividades ecoturísticas durante el año. De las encuestas se resalta que, los emprendimientos carecen de capacitaciones orientadas en el campo ambiental, en la inmersión de procesos de concientización ambiental en los recorridos que ofrecen; se requiere mayor articulación con el ente territorial, implementar planes de manejo ambiental y de plataformas digitales.

La percepción de los turistas fue principalmente satisfactoria, aunque es indispensable la sensibilización por parte de los operadores turísticos sobre el cuidado y conservación de los recursos naturales. Se concluye que, el componente ambiental en las empresas que ofertan servicios turísticos en Paicol es escaso y carecen de estrategias de educación ambiental en todas las fases del ciclo de la prestación del servicio.

Palabras clave: estrategias; emprendimientos; medio ambiente; sostenibilidad.

[1] Corporación Universitaria del Huila – Corhuila, Colombia. Correo: janitzaendo_20182@corhuila.edu.co
[2] Corporación Universitaria del Huila – Corhuila, Colombia. Correo: luis.carvajal@corhuila.edu.co

Condiciones de los hospitales verdes en Colombia

Luz Clarita Hidalgo Rodríguez[1]
Clara Elizabeth Rosero Moncayo[2]
María Margarita Portilla Gonzales[3]

Resumen

La Organización Mundial de la Salud ha estudiado en los últimos años, el impacto en el cambio climático que contribuye al sector salud, aunque aún no se lo conoce con precisión. En octubre de 2011, planteó la necesidad de disminuir el impacto ambiental en el sector salud a nivel mundial, con el fin de promover ambientes más saludables a través del desarrollo de la agenda de hospitales verdes y saludables, como lo indica la Organización de las Naciones Unidas.

El presente estudio tiene como finalidad, realizar un análisis de la implementación y evolución de hospitales verdes en Colombia, con la ayuda de una revisión bibliográfica a nivel nacional e internacional. La metodología implicó la identificación de documentos existentes sobre hospitales verdes en Colombia, la cual permitió recolectar, seleccionar y analizar la información obtenida.

El resultado del estudio manifestó que, en Colombia, para 2020, terminaron 167 hospitales inscritos en la red global de hospitales verdes y que, en la actualidad, cumplen principalmente con dos de los objetivos planteados.

En conclusión, un hospital verde exitoso en Colombia, es un lugar que promueve la salud, reduciendo continuamente su impacto ambiental y, que se encarga de fomentar la salud ambiental de la sociedad, la equidad sanitaria y una economía verde, aportando al mundo, una menor huella ecológica.

Palabras clave: salud; hospital verde; salud ambiental; huella ecológica.

[1] Universidad Mariana, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Ambiental, Colombia. Correo: luzhidalgo@umariana.edu.co
[2] Universidad Mariana, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Ambiental, Colombia. Correo: clararoser@umariana.edu.co
[3] Universidad Mariana, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Ambiental, Colombia. Correo: maportilla@umariana.edu.co

Manejo integral de acueducto de la vereda Mejía del municipio de Yacuanquer

Yuliana Alejandra Montilla
Rosa Hortencia Chamorro
Johana Alejandra Ortega
María Margarita Portilla

Resumen

La presente investigación tiene como fin, diseñar estrategias socioambientales, técnicas y financieras, para el manejo integral del acueducto de la vereda Mejía del municipio de Yacuanquer, Nariño, partiendo de un diagnóstico que permita definir y priorizar estrategias que lleven a un adecuado manejo del acueducto rural, mediante matrices de priorización. Para cumplir con los objetivos propuestos se realizó una visita de campo en la cual se hizo una revisión detallada de los componentes físicos (microcuenca abastecedora, bocatoma, tanques, conducción y redes de distribución) y, también, un diagnóstico técnico, económico, social y ambiental de las Juntas Administradoras de Acueductos. Una vez realizado el diagnóstico, se efectuó una revisión y análisis de información secundaria; para la selección de estrategias se aplicó la matriz DOFA y con este resultado se pudo deducir las necesidades, fortalezas, amenazas y oportunidades que cada componente presentaba en el acueducto rural. Mediante la matriz de priorización de problemas se pudo escoger y adaptar diferentes estrategias que favorecían los fallos que tanto las juntas como la infraestructura del acueducto presentaban, con el fin de contribuir al fortalecimiento de la gestión del acueducto rural y, así, mejorar la calidad del recurso hídrico. A partir del diagnóstico, se concluye que la calidad de agua del acueducto no es apta para consumo humano, ya que presenta falencias en cada uno de los componentes, identificando problemas de infraestructura, mantenimiento y, carencia de un sistema de tratamiento en el proceso de cloración del agua.

Palabras clave: acueductos rurales; agua potable; microcuenca; Junta Administradora de Acueductos.

Metodologías del Panel Intergubernamental del Cambio Climático para balances de gases de efecto invernadero a nivel de fincas

Amanda Silva Parra[1]
Dayra Y. García Ramírez[2]
Juan Camilo López Castro[3]

Resumen

El cambio climático es una problemática mundial que está generando cambios en la implementación de una agricultura climáticamente inteligente, para afrontar los desafíos en la conservación de los suelos, el agua, los cultivos y la atmósfera. El objetivo de la presente investigación fue proponer metodologías del Panel Intergubernamental del Cambio Climático, para aplicar a nivel de fincas y minimizar la huella de carbono en sistemas ganaderos de Cumaral, Meta, con la finalidad de establecer los sistemas de pasturas más amigables con el medio ambiente.

Los resultados muestran que las metodologías del Panel, que pueden ser adaptadas para la valoración de los cambios en las existencias de carbono en el suelo, con una proyección a 20 años como práctica mitigadora de gases de efecto invernadero, son: la utilización de valores por defecto, relacionados con factores de manejo de suelo como el uso del suelo, el tipo de labranza y, los niveles de incorporación de residuos, tanto para tierras de cultivo como para pastizales a nivel de detalle 1. Sin embargo, cuando se quiere realizar balances de los gases para fincas ganaderas, las metodologías del Panel más apropiadas, son las que permiten la generación de factores de emisión de gases propios, dependiendo de las condiciones de cada sistema, relacionados con el clima, suelo, manejo de las pasturas, animales, alimentación, etc., a nivel de detalle 2. En este sentido, estas metodologías serán herramientas útiles en las valoraciones ambientales a nivel de finca, para la huella de carbono en estos sistemas, lográndose identificar alternativas de manejos más sostenibles con el medio ambiente.

Palabras clave: huella de carbono; producción sostenible; medio ambiente.

[1] Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Semillero de Investigación Solum, Tropicus Ómicas, ISAF, Agricultura de Precisión, Universidad de los Llanos, Colombia. Correo: asilvap@unillanos.edu.co
[2] Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Semillero de Investigación Solum, Tropicus Ómicas, ISAF, Agricultura de Precisión, Universidad de los Llanos, Colombia. Correo: dgarcia@unillanos.edu.co
[3] Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Semillero de Investigación Solum, Tropicus Ómicas, ISAF, Agricultura de Precisión, Universidad de los Llanos, Colombia. Correo: juan.lopez.castro@unillanos.edu.co

Estrategias para la obtención del sello ambiental colombiano en la producción de artesanías con fibra de pindo en el Huila

Jorge Alfredo Ramos González[1]
Laura Catalina Rodríguez Montano[2]
Víctor Alfonso Ramírez Losada[3]

Resumen

El Sello Ambiental Colombiano es un ecoetiquetado que se obtiene de forma voluntaria, permitiendo a las empresas ofrecer bienes o servicios sostenibles, con enfoque hacia la preservación del ambiente. Para lograrlo se debe cumplir con ciertos requisitos establecidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

En Colombia, los artesanos que transforman la materia prima de caña flecha aún no se han vinculado con esta certificación, en comparación con otros sectores, situación que orientó la investigación por conocer las posibles prácticas de producción sostenible que permitan el cumplimiento de la Norma Técnica Colombiana - NTC 5714 en el municipio de Palermo, Huila, cumpliendo con las exigencias establecidas para el otorgamiento del sello.

El objetivo fue formular estrategias de producción sostenibles para el cumplimiento de los criterios ambientales para artesanías elaboradas en fibras de caña flecha. El proceso se desarrolló por fases; para la primera, se elaboró un diagnóstico ambiental a los artesanos registrados en la base de datos del departamento del Huila, a partir de entrevistas y una lista de chequeo, esenciales para conocer las prácticas u operaciones realizadas por ellos, desde el momento de la obtención de la materia prima hasta la elaboración de productos, como: sombreros, carteras, bolsos, correas y accesorios. En la segunda fase se propuso estrategias para la modificación de acciones inadecuadas, utilización de sustancias químicas con bajo riesgo ambiental, manejo y disposición de residuos líquidos y sólidos, así como encuentros continuos entre los artesanos, para compartir experiencias socioambientales significativas. Los resultados identificaron impactos ambientales significativos en el momento de la producción, en los procesos de tinturado y blanqueado, la necesidad de una divulgación de las técnicas ancestrales dentro de la productividad y, de reducción significativa de los efectos adversos del entorno en el municipio.

Palabras clave: eco-etiquetado; fibra de pindo; NTC-5714; sello ambiental colombiano.

[1] Corporación Universitaria del Huila, CORHUILA, Colombia. Correo: j-ramosg@corhuila.edu.co
[2] Corporación Universitaria del Huila – CORHUILA, Colombia. Correo: l-rodriguezm@corhuila.edu.co
[3] Corporación Universitaria del Huila – CORHUILA, Colombia. Correo: victor.ramirez@corhuila.edu.co

Estado del arte sobre la realidad virtual y su aplicación, para la conservación del páramo Paja Blanca en el departamento de Nariño

Keisy Eyiseth España Tuquerrez[1]
Yeimmy Andrea Herrera Granda[2]
Pablo José Pabón Santacruz[3]

Resumen

Los páramos son ecosistemas vitales para mantener los ciclos del recurso hídrico, a través de la retención de agua que realiza la vegetación existente. Aunque revisten gran importancia, sufren muchas alteraciones; un claro ejemplo es el páramo Paja Blanca, que cuenta con variadas especies de plantas y animales, pero es bastante intervenido, generando problemáticas significativas debidas a la falta de conciencia ambiental y conocimiento sobre su gran valor.

