

# Sostenibilidad de procesos desde la economía circular en el contexto de la pospandemia covid-19



Universidad  
**Mariana**

Iván Alexander Ortiz Cabrera  
Compilador



Editorial  
**UNIMAR**



# Sostenibilidad de procesos desde la economía circular en el contexto de la pospandemia covid-19

Iván Alexander Ortiz Cabrera  
Compilador

2022

---

Colección

Evento



Universidad  
**Mariana**



Editorial  
**UNIMAR**

***Sostenibilidad de procesos desde la economía circular en el contexto de la pospandemia covid-19***

**Compilador:** Iván Alexander Ortiz Cabrera

**e-ISBN:** 978-628-7548-07-7

**Páginas:** 60

**Editora:** Luz Elida Vera Hernández

**Fecha de publicación:** 2022

Existencias

Libro Biblioteca Nacional de Colombia – Libros

***Sostenibilidad de procesos desde la economía circular en el contexto de la pospandemia covid-19***

**Compilador:** Iván Alexander Ortiz Cabrera

**Autores:** Iván Alexander Ortiz Cabrera, Jhoana Patricia Montenegro Córdoba, Hugo Andrés Gomajoa Enríquez, Ángela Daniela Malte Oliva, Leidy Johana Escobar Jiménez, Lesly Jhanela Cruz Romo, Stephanie Geraldine Rosero Achicanoy, José Fernando Cadena Hernández, Diego Fernando Ruano Tovar

**Entidad editora:** Editorial UNIMAR, Universidad Mariana

**Fecha de publicación:** 2022

**Páginas:** 60

**e-ISBN:** 978-628-7548-07-7

**Edición:** Primera

**Formato:** Digital

**Colección:** Evento

**Materia:** Investigación

**Materia tópic:** Tecnología, ingeniería, agricultura

**Palabras clave:** Sostenibilidad, economía circular, pospandemia, Covid-19.

**País/Ciudad:** Colombia / San Juan de Pasto

**Idioma:** Español

**Menciones:** Ninguna

**Visibilidad:** Página web Editorial UNIMAR, Universidad Mariana

**Tipo de contenido:** Sostenibilidad de procesos desde la economía circular en el contexto de la pospandemia Covid-19

© Iván Alexander Ortiz Cabrera

© Jhoana Patricia Montenegro Córdoba

© Hugo Andrés Gomajoa Enríquez

© Ángela Daniela Malte Oliva

© Leidy Johana Escobar Jiménez

© Lesly Jhanela Cruz Romo

© Stephanie Geraldine Rosero Achicanoy

© José Fernando Cadena Hernández

© Diego Fernando Ruano Tovar

© Editorial UNIMAR, Universidad Mariana

© Universidad Mariana

## **Universidad Mariana**

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

Rectora

**Yudy Basante Castro**

Vicerrectora Académica

**Ángela María Cárdenas Ortega**

Directora de Investigaciones

**Luz Elida Vera Hernández**

Directora Editorial UNIMAR

### **Comité Organizador**

M.Sc. Jhoana Patricia Montenegro Córdoba

Directora del programa de IDEP

M.Sc. Iván Alexander Ortiz Cabrera

Coordinador General

### **Comité Académico**

M.Sc. Javier Mauricio Villota Paz

M.Sc. Juan Fernando Muñoz Paredes

Ph.D Vladimir Ernesto Vallejo Castillo

M.Sc. Simón Alexander Puerchambud Chasoy

M.Sc. Iván Alexander Ortiz Cabrera

### **Comité de Logística**

M.Sc. Jorge Andrés Castro Lara

M.Sc. José Faruk Rojas Navarro

M.Sc. Lucía Verdugo Gonzáles

### **Comité de Publicidad**

M.Sc. Marco Antonio Chamorro Lucero

M.Sc. Jhoana Patricia Montenegro Córdoba

M.Sc. María Jimena Erazo Ordoñez

### **Comité de Gestión**

M.Sc. Carlos Hernán Pantoja Agreda

Esp. Guillermo Bolívar Luna Guerrero

M.Sc. Hugo Andrés Gomajoa Enríquez

## **Editorial UNIMAR**

**Luz Elida Vera Hernández**

Directora Editorial UNIMAR

**Leidy Stella Rivera Buesaquillo**

Corrección de Estilo

**Johan Esteban Botina Portillo**

Diseño y Diagramación

**Jaime Alberto Díaz Arce**

Diseño imagen evento

### **Correspondencia:**

Editorial UNIMAR, Universidad Mariana

San Juan de Pasto, Nariño, Colombia, Calle 18 No. 34 – 104

Tel: 7244460 Ext. 185

E-mail: [editorialunimar@umariana.edu.co](mailto: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:** <https://libros.umariana.edu.co>

**Cítese como:** Ortiz-Cabrera, I. A. (comp.). (2022). *Sostenibilidad de procesos desde la economía circular en el contexto de la pospandemia covid-19*. Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.163>



# Universidad Mariana

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](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