Las tecnologías de inmersión han sido usadas en múltiples áreas, incluyendo la educación, pero con pocas aplicaciones en la protección de los ecosistemas; por esta razón, esta investigación quiere identificar los criterios que permiten evaluar si la realidad virtual es una herramienta eficiente para la protección del páramo. Así, mediante una revisión sistemática del estado del arte sobre la relación que existe entre la realidad virtual en el campo educativo y sus posibles aportes en la conservación, se puede recopilar y sintetizar evidencia que dé soporte a una articulación entre la tecnología expuesta y la conservación de este páramo.

Dentro de los resultados parciales se tiene una exploración de las características del páramo Paja Blanca, encontrándose en él, los ríos Sapuyes y Boquerón, 36 corrientes que nacen de la zona alta del páramo y que alimentan las 13 microcuencas, vegetación como: helecho arbóreo-chaquilulo, amarillo, encino, mamíferos como: raposa, conejo silvestre, comadreja, zorro paramuno. En los aspectos de vulnerabilidad se ha observado que, la intervención por fenómenos asociados a extracción forestal y de flora endémica, introducción de especies vegetales foráneas, construcción de senderos, pastoreo, pisoteo y el cambio climático, presentan efectos adversos en los suelos de los páramos, en especial la parte biótica, afectando la edafofauna y la flora.

Palabras clave: realidad virtual; páramo; conservación.

[1] Universidad Mariana, Colombia. Correo: keespana@umariana.edu.co
[2] Universidad Mariana, Colombia. Correo: yeiherrera@umariana.edu.co
[3] Universidad Mariana, Colombia. Correo: ppabon@umariana.edu.co

Formulación del Plan de Gestión Ambiental para el Supermercado Metrópolis 21 en la ciudad de Pasto

Luz Nathalia Torres Martínez[1]
Verónica Fernanda Lara Benavides[2]
María Fernanda Terán Pepinosa[3]

Resumen

Con el presente trabajo de investigación se realizó la formulación del Plan de Gestión Ambiental para el Supermercado Metrópolis 21 en la ciudad de Pasto, con base en la Norma NTC - ISO 14001 versión 2015, utilizando la metodología proyectiva, con el propósito de reconocer los aspectos e impactos ambientales a través de un diagnóstico del estado ambiental actual del supermercado, por medio de una revisión ambiental inicial basada en la Guía Técnica Colombiana GTC 93 de 2007, que permite conocer los procesos y actividades desarrollados, utilizando métodos cualitativos como la inspección visual y, capacitación al personal; cuantitativos, como la aplicación de encuestas y su posterior análisis. En cuanto a los resultados de esta revisión, se identificó y evaluó la significancia de los aspectos e impactos ambientales asociados directa o indirectamente con las actividades en la sección de carnes, frutas y verduras, bodega y baterías sanitarias dentro de la organización. Respecto a los aspectos más relevantes, cabe mencionar: consumo de agua y energía y, generación de residuos sólidos. En lo concerniente a los impactos ambientales, se elaboró la matriz de Leopold, para obtener los resultados más significativos con nivel de importancia alta, haciendo referencia a: proliferación de vectores, contaminación hídrica y deterioro en la calidad del agua, provocando mínima afectación a la salud del personal; por lo tanto, estos impactos son esenciales para formular y, posteriormente, ejecutar el plan de gestión ambiental, con el fin de desarrollar programas y proyectos ambientales para mejorar la gestión ambiental del supermercado.

Palabras clave: Plan de Gestión Ambiental; Norma ISO 14001; aspecto ambiental; impacto ambiental.

[1] Universidad Mariana, Colombia. Correo: lntorres@umariana.edu.co
[2] Universidad Mariana, Colombia. Correo: vecastro@umariana.edu.co
[3] Universidad Mariana, Colombia. Correo: mteranp@umariana.edu.co

Turismo comunitario y sostenible: una reflexión desde el buen vivir en el municipio de La Unión, departamento de Nariño

Ruth Stella Zarama Benavides[1]

Resumen

El turismo comunitario es una alternativa a los modelos hegemónicos de desarrollo, que busca actividades económicas compatibles con la conservación y restauración de los recursos naturales, valoración del patrimonio, derechos socioculturales, interacción de las comunidades con sus visitantes y, potencialización de las identidades culturales campesinas.

El objetivo general fue, analizar la incidencia que el turismo tiene sobre el tejido comunitario. Los objetivos específicos, analizar el concepto de desarrollo, la evolución de las diferentes teorías de desarrollo y su incidencia en el turismo del sistema capitalista, analizar el turismo desde el desarrollo local, efectuar una síntesis de políticas, planes y programas del sector turístico en la zona de estudio y, elaborar un diagnóstico participativo con los grupos que manejan los escenarios y atractivos turísticos, desde características sociales, económicas, ambientales y culturales y, analizar los resultados obtenidos desde el contexto del buen vivir.

La investigación se estructuró en dos etapas: primera, se realizó la revisión de diferentes fuentes bibliográficas, lo que permitió analizar las teorías de desarrollo, la genealogía del turismo y sus diferentes enfoques, hasta la incidencia del turismo comunitario y sostenible en el desarrollo local, como alternativa al modelo neoliberal; segunda, se empleó la Investigación Acción Participativa, con la aplicación de herramientas participativas de recolección de información tomadas del Diagnóstico Rural Participativo.

Se concluye que, el turismo rural y comunitario en el que intervienen comunidades campesinas, está enmarcado dentro del modelo del Buen Vivir, existiendo una relación armónica entre la naturaleza y las actividades productivas que vienen ejecutando las comunidades, la generación de medios de vida colectivo y solidario, la construcción de equidad en las relaciones sociales, la sostenibilidad ambiental que impide la mercantilización de la naturaleza y así, la satisfacción de las necesidades básicas de hoy y de las generaciones futuras.

Palabras clave: turismo; buen vivir; comunidad; sostenibilidad.

[1] Universidad de Nariño, Universidad del Cauca, Colombia. Correo: zarama.zarama@udenar.edu.co - zarama.zarama@gmail.com

La actividad turística en el humedal Ramsar La Cocha: sus características y sus impactos

Alisse Estefanía López Ceballos[1]
María Elena Vallejo Eraso[2]
Germán Edmundo Narváez Bravo[3]

Resumen

En el corregimiento El Encano, al suroriente de San Juan de Pasto, en el departamento de Nariño, Colombia, hay un desarrollo espontáneo de la actividad turística, a pesar de presentar condiciones económicas y ambientales particulares, ya que está dentro del área declarada como humedal Ramsar en 2000, donde se encuentra el Santuario de Flora Isla de la Corota, zona forestal protectora de interés general, lo cual limita y condiciona las acciones a desarrollar en su interior, entre ellas, el turismo. El objetivo de esta investigación fue, caracterizar la actividad turística en la laguna de La Cocha y su área de influencia.

La metodología se basó en el levantamiento de información primaria mediante encuestas, entrevistas semiestructuradas y registros de puntos GPS para obtener: el inventario de la oferta turística básica (restaurantes o alojamientos) con capacidad de carga y tipo de servicio, el inventario de la oferta turística complementaria (tiendas, canchas deportivas, entre otros), el inventario de los recursos turísticos más representativos del área de estudio e, información de la demanda real o actual (personas que adquieren un servicio o producto turístico), concluyendo que, las veredas con desarrollo turístico son: El Puerto, Encano Centro, Santa Clara, Motilón y Casapamba, por su fácil acceso, corta distancia e infraestructura establecida, ocasionando un crecimiento constante de servicios turísticos.

La actividad turística se está extendiendo en las 14 veredas restantes, caracterizadas por tener un proceso turístico ligado a reservas prestadoras de servicios de alojamiento y alimentación con menor capacidad de carga. Si bien la oferta natural y paisajística del área es de gran importancia, muchas de las problemáticas ambientales asociadas al turismo se basan en el cultivo de la trucha, los gases producidos por los motores de las lanchas y vertimiento de aguas residuales, lo cual se acentúa con el incremento de infraestructura por la creciente demanda turística, creando un conflicto con el uso de suelos, en particular los que son de protección.

Palabras clave: actividad turística; oferta turística; demanda turística; problemáticas ambientales.

[1] Universidad de Nariño, Grupo de Investigación en Geografía Física y Problemas Ambientales – TERRA, Colombia. Correo: alisselpc@gmail.com
[2] Universidad de Nariño, Grupo de Investigación en Geografía Física y Problemas Ambientales – TERRA, Colombia. Correo: vallejoersomariaelena@gmail.com
[3] Universidad de Nariño, Grupo de Investigación en Geografía Física y Problemas Ambientales – TERRA, Colombia. Correo: genarvaezbravo@gmail.com

Educación ambiental en la Universidad Mariana desde la evaluación de la gestión ambiental

Luz Nathalia Torres[1]
Sandra Milena Madroñero[2]
Carlos Eduardo Guevara Fletcher[3]

Resumen

Aunque la política ambiental de la Universidad Mariana contempla un eje muy fuerte de Educación Ambiental, se logró identificar varios problemas ambientales en los componentes: Agua, Energía y Residuos sólidos; asimismo, a partir del diálogo con quienes constituyen la universidad (docentes, estudiantes y administrativos), se reconoció la realidad ambiental del campus central, dejando al descubierto la urgente necesidad de plantear acciones concretas para la concientización de la comunidad universitaria y, abordar la problemática desde una nueva mirada sistémica para asumir conceptos y actitudes nuevas que favorezcan la gestión ambiental universitaria.

Por otro lado, es imperante reconocer que la acreditación en alta calidad de la institución debe ir de la mano con la gestión ambiental, ya que la calidad no solo se mide desde los procesos académicos propios de la universidad, sino también desde aquellos que propendan el cuidado del ambiente. Además, la formación integral de los profesionales compromete la educación desde el desarrollo sostenible, teniendo en cuenta que la Ley 30 de Educación Superior hace referencia al objetivo de preservar un medio ambiente sano y fomentar la educación y cultura ecológica.

Palabras clave: agua; energía; residuos sólidos; gestión ambiental.

[1] Docente Universidad Mariana, Colombia. Correo: lntorres@umariana.edu.co
[2] Docente Universidad Mariana, Colombia. Correo: smadronero@umariana.edu.co
[3] Magíster en Educación Ambiental y Desarrollo sostenible, Universidad Santiago de Cali, Colombia. Correo: carlos.guevara04@usc.edu.co

Análisis de aspectos jurídico-ambientales de los proyectos turísticos especiales de gran escala en Colombia

Beatriz Elena Ortiz Gutiérrez[1]
Lizeth del Carmen Molina Acosta[2]

Resumen

El turismo es un sector con potencial para el desarrollo de Colombia dadas las virtudes del territorio y su biodiversidad, permitiéndole posicionarse como destino turístico bajo un referente internacional y propiciando la viabilidad de proyectos turísticos que, por sus características y atractivos naturales, ocasiona diferentes impactos ambientales porque utiliza, aprovecha y, en ocasiones, sobreexplota los recursos naturales del país.

Si bien los proyectos turísticos contribuyen al desarrollo social, urbano y sostenible, hay carencia de criterios precisos, especialmente en el componente ambiental, que contemplen acciones de evaluación, control y seguimiento ambiental, pues no se define con precisión los mecanismos, criterios e instrumentos ambientales a exigir y seguir, fuera de los convencionales, evidenciando que su enfoque de desarrollo está centrado en el componente socioeconómico.

El objetivo de este trabajo fue discutir los retos para la evaluación ambiental de los proyectos turísticos, mediante el desarrollo de tres fases: 1) Se tomó como referencia, tres proyectos turísticos existentes en el país, identificando sus características en cuanto a capacidad de carga, servicios prestados, área o extensión y otros. 2) Se identificó los requerimientos ambientales exigibles en la actualidad para el funcionamiento de los proyectos estudiados, basados en el uso de los recursos naturales. 3) A partir de una revisión y análisis del marco normativo ambiental, se identificó los retos para la evaluación ambiental, desde una perspectiva técnica, jurídica y administrativa.

Se encontró que, aunque los servicios ofrecidos por los proyectos turísticos estudiados son similares, sus impactos varían, considerando factores como el ecosistema donde se instauran las infraestructuras en operación, los recursos naturales, su facilidad de aprovechamiento respecto a la ubicación, las comunidades cercanas y el desarrollo de la región, por lo que se sugiere la exigencia de instrumentos ambientales ajustados a cada particularidad.

[1] Universidad de La Salle, Colombia. Correo: beortiz@unisalle.edu.co
[2] Universidad de La Salle, Colombia. Correo: ldcmolina@unisalle.edu.co

Por otro lado, el recurso de mayor demanda para la operación de los parques es el hídrico, pues, al estar ubicados sobre suelo rural, requieren de cuerpos de agua cercanos que les permitan suplir la necesidad hídrica; por esta razón, la concesión de aguas superficiales y/o subterráneas, es el trámite más solicitado ante cada una de las ambientales existentes en la jurisdicción.

Los retos identificados se refieren a la urgente necesidad de definir los instrumentos para la evaluación y manejo ambiental de los impactos ambientales que ocasionarán los proyectos y, la definición de las competencias en el seguimiento por parte de las autoridades respectivas, ya que desde el marco normativo para la reglamentación sobre licencias ambientales, se determina que no requieren del otorgamiento de una para su posterior ejecución y, hasta el presente año, este instrumento no es exigible para los proyectos turísticos. Por ende, se necesita identificar con más detalle, lineamentos ambientales acordes a ese tipo de proyectos.

Palabras clave: proyectos turísticos especiales; turismo sostenible; evaluación ambiental; medio ambiente.

Estado de conservación de la biodiversidad en la cuenca binacional de los ríos Mira – Mataje, relacionado con cobertura de la tierra

Natalia Portilla Bolaños[1]
Yanira Erazo Montenegro[2]
Germán Narváez Bravo[3]
Carla Valdospinos[4]
Pool Segarra[5]

Resumen

La cuenca Mira - Mataje se localiza al suroccidente de Colombia, en el departamento de Nariño; es una región que se extiende hasta el norte del Ecuador y tiene una superficie aproximada de 1.078.200 ha (10.782 Km^2). Este territorio tiene una gran importancia ecosistémica; sin embargo, es muy vulnerable a la intervención antrópica que, a su vez, se encuentra relacionada con los conflictos sociales que se presentan en el área. Por tanto, es esencial realizar investigaciones centradas en detallar el estado del arte de la zona.

Así, el objetivo principal se encamina a analizar la relación de la cobertura de la tierra, con la cantidad de especies de flora y fauna localizadas en la zona. Para lograrlo, la metodología se enfoca en la recolección de información secundaria, como cartografía y bases de datos, al igual que, la estandarización de la metodología *Corine Land Cover* para la cobertura de la tierra en Ecuador y Colombia para el año 2019, seguida del cruce de las bases de datos que contienen las especies de flora y fauna de la cuenca. De esta manera, con la realización de este tipo de cartografía temática, se pretende realizar el análisis correspondiente. Por ende, se contabiliza las especies presentes en cada una de las coberturas de la tierra, para poder definir la riqueza de flora y fauna de aquel territorio y así, poder inferir que algunas de las especies han desaparecido del área.

Palabras clave: conservación; Corine Land Cover; cobertura de la tierra.

[1] Instituto de Investigaciones del Pacífico (IIAP) TERRA – UDENAR, Colombia. Correo: natimelina@gmail.com
[2] Instituto de Investigaciones del Pacífico (IIAP) TERRA – UDENAR, Colombia. Correo: yaniraerazom@gmail.com
[3] TERRA – UDENAR, Colombia. Correo: genarvaezbravo@gmail.com
[4] Instituto Nacional de Biodiversidad (INABIO) – Ecuador. Correo: carla.valdospinos@gmail.com
[5] Instituto Nacional de Biodiversidad (INABIO) – Ecuador. Correo: megacubo@hotmail.com

Determinación de áreas potenciales para el establecimiento de Bancos de Hábitat, como mecanismo de compensaciones ambientales en la provincial oriente del departamento de Cundinamarca, jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de la Orinoquía (Corporinoquia)

Yolanda Suárez Cardozo[1]
Rosa Catalina Hernández Gómez[2]
Henry Alberto Contreras Jaramillo[3]

Resumen

Los Bancos de Hábitat son áreas donde se implementan acciones de preservación, mejoramiento o restauración de ecosistemas, desarrolladas como un mecanismo para el efectivo cumplimiento de las compensaciones ambientales de aquellos impactos que son producidos sobre la biodiversidad, como consecuencia del desarrollo de proyectos que intervienen negativamente sobre los territorios. Actualmente, en el país existe la obligación, a cargo de los dueños de proyectos, de realizar compensaciones por los impactos no mitigables que se genera a los ecosistemas, según el Manual de Compensaciones del Componente Biótico.

Esta investigación tuvo como propósito, determinar áreas potenciales para el establecimiento de bancos de hábitat en la provincia oriente de Cundinamarca, lo que contribuye a la toma de decisiones para obras, proyectos o actividades que requieran efectuar compensaciones como parte del proceso de licenciamiento ambiental en ecosistemas equivalentes a los de la zona objeto de estudio.

El proyecto se constituyó en tres fases: 1) Caracterización de la zona objeto de estudio donde se identificaron variables de importancia para bancos de hábitat asociados al componente biótico, abiótico y socioeconómico; 2) A partir de una revisión de experiencias en el contexto nacional e internacional, fueron definidos

[1] Universidad ECCI, HC Asesorías, Colombia. Correo: yolanda.suarezc@ecci.edu.co
[2] Universidad ECCI, HC Asesorías, Colombia. Correo: rhernandezg@ecci.edu.co
[3] Universidad ECCI, HC Asesorías, Colombia. Correo: hcasesorias.gerencia@gmail.com

y operacionalizados los criterios necesarios para establecer áreas potenciales; 3) Desde la espacialización de los criterios se determinaron las áreas potenciales para la instalación de este mecanismo de compensaciones.

A partir de la ruta metodológica propuesta se plantearon cuatro categorías de potencialidad: Baja, Media, Alta y Muy Alta, donde la categoría más representativa fue la de Potencial alto, ocupando aproximadamente un 53,7 % de la extensión total de la zona objeto de estudio, seguida de Potencial medio con un 39,5 %, Potencial muy alto con un 6,6 % y Potencial bajo con apenas un 0,1 % respectivamente.

Palabras clave: bancos de hábitat; compensaciones ambientales; licenciamiento ambiental; biodiversidad.