# Contenido



<b>Presentación</b>	<b>8</b>
<b>Conversatorio de apertura: “Procesos sostenibles pospandemia”</b>	<b>12</b>
Iván Alexander Ortiz Cabrera Jhoana Patricia Montenegro Córdoba	
<b>Extracción de almidón de semillas de aguacate y mango para la obtención de biopelículas</b>	<b>17</b>
Jhoana Patricia Montenegro Córdoba Hugo Andrés Gomajoa Enríquez Ángela Daniela Malte Oliva Leidy Johana Escobar Jiménez	
<b>Evaluación del extracto obtenido de la cascara de papaya y su posible uso como colorante alimentario</b>	<b>26</b>
Lesly Jhanela Cruz Romo Stephanie Geraldine Rosero Achicanoy	
<b>Evaluación de la producción de 2,3 Butanodiol a partir de residuos de cáscara de naranja</b>	<b>45</b>
José Fernando Cadena Hernández Diego Fernando Ruano Tovar	





# Presentación

Iván Alexander Ortiz Cabrera  
Docente IDEP

Jhoana Patricia Montenegro Córdoba  
Directora del programa de IDEP

**Cítese como:** Ortiz-Cabrera, I. A. y Montenegro-Córdoba, J. P. (2022). Presentación. En L. E. Vera-Hernández (Ed.), *Sostenibilidad de procesos desde la economía circular en el contexto de la pospandemia covid-19* (pp. 8-11). Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.163.c1>

Considerando la agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, la cual establece una visión transformadora hacia la sostenibilidad económica, social y ambiental, e incorporando un conjunto de 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS), con el propósito de poner fin a la pobreza, luchar contra la desigualdad y la injusticia, y hacer frente al cambio climático, el Plan Nacional Decenal de Educación (PNDE) 2016-2026 y el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 “Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad” se constituyen en documentos orientadores de la política educativa, apostando a una consolidación del sistema educativo, cuyo propósito fundamental es garantizar las condiciones para que las personas alcancen su desarrollo integral y contribuyan al desarrollo del país y así lograr avanzar hacia una educación que favorece la equidad, compensando las desventajas socioeconómicas, además, para generar igualdad de oportunidades y lograr resultados socialmente deseables para todos (Ministerio de Educación, 2017). Asimismo, se menciona que la educación es un proceso de formación integral, pertinente y articulado que, desde la cultura, los saberes, la investigación, la ciencia, la tecnología y la producción, contribuye al justo desarrollo humano, sostenible y solidario, a fin de mejorar la calidad de vida de los colombianos, y alcanzar la paz, la reconciliación y la superación de la pobreza y la exclusión. Adicionalmente, se expresa que el país requiere un sistema de formación que permita a los estudiantes no solo acumular conocimientos, sino saber cómo aplicarlos, innovar, y aprender a lo largo de la vida para el desarrollo y actualización de sus competencias. Por consiguiente, se busca estar en una constante promoción de espacios de divulgación y formación dentro del sector educativo y otros ámbitos, que faciliten los procesos de transformación cultural y actitudinal, necesarios para el desarrollo nacional y regional, en aspectos sociales, ambientales, institucionales, en pro de un desarrollo sostenible.

El Decreto Único Reglamentario del Sector Educación emanado por el Ministerio de Educación Nacional, ajustado bajo el número 1075 del 26 de mayo de 2015,



donde se aglomeran las disposiciones en materia de educación para los diferentes niveles en el territorio colombiano; en la sección concerniente a la educación superior, específicamente a investigación, se sugiere la constante revisión del estado de la educación en el área y de la ocupación, profesión, arte u oficio, en los ámbitos nacional e internacional. Teniendo en cuenta lo anterior, se requiere, de manera particular, abordar actividades que permitan desarrollar una actitud crítica y una capacidad creativa para encontrar alternativas de avance de la ciencia, la tecnología, las artes o las humanidades, siendo para los programas de educación superior una prioridad promover la formación investigativa de los estudiantes, los procesos de investigación, diseño e innovación, en concordancia con el nivel de formación y sus objetivos.

Finalmente, el Plan de Desarrollo Departamental 2020-2023 “Mi Nariño, en Defensa de lo Nuestro”, en su eje estratégico II, en la línea estratégica sobre Mi Nariño Sostenible, converge el interés global por el desarrollo sostenible, en el que se armonice el desarrollo del ser humano con la conservación y preservación de los ecosistemas estratégicos, las cuencas hidrográficas y la biodiversidad. Esta línea estratégica responde al reto de fomentar actividades productivas sostenibles en el marco del crecimiento verde, y construir una cultura de prevención temprana del riesgo y del impacto ambiental, para ser un departamento más resiliente frente al cambio climático.

Teniendo en cuenta los anteriores referentes internacionales, nacionales y regionales, para el Programa de Ingeniería de Procesos, adscrito a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Mariana, se ha convertido en una prioridad realizar la séptima entrega de estas memorias, correspondientes al VII Simposio Virtual de Investigación Aplicada a la Ingeniería de Procesos: Economía circular, procesos sostenibles pospandemia, versión orientada hacia la economía circular y a los procesos sostenibles pospandemia. De esta manera, se dio lugar a un espacio para la participación mediante la divulgación de varias ponencias, producto de trabajos resultados de investigación y experiencias aplicadas por expertos, de carácter nacional e internacional, así como experiencias exitosas en la aplicación de las áreas de formación en ingeniería y afines, como estrategia de aprendizaje y perfeccionamiento de la formación específica, donde se trataron temas relacionados con innovación y negocios verdes, análisis de ciclo de vida, logística inversa, valoración de residuos y biorrefinerías.