Beneficios de los humedales urbanos para ciudadanos de la región del Biobío, Chile

Catterina Sobenes[1]
Yoseline Pedreros[2]
Christian Díaz[3]

Resumen

En 2020 se promulgó en Chile la Ley 21.202 con el objeto de proteger los humedales urbanos. Para diseñar medidas de gestión en torno a estos ecosistemas e identificar la aptitud social para el manejo resiliente futuro, el objetivo de esta investigación fue evaluar la percepción de las personas sobre el valor ambiental de humedales urbanos de la región del Biobío en Chile. Se diseñó una encuesta semiestructurada, aplicada entre agosto y octubre de 2020, para evaluar la percepción de los impactos, actividades y características de las personas que se relacionan con los humedales Paicaví-Tucapel (N=162), Los Batros (N=62) y Boca Maule (N=26), identificando que, reconocen que no participan en acciones de protección de estos ecosistemas y, que los humedales proveen servicios ecosistémicos como la regulación hídrica, calidad del aire, provisión de alimentos, paisaje y riqueza de flora y fauna. Los beneficios que identifican son: flora y fauna nativa, ecosistema protegido, naturaleza y vida, recreación, regulación de inundaciones, limpieza natural del agua, vida, paz, biodiversidad y naturaleza. Los no beneficios son: basural, delincuencia, mal olor, agua estancada, mosquitos y zancudos. Basados en los no beneficios y el diagnóstico del estado de cada humedal, se propone, mediante una gestión participativa, diseñar un plan que considere medidas de mitigación y reparación por residuos sólidos a través de un plan de gestión de residuos, mitigación de la pérdida de las características ecológicas, compensación de la pérdida de características mediante un plan de restauración de ecosistemas y reparación, acompañado con un programa de educación ambiental, recreación, esparcimiento y contemplación paisajística.

Palabras clave: mitigación; bienestar; educación ambiental.

[1] Universidad Católica de la Santísima Concepción. Centro de Investigación en Biodiversidad y Ambientes Sustentables (CIBAS), Chile. Correo: csobenes@ucsc.cl

[2] Universidad Católica de la Santísima Concepción. Magíster en Medio Ambiente, Chile.

[3] Universidad Católica de la Santísima Concepción, Centro de Investigación en Biodiversidad y Ambientes Sustentables (CIBAS), Chile. Correo: chdiaz@ucsc.cl

Ordenamiento territorial y Gestión de riesgo



La localización de áreas potenciales para disposición final de residuos sólidos en el ordenamiento territorial

Claudia Patricia Díaz López[1]

Resumen

Esta investigación está orientada a la identificación de áreas potenciales para la disposición final de residuos sólidos en el municipio de El Tambo, Nariño. Se aborda la problemática que actualmente tienen muchos de los municipios a la hora de actualizar su plan de ordenamiento territorial, dado que la normatividad colombiana les exige la inclusión de áreas para la disposición final de estos residuos dentro de cada municipio.

Se busca identificar las áreas potenciales para esta disposición final, bajo el cumplimiento de criterios planteados en el Decreto 0838 de 2005, de acuerdo con las determinantes ambientales que establecen unos criterios definidos. Estas determinantes retroalimentan las propuestas de ordenamiento territorial y facilitan al municipio el establecimiento de estrategias que permitan planificar correctamente el territorio. La metodología está basada en el uso de sistemas de información geográfica a través de un modelo espacial que facilitó el procesamiento de la información espacial definida por criterios técnicos, para determinar las áreas que se tuvo en cuenta, con una alta aptitud para la localización de un relleno sanitario.

De esta manera, la evaluación de las áreas potenciales se efectuó mediante el análisis espacial que permitió ponderar criterios según la favorabilidad de las mismas. Se encontró que, el municipio de El Tambo, sí cuenta con áreas potencialmente aptas para la implementación de un relleno sanitario, las cuales, a pesar de resultar alta y medianamente favorables para dicho fin, deben ser sometidas a procesos de evaluación que permitan su validación; así, los productos de esta investigación se convierten en un insumo más para el ordenamiento territorial del municipio.

Palabras clave: residuos sólidos; relleno sanitario; sistemas de información geográfica; determinantes ambientales; ordenamiento territorial.

[1] Universidad de Nariño, Colombia. Correo: diazclaudia201@gmail.com

Análisis multitemporal de coberturas vegetales y urbanística en los municipios de Suaza, Acevedo y Pitalito, departamento del Huila, periodo 1970-2018

Cristian Arley Góngora Andrade[1]

Resumen

Dado que, en los últimos años se ha dado un exponencial crecimiento urbano en la región del Huila, se estudió los municipios de Suaza, Acevedo y Pitalito, los cuales, al presentar un constante crecimiento urbanístico, requieren analizar las coberturas vegetales, que no están exentas de sufrir cambios en su prístina vegetación.

Actualmente, se cuenta con abundante información geográfica de la zona a estudiar. Los resultados, después de un proceso de fotointerpretación, serán útiles para realizar estudios de evaluación de impacto ambiental, debido a que se logra caracterizar la evolución que han tenido los ecosistemas, en términos de coberturas.

El objetivo principal es realizar un análisis multitemporal de las coberturas vegetales y urbanísticas de estos municipios, para lo cual se abordó imágenes cartográficas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Palabras clave: análisis multitemporal; cobertura urbanística; cobertura vegetal; rondas hídricas.

[1] Corporación Universitaria del Huila – CORHUILA, Colombia. Correo: c-gongoraa@corhuila.edu.co



Lineamientos para una zonificación ambiental territorial de áreas urbanas y su interfaz urbana-rural

Amelia Scognamillo[1]
Alción Alonso Frank[2]
Mariana Galdeano Ruiz[3]
M. Valentina Soria[4]

Resumen

Las ciudades pueden ser fuente de soluciones a los problemas que enfrenta nuestro mundo, pero, también su causa. En este sentido, la planificación y gestión de los procesos de crecimiento urbano posibilitan el desarrollo sostenible de centros urbanos en expansión. En este marco, en la provincia de San Juan, Caucete es el departamento de mayor crecimiento urbano-poblacional fuera del área metropolitana, definido como capital alternativa. Es un municipio de primera categoría, que presenta deficiencias en la coordinación institucional para la gestión de usos del suelo. Su ordenanza municipal de ordenamiento territorial, concebida desde una mirada tradicional como un instrumento pasivo para establecer límites de referencia, se encuentra sin aplicación y, sujeta a la entrada en vigor de una ordenanza tributaria. Puesto que lo enunciado atenta contra la preservación de sus recursos ambientales y su desarrollo productivo, es prioritario desarrollar una propuesta de uso del suelo ambientalmente sustentable, acorde a las potencialidades y limitantes del territorio, como el análisis de riesgos y evaluación de vulnerabilidades socioambientales.

En esta línea, el presente trabajo persigue establecer lineamientos para el desarrollo de una zonificación ambiental territorial del área urbana y su interfaz urbana-rural, en la que se defina las áreas adecuadas para diversas actividades, conforme a su potencial de uso múltiple. Para su definición, se analiza la capacidad de uso, carga ambiental y condicionantes naturales del suelo, en pos de un equilibrio entre

[1] Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Universidad Nacional de San Juan, Argentina. Correo: arqame@gmail.com
[2] Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Universidad Nacional de San Juan, Argentina. Correo: afrank@faud.unsj.edu.ar
[3] Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Universidad Nacional de San Juan, Argentina. Correo: dimarianagaldeanodi@gmail.com
[4] Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Universidad Nacional de San Juan, Argentina. Correo: valentina@unsj.edu.ar.

las demandas de la sociedad y la oferta territorial existente. Se concluye que, los lineamientos propuestos constituyen un instrumento de gestión y planificación territorial que oriente la política de los organismos del municipio, garantizando la preservación de los recursos ambientales.

Palabras clave: ordenamiento territorial; usos de suelo; sustentabilidad urbana.

Soluciones para la estabilización de taludes mediante tecnologías basadas en la conservación del medio ambiente

Paula Alejandra Revelo Cabrera[1]
Jenny Lucía Huertas Delgado[2]

Resumen

La presente monografía hace una recopilación de información secundaria, mostrando sugerencias en la toma de decisiones frente a casos de deslizamientos de suelos en taludes de Colombia, específicamente en vías primarias, de suerte que se proporcione un equilibrio ambiental y socioeconómico. Se identifica posibles causas que generan inestabilidad de taludes y procesos de mitigación, con tecnologías más eficientes de remediación de suelos, como los materiales geosintéticos para reforzar los taludes.

Una de las causas de deslizamientos de suelos en Colombia se debe a características topográficas y condiciones climáticas variables que incrementan la susceptibilidad de la ocurrencia de estos fenómenos. La mayoría de deslizamientos en masa en Colombia se presenta en dominios de amenaza relativa Muy Alta I y II, correspondientes a la región occidental, que comprende casi toda la totalidad del departamento del Chocó y zonas costeras de los departamentos del Valle del Cauca, Cauca y Nariño.

Las técnicas de prevención o mitigación de deslizamientos de taludes se suelen agrupar de acuerdo con diferentes criterios, como la función que realizan y su método de ejecución, entre otros. Entre ellas están: Recubrimiento de las superficies; Conformación de talud o ladera; Control del agua subterránea y superficial; Estructuras de contención y, Mejoramiento del suelo.

Según información secundaria, la técnica de drenaje es una de las más efectivas dado que, el agua es el principal agente desencadenante de problemas de inestabilidad en taludes. Es importante conocer las características físicas del suelo para determinar las enmiendas que mejoren básicamente la estructura del suelo y permitan una mejor retención de agua y penetración de las raíces. De igual forma, es necesario preparar un suelo orgánico, antes de la implementación del manto.

Palabras clave: amenaza; vías primarias; taludes; deslizamiento; susceptibilidad.

[1] Universidad Mariana, Colombia. Correo: paurevelo@umariana.edu.co
[2] Universidad Mariana, Colombia. Correo: jlhuertas@umariana.edu.co

Relación entre la variabilidad climática con procesos de remoción en masa. Caso estudio Tunja-Páez (Colombia)

July Rojas[1]
Luis Carlos Leguizamón[2]

Resumen

El cambio climático es un fenómeno que ha involucrado una serie de eventos climáticos diversos, evidenciados en amplias variaciones en los rangos normales de temperatura y precipitación a escala global, causados por procesos naturales y antrópicos. Esta última fuente está representada por las emisiones al medio ambiente de gases efecto invernadero y, aunque Colombia no es un contribuyente significativo de estos gases, le afectan las variaciones climáticas que producen, alterando tanto la temperatura como la precipitación en los últimos años, afectando el ámbito económico, social y territorial, evidenciado en los diferentes deslizamientos presentados en el país, producto del incremento del régimen de lluvias.

Considerando estos eventos, la investigación se enfoca en analizar la influencia de variables climáticas y la actividad sísmica en la dinámica de los taludes que presentan fenómenos de remoción en masa en el tramo de estudio: vía Tunja-Páez.

Este análisis involucra la aplicación de un modelo determinístico para el cálculo del Factor de Seguridad, que integra parámetros de resistencia del suelo, precipitación acumulada, actividad sísmica y propiedades geológicas de la zona de estudio, mediante fundamentos de primer y segundo momento y, la distribución de Poisson, con el fin de estimar la probabilidad de falla del talud. Los resultados pueden ser simbolizados a través de sistemas de información geográfica que facilitan la representación de las variables consideradas en la investigación; así, se puede evidenciar que es posible la generación de movimientos en masa detonados por la lluvia acumulada de tres días y precedente de 15 días, como umbral de falla definido, ya que, al observar el comportamiento de la probabilidad de saturación, los valores de mayor probabilidad coinciden con los puntos críticos identificados en la inspección visual realizada en el corredor Tunja-Páez.

Palabras clave: variabilidad climática; remoción en masa; precipitación; actividad sísmica; infraestructura vial.

[1] Investigadora, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia. Correo: july.rojas@uptc.edu.co
[2] Profesor de planta, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Correo: luiscarlos.leguizamon@uptc.edu.co

Vulnerabilidad física y funcional de la vía Bogotá – Villavicencio PR 40+000 – PR 70+000

Mario Camilo Torres S.[1]
Harol León Zambrano Urbano[2]
José Darío Gavilanes[3]

Resumen

El enfoque clásico para el análisis de infraestructura vial pretende caracterizar las vías, solo siguiendo un enfoque desde el punto de vista físico. Esto ha permitido poder diferenciar zonas con mayor o menor susceptibilidad frente a diferentes tipos de amenazas, como: los procesos de remoción en masa, avalanchas, sismos, inundaciones, etc. No obstante, este enfoque dista, en muchos casos, de ser suficiente, si lo que se quiere evaluar es el funcionamiento de una vía que debe asegurar, como mínimo, dos condiciones: el paso constante de los vehículos y, la velocidad de operación de la vía.

El enfoque que se presenta y el cual fue utilizado para el análisis de la vulnerabilidad física y funcional de la vía Bogotá – Villavicencio en el tramo entre el PR 40 y el PR 70 pretende dar respuesta a estas dos condiciones, pues no solo se limita a la caracterización de la infraestructura vial en función de sus condiciones físicas, sino que las evalúa teniendo en cuenta la vulnerabilidad funcional y la operacional de la misma.

Palabras clave: infraestructura vial; riesgo; vulnerabilidad; sistemas de información geográfica; álgebra de mapas.

[1] ING. MSc. Dr. Experto en Geotecnia y riesgos. Vicerrector Académico. Facultad de Ingeniería, Universidad Gran Colombia, Colombia. Correo: mario.torres@ugc.edu.co
[2] ING. MSc. (c) . Experto en pavimentos. Profesor vinculado. Facultad de Ingeniería, Universidad Gran Colombia, Colombia. Correo: harol.zambrano@ugc.edu.co
[3] ING. MSc. Experto en Patología de la construcción. Profesor vinculado. Facultad de Ingeniería, Universidad Gran Colombia, Colombia. Correo: jose.gavilanes@ugc.edu.co

Caracterización de la incidencia que ha tenido la expansión urbana en los procesos de peri-urbanismo y conurbación en el corregimiento de Mocondino

Deicy Alejandra Tobar Eraso[1]
Kelly Yuliana Zambrano López[2]
Julián Alberto Rengifo Rengifo[3]

Resumen

El peri-urbanismo se considera un primer paso para desarrollar procesos de conurbación en las ciudades, originados como causa del crecimiento demográfico por la demanda de suelo urbanizable que genera la expansión de la ciudad. El área de estudio corresponde al corregimiento de Mocondino, cuya mayor parte es rural; se localiza al suroriente de la ciudad de San Juan de Pasto y pertenece al municipio de Pasto. Se puede evidenciar que el territorio ha sufrido diversas transformaciones, como el crecimiento demográfico, la fragmentación de límites, la pérdida de actividades productivas ante la expansión urbana desde el centro de la ciudad hacia la periferia, la especulación del negocio inmobiliario y la densificación urbana.

La expansión urbana de la ciudad de San Juan de Pasto ha incidido en los procesos de peri-urbanismo y conurbación en el corregimiento de Mocondino. Se ha planteado como objetivos específicos: identificar la evolución histórica de crecimiento y consolidación del corregimiento, establecer los cambios, causas y procesos que se presentan en el área de estudio y, establecer las distintas dinámicas que han influenciado la transformación e incorporación de nuevos desarrollos territoriales.

La investigación se basa en un enfoque analítico y descriptivo; su ejecución se realiza a través de fases que integran actividades y subactividades que varían en complejidad, desde la revisión de información secundaria, un trabajo de campo para la recopilación de información primaria y llegar a la interpretación y, análisis de toda la información obtenida, que se complementan entre sí, para dar respuesta a los objetivos y llevar a establecer la incidencia de la expansión urbana sobre los cambios presentados en el corregimiento.

Palabras clave: expansión urbana; peri-urbanismo; conurbación.

[1] Universidad de Nariño, Colombia. Correo: deisy240941@gmail.com
[2] Universidad de Nariño, Colombia. Correo: kellyzambrano@udenar.edu.co
[3] Universidad de Nariño, Colombia. Correo: jrengifo@udenar.edu.co

Evaluación de tres métodos de estimación de datos faltantes de precipitación mensual en el departamento de Nariño, Colombia

Sebastián Del Castillo Gómez[1]
Wilmar Alexander Torres[2]
Teresita Canchala Nastar[3]
Yesid Carvajal-Escobar[4]
Camilo Ocampo Marulanda[5]

Resumen

Las series históricas de datos hidrometeorológicos suelen presentar datos faltantes o erróneos, por falta de registros, problemas relacionados con instrumentos de medición y de orden público que interfieren en los registros, errores humanos, entre otros. Por ello, la importancia de garantizar su continuidad es fundamental para la toma de decisiones en diferentes ámbitos, desde el diseño y construcción de obras de ingeniería, gestión del riesgo, hasta la prevención ante fenómenos climatológicos que pueden ocasionar catástrofes, con la consecuente afectación de infraestructura y pérdidas de vidas humanas. Ante esto, surge la necesidad de contar con series continuas y confiables cercanas a los valores reales, que permitan mejorar la calidad y precisión de los estudios asociados a estos ámbitos.

Con la finalidad de mejorar la planificación y tomar decisiones acertadas en torno a la gestión del riesgo asociado a la variabilidad climática, se evaluó tres métodos de estimación de datos faltantes de precipitación mensual en 46 estaciones climatológicas del IDEAM, distribuidas en tres regiones naturales de Nariño durante el periodo: 1983-2019. Acorde a los resultados, el método que presentó mejor ajuste corresponde a Redes Neuronales Artificiales, obteniéndose en

[1] Estudiante de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Universidad del Valle, Cali, Colombia. Correo: juan.s.castillo@correunivalle.edu.co
[2] Estadista, Docente, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Cali, Colombia. Correo: wilmar.alexander.torres@correounivalle.edu.co
[3] Ingeniera Sanitaria, Docente, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Cali, Colombia. Correo: teresita.canchala@correounivalle.edu.co
[4] Ingeniero Agrícola, Docente, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Cali, Colombia. Correo: yesid.carvajal@correounivalle.edu.co
[5] Ingeniero Sanitario y Ambiental; Ingeniero Agrícola, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Cali, Colombia. Correo: camilo.ocampo@correounivalle.edu.co

general, errores más bajos respecto a los registrados por los otros dos métodos. En la región Pacífica, Andina y Amazónica, el método de Raíz del Error Cuadrático Medio promedio registrado correspondió a 6,18 mm, 10,15 mm y 5,65 mm, respectivamente. En conclusión, el método de Redes Neuronales Artificiales presentó mejores estimaciones entre los métodos evaluados, demostrando ser eficaz y, de gran utilidad en diversos escenarios que se traducen en impactos socioambientales y económicos en las zonas más vulnerables de Nariño.

Palabras clave: datos faltantes; métodos de estimación; precipitación; redes neuronales artificiales, departamento de Nariño.

Vulnerabilidad, condiciones socioeconómicas y percepción del riesgo frente a avenidas torrenciales en la zona urbana del municipio de San Bernardo, Nariño

Diana Cristina Andrade Santander
Fran Uriel Gaviria Lazo
German Narváez Bravo

Resumen

Dadas las condiciones socioeconómicas y la falta de conocimiento por parte de la comunidad sobre las características de la amenaza y la baja percepción del riesgo frente a las avenidas torrenciales, se ha considerado pertinente caracterizar la vulnerabilidad, por condiciones socioeconómicas y por percepción del riesgo asociada a las mismas, en la zona urbana del municipio de San Bernardo, localizado al nororiente del departamento de Nariño, cuya población ha llevado a cabo sus actividades cotidianas sobre un conjunto de terrazas de origen aluvial y un abanico fluvio torrencial, geoformas que constituyen depósitos generados por eventos torrenciales, producto de la inestabilidad en la parte alta de las microcuencas El Rollo y San Bernardo. Estas corrientes rodean y atraviesan el centro poblado, presentando una susceptibilidad entre alta y muy alta frente a la ocurrencia de flujos torrenciales, eventos anteriores que han generado impactos a la población e infraestructura del área urbana.

Cabe mencionar que esta investigación es de carácter descriptivo, por lo cual fue necesario identificar y caracterizar las condiciones socioeconómicas y estimar la percepción local del riesgo, tomando como referencia las 42 manzanas que conforman el área urbana de este municipio. Al interior de estas se ha levantado la información a través de encuestas aplicadas a una muestra en cada manzana. Se desarrolló tres fases metodológicas: una revisión documental sobre las condiciones socioeconómicas, seguida de un levantamiento y sistematización de información primaria y, finalmente, un procesamiento y análisis de las dos variables objeto de estudio. Para el análisis de las variables establecidas se adaptó una metodología que permitió caracterizar las condiciones socioeconómicas y la percepción local del riesgo a través de indicadores medidos por valores numéricos entre 0 y 1, determinando así el nivel de vulnerabilidad asociado a estas variables.

Palabras clave: vulnerabilidad; condiciones socioeconómicas; percepción local del riesgo; avenidas torrenciales.

Estimación de Socavación Local en Puentes – Caso de Estudio – Río San Pedro – Valle de Sibundoy

Dickson Arturo Burgos Bastidas[1]
Daniela Melissa Echeverría Ramírez[2]
Fredy Alejandro Galindo González[3]
Francisco Ricardo Mafla Chamorro[4]

Resumen

Esta investigación pretende estimar la profundidad de socavación local asociada a un periodo de retorno de 50, 100 y 300 años en un estudio de caso, enfocado en el puente sobre el río San Pedro, ubicado en la región noreste del departamento del Putumayo, Valle de Sibundoy.

La estimación de la profundidad de socavación se realizó partiendo de un análisis hidrológico, hidráulico y la aplicación de una simulación unidimensional con HEC – RAS, para identificar el fenómeno en el puente sobre el río San Pedro. Se valida en la necesidad de realizar un diagnóstico con relación a la presencia de falla hidráulica, considerando la hidrología, sedimentología e hidráulica perenne a la cuenca hidrográfica de la zona de influencia y las condiciones morfométricas actuales de los estribos de la infraestructura civil, evaluando así la profundidad máxima de socavación y verificando si las especificaciones de diseño hidráulico cumplen con la norma colombiana de diseño de puentes desarrollada por el Instituto Nacional de Vías.

Se obtuvo una profundidad de socavación medida desde el suelo aledaño a la pata del estribo de 2,41 m (estribo izquierdo) y 1,95 m (estribo derecho) con el método de Froehlich en un periodo de retorno Tr=100 años. Según los lineamientos establecidos por el Manual de drenaje para carreteras del Instituto Nacional de Vías y el Código colombiano de construcción de puentes, el empotramiento del estribo del puente del río (1,5 m) no satisface los requerimientos mínimos de profundidad de 600 mm por debajo de la socavación potencial objetivo del desarrollo metodológico; es decir, la profundidad de desplante del estribo está por encima de la línea de socavación estimada que, representaría una posible falla hidráulica.

Palabras clave: socavación local, falla hidráulica, estribo de puente, erosión, deposición.

[1] Universidad Mariana, Colombia. Correo: dicburgos@umariana.edu.co
[2] Universidad Mariana, Colombia. Correo: daecheverria@umariana.edu.co
[3] Universidad Mariana, Colombia. Correo: fagalindo@umariana.edu.co
[4] Universidad Mariana, Colombia. Correo: fmaffla@umariana.edu.co

Nivel de articulación del Plan de Ordenamiento Territorial 2015 de Pasto, con el mapa de amenaza volcánica Galeras 2015, en el sector de la quebrada Mijitayo en San Juan de Pasto

Andrés Velásquez Sánchez[1]

Iván Darío Jojoa Pinza[2]

Resumen

El ordenamiento territorial es un proceso de suma importancia para cualquier territorio; debe contemplar una visión de futuro, coherencia entre decisiones locales, proyectos regionales y nacionales y, estrategias para el desarrollo económico. Para esta investigación se ha determinado los siguientes objetivos: determinar el nivel de articulación del Plan 2015 de Pasto con el mapa de amenaza volcánica Galeras 2015, en el sector de la quebrada Mijitayo en San Juan de Pasto; identificar la incorporación del mapa de amenaza volcánica de Galeras 2015 a la formulación del Plan; evaluar el nivel de eficacia en la incorporación del mapa de amenaza volcánica Galeras 2015 al Plan 2015; establecer los impactos del nivel de articulación del mapa de amenaza volcánica en el sector de la quebrada Mijitayo.

Esta investigación determinó que, el bajo nivel de articulación del Plan 2015 de Pasto con el mapa de amenaza volcánica Galeras 2015 generó muchos impactos económicos, principalmente, a muchas personas ubicadas en el sector de la quebrada Mijitayo. Esto se logró por medio de un riguroso análisis de información bibliográfica, análisis cartográfico y recolección y análisis de información de primer nivel, con la comunidad del sector.

Palabras clave: ordenamiento territorial; planificación; amenaza volcánica; gestión del riesgo.

[1] Universidad de Nariño, Colombia. Correo: andres781210@gmail.com
[2] Universidad de Nariño, Colombia. Correo: ivan_jojoa@hotmail.com

Capacidad de preparación para la respuesta asociada a las erupciones del volcán Doña Juana, Las Mesas - Nariño

Ángela Patricia Martínez Arcos[1]
Diana Patricia Miramag Maigual[2]
Germán Edmundo Narváez Bravo[3]

Resumen

El objetivo general de esta investigación es caracterizar la capacidad de preparación para la respuesta asociada a las erupciones del volcán Doña Juana en el corregimiento Las Mesas, a partir de la evaluación de las capacidades que poseen el Concejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres (institucionalidad) y las Juntas de Acción Comunal (organización social), en términos de gestión del riesgo volcánico y la posterior zonificación por unidad de análisis que corresponde a 17 veredas y un centro poblado.

La metodología de este estudio consistió en la recolección, análisis y sistematización de información primaria y secundaria, que permitió la evaluación de doce indicadores para la institucionalidad y, nueve para la organización social.

Se estableció que, el área de estudio tiene una baja capacidad de preparación para la respuesta, en términos de institucionalidad, pues los miembros del Concejo Municipal no se preocupan por implementar acciones de preparación. Con respecto a la organización social, las Juntas del corregimiento Las Mesas tienen un buen nivel de organización para resolver dificultades comunitarias habituales, pero, no se interesan por aquellas problemáticas que suceden con poca frecuencia, como las erupciones volcánicas.

En conclusión, el corregimiento Las Mesas no está preparado para una situación de emergencia desencadenada por una erupción del volcán Doña Juana, pues el Concejo formuló el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres con información desactualizada y, no ha ejecutado las acciones de reducción del riesgo volcánico, lo cual ha influido en que la comunidad no genere estrategias comunitarias de preparación para la respuesta ante erupciones volcánicas.

Palabras clave: institucionalidad; organización social; gestión del riesgo volcánico.

[1] Universidad de Nariño. Grupo de Investigación en Geografía Física y Problemas Ambientales - TERRA, Colombia. Correo: martinezarangela@gmail.com
[2] Universidad de Nariño. Grupo de Investigación en Geografía Física y Problemas Ambientales - TERRA, Colombia. Correo: dianamiramag2@gmail.com
[3] Universidad de Nariño. Grupo de Investigación en Geografía Física y Problemas Ambientales - TERRA, Colombia. Correo: genarvaezbravo@gmail.com

Análisis documental de la gestión del riesgo de incendios forestales o de vegetación y actividades de educación ambiental en el departamento del Valle del Cauca

Fabio Calero Montealegre[1]

Carlos Eduardo Guevara Fletcher[2]

Resumen

En la actualidad, existe una crisis ambiental causada, entre varios factores, por el cambio climático global, directamente relacionado con el calentamiento global y la contaminación atmosférica asociada a emisiones de gases efecto invernadero. Esta alteración produce incendios de vegetación (incendios forestales) que degradan, indirecta y directamente los ecosistemas terrestres. El riesgo de incidencia puede ser de origen natural. En sistemas tropicales es difícil que su origen sea de ese tipo. Cerca del 95 % de incendios forestales registrados están asociados a actividades humanas de origen socio-natural o, no intencional.

Mediante la transformación de comportamientos, conductas y cambios de actitud de las comunidades, es posible evitar o prevenir ese tipo de incendios. De ahí que, la educación ambiental sea una de las formas de prevenir los mismos, junto con actividades de atención, control y vigilancia, así como, la extinción, restauración y recuperación de áreas afectadas por estos. Este trabajo pretende documentar información sobre incendios forestales del departamento del Valle del Cauca, así como, algunos procesos en educación ambiental llevados a cabo en el departamento.

Se registró información de incendios forestales, de fuentes bibliográficas secundarias de internet en libros, revistas, informes de ejecución de convenios y otros documentos institucionales de los cuerpos de bomberos del Valle del Cauca, la Corporación Autónoma del Valle del Cauca y secretarías municipales de gestión del riesgo, para una investigación básica descriptiva, documental y de tipo cualitativo, en el periodo 2010 - 2015. Se hizo procesos de educación ambiental en los municipios de injerencia de las ocho Direcciones Ambientales Regionales y en colegios, cuerpos de bomberos y entidades públicas.

[1] Consultor Corporación Autónoma del Valle del Cauca, Colombia. Correo: fabiocalerom@hotmail.com

[2] Magíster en Educación Ambiental y Desarrollo Sostenible. Universidad Santiago de Cali, Colombia. Correo: cefletcher8@hotmail.com

Se registró, entre 121 a 4215 incendios, principalmente distribuidos en los municipios con riesgo alto y medio en el departamento. Este es un tema poco conocido, no bien registrado, con deficiente seguimiento y fraccionado. Es necesario, realizar una articulación entre las entidades, generando una base de datos única con información histórica, real, eficiente y continua sobre incendios forestales y continuar con programas de educación ambiental en los municipios.

Palabras clave: incendios forestales; educación ambiental; gestión de riesgo de desastres; Valle del Cauca.

Avances en la gestión de riesgo en la región de La Mojana - Colombia

Ahsly Daniela Pachón Gómez[1]
Valentina Hernández Castro[2]
Yeferson Buitrago[3]

Resumen

La región de La Mojana es una cuenca hidrográfica de planicie aluvial de la depresión momposina, ubicada entre los ríos Magdalena, Cauca y San Jorge. Cumple con la función de amortiguar los caudales en los ríos, caños y ciénagas, servir de refugio-hábitat, regular la atmósfera y depurar los humedales. Es un sistema que se caracteriza por ser complejo, debido a las constantes inundaciones que allí ocurren, problemática que genera afectaciones socioeconómicas para la población, ya que las inundaciones afectan tanto las producciones como la infraestructura del territorio y, lo modifican física y ambientalmente.

Se ha evidenciado que, el Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres ha tenido grandes fallas en aspectos como la prevención y mitigación del problema, pues inicialmente, por parte de las alcaldías, se debe mejorar algunas acciones que ayudarán con esta problemática, como la acción de una pronta reubicación de la población que se encuentra en riesgo; además, las corporaciones autónomas correspondientes deben implementar la acción oportuna de proyectos para disminuir las inundaciones generadas. Con base en esto, el objetivo de este proyecto fue realizar una revisión minuciosa de los avances de la gestión del riesgo en la región de la Mojana, Colombia. Como conclusión, se evidencia aspectos en los cuales se debe mejorar, para disminuir la vulnerabilidad ante inundaciones, mediante acciones como la implementación de diques que permiten el drenaje del río.

Palabras clave: riesgo; inundaciones; prevención; desastres.

[1] Fundación Universitaria Agraria de Colombia, Colombia. Correo: pachon.ahsly@uniararia.edu.co
[2] Fundación Universitaria Agraria de Colombia, Colombia. Correo: hernandez.valentina@uniagraria.edu.co
[3] Fundación Universitaria Agraria de Colombia, Colombia. Correo: buitrago.yeferson@uniagraria.edu.co

Salud, Seguridad y Responsabilidad ambiental



Prevención de intoxicación por manganeso en habitantes del Distrito de Riego 028, Tulancingo, Hidalgo, México

Oscar Jesús Romero Oliva[1]
Francisco Prieto García[2]
Judith Prieto Méndez[3]

Resumen

Los distritos de riego son proyectos de irrigación que incluyen pozos, canales y plantas de bombeo con fines agrícolas, generalmente constituidos por aguas contaminadas. El distrito 028 se encuentra dentro de Tulancingo, Hidalgo, México. La cosecha anual se aproxima a 850 ha; se cultiva avena forrajera verde, maíz, alfalfa y trébol verde. Las fuentes principales de riego agrícola son aguas negras, mayoritariamente y, agua potable en menor cantidad.

El objetivo del presente trabajo es caracterizar los suelos agrícolas y evaluar la presencia de metales pesados, como el manganeso que, en concentraciones elevadas, altera las capacidades motoras, además de ser perjudicial a nivel hematológico, endócrino, cardiovascular y hepático. La zona específica de estudio es al norte de la ciudad de Tulancingo en los ejidos Laguna de Cerrito y Cebolletas. Se delimitó tres parcelas; en cada una se colectó 13 muestras aleatorias de suelo (100 g), obteniendo un total de 39. Las muestras fueron homogeneizadas por parcela, limpiadas de impurezas, secadas a temperatura ambiente, posteriormente molidas y tamizadas. Se preparó un extracto de saturación empleado para la medición de características fisicoquímicas y la determinación de metales por fotocolorimetría.

La concentración de manganeso en estos suelos es elevada; el rango normal oscila entre 2-10 mg/kg; no obstante, la media aritmética de las tres parcelas es de 43.4 mg/kg. Existe riesgo de ingesta de manganeso en alimentos contaminados, derivado del efecto de biomagnificación en el sistema Agua-Suelo-Cultivo-Ganado-Humano. El exceso de manganeso se elimina en poco tiempo del cuerpo; por ello, la dificultad del diagnóstico con pruebas de laboratorio comunes. Incluso, aunque se emplee agentes quelantes para mejorar la eliminación, los síntomas clínicos no disminuyen tras la exposición severa. Es importante fomentar una cultura preventiva orientada a disminuir la probabilidad de que los habitantes de esta zona padezcan manganesismo.

Palabras clave: manganesismo; intoxicación por manganeso; Distrito de Riego 028.

[1] Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. Correo: oromerooliva@gmail.com
[2] Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. Correo: prietog@uaeh.edu.mx
[3] Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. Correo: jprieto@uaeh.edu.mx

Comportamiento de la propagación del *Aedes Aegypti*: factores altitudinales y de crecimiento poblacional en el corredor de occidente de Boyacá

Darwin Suarez Ariza[1]
Dora Marcela Benítez Ramírez[2]
Luz Ángela Cuellar[3]

Resumen

Los efectos del cambio climático en la salud humana toman mayor relevancia en el campo de la salud ambiental. El estudio 'Espacio temporal de la adaptación del *Aedes Aegypti* en el occidente de Boyacá', fue determinante en la identificación del vector en los municipios de Puerto Boyacá, Otanche, San Pablo de Borbur, Pauna y Chiquinquirá, donde las condiciones altitudinales indican habitas endémicos, subendémicos y no endémicos para la transmisión de las enfermedades arbovirales y así, determinar la vulnerabilidad que presenta esta población ante posibles brotes.

La identificación del vector en la zona de estudio se llevó a cabo utilizando trampas BG- Sentinel, dados los excelentes resultados para el monitoreo del *Aedes Aegypti*. Como sistema atrayente, se utilizó BG-Lure, el cual contiene una formulación patentada basada en ácido láctico que imita el aroma de la piel humana. La formulación se incorpora en granulado biopolimérico degradable. Una vez realizada la captura, se procedió a la identificación de los especímenes en laboratorio, bajo la técnica de estereoscopia electrónica, la cual permitió establecer el morfotipo con las especificaciones Reino, Phyllum, Clase, Orden, Familia y Género, ausencia o presencia y, número de individuos encontrados.

Con los resultados de las muestras, se procedió a realizar un análisis de amenaza dada por el número *Aedes Aegypti* en las zonas en mención; por otra parte, se identificó la vulnerabilidad a la presencia de las enfermedades en los habitantes, de acuerdo con las proyecciones del crecimiento poblacional del Departamento Administrativo Nacional de Estadística, encontrando un mayor riesgo de brotes de las enfermedades en zonas catalogadas actualmente como no endémicas para el vector, dado que los municipios que se ubican en esta zona geográfica, presentan tasas de crecimiento mayores que en las zonas subendémicas.

Palabras clave: vulnerabilidad; amenaza; riesgo; zonas endémicas.

[1] Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Correo: darwin.suarez@uptc.edu.co
[2] Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Correo: dora.benitez@uptc.edu.co
[3] Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Correo: luz.cuellar@uptc.edu.co.

Diagnóstico de hábitos y conocimiento de residuos sólidos en hogares de los asistentes a un centro comercial de Cali - 2019

M. Hinestroza[1]
Danilo Oliveros[2]
Cesar Paz[3]

Resumen

El objetivo principal de este artículo fue, diagnosticar los hábitos y el conocimiento de los residuos sólidos que tienen en sus hogares, los asistentes a un centro comercial de Santiago de Cali, a un evento de conservación ambiental en el mes de abril de 2019, con miras a reflexionar sobre el comportamiento frente a la educación del medio ambiente en el manejo de estos residuos.

La metodología fue de tipo descriptiva, buscando diagnosticar hábitos personales de disposición de residuos. Se realizó una medición transversal que permitió extraer información relevante del grupo, en un estudio sobre sus conductas, motivaciones y percepciones sobre la disposición de residuos en escenarios familiares y laborales mediante un análisis estadístico de 300 encuestas seleccionadas de una manera no aleatoria. Se empleó tablas de frecuencias univariadas para las variables cualitativas, tablas de frecuencias y gráficas bivariadas, con las cuales se elaboró pruebas de asociación a través del estadístico Chi-cuadrado, con una significancia al 5 %.

Los resultados más relevantes evidencian que el 78 % de los participantes generaron desde sus hogares, residuos ordinarios no reciclables; el 58 % está reutilizando estos residuos con relación a los puntos ecológicos; y, el código de colores del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos fue definido con precisión por, aproximadamente, el 69 % de los participantes. Igualmente, el 45 % asoció adecuadamente el significado de reciclar y, se evidenció que, las mujeres son más sensibles a los hábitos del reciclaje y el medio ambiente.

Palabras clave: residuos, reciclaje, educación, cultura, ambiente.

[1] Intenalco Educación Superior. Correo: bienestar@intenalco.edu.co
[2] Intenalco Educación Superior. Correo: danilo.oliveros@intenalco.edu.co
[3] Intenalco Educación Superior. Correo: cesarpaz07@yahoo.com.mx.

Contaminantes atmosféricos y su relación con la salud de la población infantil en Colombia

Daniela Alejandra Castillo Botina[1]
Angie Lorena Urbano Pazos[2]
Juan Carlos Narváez Burgos[3]

Resumen

La exposición a la contaminación atmosférica representa un enigma de gran relevancia en la actualidad. Los efectos más comunes reportados en la salud se dan en la población infantil, ya que su aparato respiratorio está en pleno desarrollo y es más susceptible a padecer enfermedades respiratorias por exposición al parque automotor.

El presente estudio es una descripción elaborada mediante información bibliográfica, de cómo las partículas suspendidas en el aire, con un tamaño menor a diez micrómetros generados por el tráfico vehicular, inciden en el deterioro de la salud respiratoria de la población infantil.

La metodología empleada incluye un análisis descriptivo de la forma como las características de calidad de aire condicionan la salud de la población objetivo; asimismo, se hace una búsqueda, clasificación y análisis de información bibliográfica, para determinar el grado de relación entre la salud de la población infantil y los contaminantes presentes en la atmósfera. Esta etapa se realizó mediante una clasificación y calificación de artículos científicos. Se encontró una relación directa entre la exposición de contaminantes atmosféricos suspendidos en el aire: PM_{10}, PM2.5, O3, TRAP, NO_2, carbón, NOx, PAHs,) y el daño a la salud de la población, ocasionando así algunas enfermedades respiratorias causadas por la exposición de contaminantes atmosféricos. En cuanto a la sintomatología, estos contaminantes ocasionan efectos respiratorios a corto plazo, como dificultad para respirar, tos, irritación en la garganta y de la mucosa nasal.

La evidencia recolectada refuerza que, la principal causa de la contaminación atmosférica es generada por la densidad del tráfico vehicular. Los gases y partículas emitidas por los vehículos afectan la salud de la población; así, las pequeñas partículas suspendidas en el aire, acceden fácilmente a los órganos respiratorios, ocasionando enfermedades respiratorias.

Palabras clave: calidad del aire; PM10, PM2.5; enfermedades respiratorias; salud.

[1] Universidad Mariana, Colombia. Correo: dancastillo@umariana.edu.co
[2] Universidad Mariana, Colombia. Correo: angurbano@umariana.edu.co
[3] Universidad Mariana, Colombia. Correo: jcnarvaez@umariana.edu.co

Estudio preliminar de la relación fenología-clima de cuatro especies forestales nativas con potencial en procesos de restauración ecológica del bosque Alto Andino de Nariño, Colombia

Pedro Pablo Bacca Acosta[1]
Diana Lucía Burbano[2]
Santiago David Córdoba Portilla[3]
Diana Lizeth López Salcedo[4]

Resumen

El desconocimiento de información sobre especies forestales nativas, incluyendo los factores fenológicos, ha ocasionado un mal manejo silvicultural. El objetivo de este estudio fue caracterizar la relación fenología-clima de cuatro especies forestales nativas con potencial en procesos de restauración ecológica del bosque Alto Andino de Nariño, Colombia. Se evaluó *Cleome arborea* Kunth, *Leandra subseriata* (Naudin) Cogn., *Viburnum triphyllum* Benth. y *Weinmannia mariquitae* Szyszyl, con un total de 40 individuos.

Se analizó diez fenofases correspondientes a brote, caída de hojas, botones, flores, frutos maduros e inmaduros, semillas maduras e inmaduras, flores y, frutos en el suelo. Estas variables fueron relacionadas con nueve variables climatológicas como, temperatura seca mínima diaria, temperatura húmeda, humedad relativa, nubosidad, precipitación, evaporación total diaria, velocidad del viento y, brillo solar. El registro se realizó cada 15 días desde octubre de 2020 hasta julio de 2021. Los datos fueron procesados a través del análisis de componentes principales.

[1] Universidad de Nariño; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) , Colombia. Correo: pbacca@agrosavia.co
[2] Universidad de Nariño; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) , Colombia. Correo: dbiologia@gmail.com
[3] Universidad de Nariño; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) , Colombia. Correo: cordobapsd98@gmail.com
[4] Universidad de Nariño; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) , Colombia. Correo: lizethlopez@udenar.edu.co

Los resultados mostraron que *C. arborea* presenta correlación entre las variables climáticas; TSMin-TH que promueven Br-Fl-FI-FM-FS-FlS con porcentajes desde 46 % a 57 %. *L. subseriata* se correlacionó con las variables climáticas; TSMin-VV, que indujeron la producción de FM-B-F-SI-SM con valores que oscilaron entre el 48 % y el 72 %. Por su parte, *V. triphyllum* manifestó correlación con TSMin-BS-HR que produjeron Br-FS-FlS con porcentajes que variaron desde el 44 % al 51 %. Finalmente, *W. mariquitae* presentó correlación con TSMin-VV y SI Br con porcentajes entre el 50 % y el 55 %. La variable climática más importante para las cuatro especies fue TSMin, la cual influyó sobre las fases fenológicas de Br-SI-FI-FM-FS-FlS.

Palabras clave: especies nativas; fenofases; fenología-clima.

Salud y calidad de suelos bajo producción de aguacate cv. Hass en Colombia

Tatiana Rondón[1]
Manuel Guzmán[2]
María Casamitjana[3]
Carolina Zuluaga[4]
Alba Sánchez[5]
Luz Andrea Vargas[6]
Arlex González[7]

Resumen

En los últimos años se ha visto un incremento en áreas bajo producción de aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. Hass en Colombia. Condiciones edafoclimáticas y geopolíticas han incentivado la producción nacional y han permitido suplir la alta demanda de esta fruta en Europa y Estados Unidos, con potencial expansión hacia nuevos países. Esta situación ha provocado cambios de uso del suelo, donde bosques y otros cultivos han cambiado hacia aguacate. Sin embargo, el incremento en superficie no ha significado mejoras en la productividad; esto obedece a factores limitantes asociados con propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, atribuidos al uso previo del mismo y prácticas de manejo.

Con el objetivo de desarrollar indicadores de salud y calidad de suelo en suelos cultivados con aguacate cv. Hass en Colombia, regiones productoras de Antioquia, Eje Cafetero y Valle del Cauca fueron estudiadas. Se utilizó un diseño completamente al azar, bajo una técnica de muestreo dirigido aleatorio simple, para el levantamiento de información química, física y biológica de suelos a

[1] Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Agrosavia. C.I. La Selva, Colombia. Correo: trondon@agrosavia.co
[2] Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Agrosavia. C.I. La Selva, Colombia. Correo: maguzman@agrosavia.co
[3] Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Agrosavia. C.I. La Selva, Colombia. Correo: mcasamitjana@agrosavia.co
[4] Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Agrosavia. Sede Eje cafetero, Colombia. Correo: czuluaga@agrosavia.co
[5] Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Agrosavia. C.I. La Selva, Colombia. Correo: ansanchez@agrosavia.co
[6] Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Agrosavia. Sede Eje cafetero, Colombia. Correo: lavargas@agrosavia.co
[7] Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Agrosavia. Sede Eje cafetero, Colombia. Correo: arlex.gonzalez@agrosavia.co

tres profundidades (0-5, 5-20 y 20-30 cm); química, a partir de tejido vegetal y necromasa y, biológica, mediante pruebas de actividad microbiana. Los indicadores fueron generados para cada departamento, con valores de 0.40 (Antioquia), 0.45 (Eje Cafetero) y 0.47 (Valle del Cauca). Distintas limitantes fueron identificadas en los suelos de Antioquia: suelos fuertemente ácidos, problemas de mal drenaje y desbalance nutricional; Eje Cafetero: actividad biológica moderada, alta retención de humedad; y, Valle del Cauca: suelos con bajo contenido de humedad y actividad biológica alta a moderada. Los resultados indican suelos con indicadores bajos a moderados, así como la necesidad de implementar alternativas diferenciadas de manejo según zona de producción, que permitan aumentar la sostenibilidad del sistema productivo.

Palabras clave: sostenibilidad; actividad biológica; indicadores; suelos.

Factores ambientales que alteran la capacidad de formación de biopelículas de *stenotrophomonas maltophilia*

Gina García Saavedra[1]

Resumen

Stenotrophomonas maltophilia es una bacteria aerobia gramnegativa de distribución ubicua y de gran importancia a nivel mundial, como patógeno emergente oportunista y multirresistente a diversos antibióticos, que hacen difícil el tratamiento de las infecciones, especialmente en pacientes inmunocomprometidos, con estancia prolongada en el hospital y que han recibido antimicrobianos de larga duración.

El objetivo de este estudio se centra en la revisión bibliográfica de investigaciones que hablan de aquellos factores ambientales que alteran la capacidad de formación de biopelículas de *S. maltophilia*. Este estudio es de tipo no experimental, observacional, descriptivo. Las palabras claves utilizadas para la búsqueda fueron: *Stenotrophomonas maltophilia*, factores ambientales y biopelículas. Como criterio de exclusión, se descartó artículos enfocados en estudios clínicos. Los resultados muestran que, los efectos del ácido clofíbrico en agua potable no altera la capacidad de *S. maltophilia* para producir biopelículas, permitiéndole mayor tolerancia al cloro y mayor resistencia a la eritromicina. Al mismo tiempo, el tratamiento con cloro no redujo el crecimiento de biopelículas de *S. maltophilia* cuando se formó sobre materiales con 100, 57 y 0 % de cobre, pero sí en aleaciones del 96 %. Además, las concentraciones de *S. maltophilia* en muestras de agua en casas nuevas y con plomería de plástico, contenían concentraciones más altas de esta bacteria.

Los resultados de los artículos revisados dan la pauta para entender mejor algunos factores que pueden llegar a alterar la formación de biopelículas de *S. maltophilia*. Dentro de los mecanismos y características que le confieren mayor resistencia y crecimiento de biopelículas, van desde la capacidad de agregación celular, acumulación de manganeso, utilización de sideróforos quelantes, capacidad para metabolizar compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles. Además, presenta genes de bombas de expulsión y de resistencia a los antibióticos, que le permiten una resistencia total a una alta gama de antibióticos.

Palabras clave: biopelícula; ambiente; resistencia; *Stenotrophomonas maltophilia*.

[1] Posgrado en Ciencias Ambientales, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México. Correo: stargeyn@hotmail.com

Las ciencias ambientales y su avance sin fronteras durante la pandemia

Jenny Lucía Huertas Delgado
Luz Nathalia Torres Martínez
Luis Gabriel Lafaurie Ponce
Jaime Efrén Insuasty Enríquez

Compiladores



Universidad Mariana
Res. MEN 1362 del 3 de febrero de 1983

Editorial UNIMAR

Universidad Mariana
Calle 18 No. 34-104 San Juan de Pasto
https://libros.umariana.edu.co/index.php/editorialunimar