La séptima versión del Simposio Virtual en Investigación aplicada a la Ingeniería de Procesos contó con la participación de prestigiosas universidades e instituciones, entre las cuales se puede mencionar las siguientes:

- Universidad de Warwick – Inglaterra.
- Universidad de Manchester – Inglaterra.
- Universidad Estatal Paulista – Brasil.
- Universidad Politécnica de Madrid – España.



- Universidad EIA – Colombia.
- Instituto Tecnológico de COMFENALCO – Colombia.
- Universidad Jorge Tadeo Lozano – Colombia.
- Universidad Mariana – Colombia.
- Universidad de Nariño – Colombia.
- Bank Of Climate – Francia.
- Global Green Group Institute – Colombia.
- CEO Innpulce – Colombia.
- Cenipalma – Colombia.

Con el evento se buscó la contextualización del estado de la profesión en el área de la economía circular y la sostenibilidad de procesos en los ámbitos nacional e internacional, con base en la tendencia de formación de los ponentes en las Instituciones donde se encuentran realizando o han terminado sus estudios. Como aporte a estos propósitos, el programa de Ingeniería de Procesos, con satisfacción, hace entrega de esta memoria de resúmenes, gracias a las contribuciones de los ponentes y a su generosa respuesta a la invitación, ya que permitieron el logro de los objetivos específicos del evento, a saber:

- Generar espacios de aprendizaje y formación en el área de investigación desde diferentes áreas de fundamentación propias de la Ingeniería de Procesos para los asistentes al evento.
- Identificar tendencias de investigación en las diferentes áreas de fundamentación de la Ingeniería de Procesos y sus afines.
- Mejorar el quehacer docente e investigativo de los profesores y de los estudiantes del programa de Ingeniería de Procesos y programas invitados de las diferentes instituciones de educación superior de la ciudad, a través de la socialización de experiencias de investigación de los ponentes invitados al evento.
- Fortalecer el tejido socioempresarial local por medio de la realización de una feria empresarial y de emprendimiento, que tuvo lugar durante el evento de manera paralela, con el fin de favorecer el posicionamiento de algunas empresas aliadas del programa para que estas visibilicen su marca y productos.

El programa de Ingeniería de Procesos agradece de manera especial a los patrocinadores del Simposio por su apoyo y contribución para llevarlo a cabo y, en general, a todas las personas e instituciones que, con su entusiasmo, confianza, esfuerzo y dedicación, influyeron para su consecución. Esperamos que este documento sea testimonio de los aportes que se busca sean realizados por el programa al contexto, satisfaga las expectativas de quienes lo consulten y sea referente para la gestión de calidad en la formación de nuestros ingenieros.



## Referencias

- Decreto 1075 de 2015. (2015, 26 de mayo). Presidencia de la República de Colombia. <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Decretos/30019930>
- Departamental Nacional de Planeación. (2018). Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022. Pacto por Colombia, pacto por la equidad. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Resumen-PND2018-2022-final.pdf>
- Gobernación de Nariño. (2020). Plan de Desarrollo Departamental Mi Nariño, en defensa de lo nuestro 2020-2023. <https://rap-pacifico.gov.co/wp-content/uploads/2020/07/Plan-de-Desarrollo-Mi-Nari%C3%B1o-en-Defensa-de-lo-Nuestro-2020-2023-2.pdf>
- Ministerio de Educación. (2017). Plan nacional decenal de educación 2016-2026. El camino hacia la calidad y la equidad. [https://siteal.iiep.unesco.org/sites/default/files/sit\\_accion\\_files/siteal\\_colombia\\_0404.pdf](https://siteal.iiep.unesco.org/sites/default/files/sit_accion_files/siteal_colombia_0404.pdf)



## Conversatorio de apertura: “Procesos sostenibles pospandemia”

Iván Alexander Ortiz Cabrera<sup>1</sup>

Jhoana Patricia Montenegro Córdoba<sup>2</sup>

**Cítese como:** Ortiz-Cabrera, I. A. y Montenegro-Córdoba, J. P. (2022). Presentación. En L. E. Vera-Hernández (Ed.), *Conversatorio de apertura: “Procesos sostenibles pospandemia”* (pp. 12-16). Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.163.c2>

Además de una enorme crisis de salud pública, la pandemia generada por el nuevo virus SARS-CoV-2 (causante del covid-19) ha generado una profunda crisis económica y social; detonando voces importantes que demandan profundizar el desarrollo sostenible y “regresar mejor” en una era poscovid-19. El proceso de reactivación económica pospandemia presenta riesgos y potencialidades que deben ser considerados. Hay una necesidad de generación de empleos y crecimiento económico en niveles más acelerados para recuperar las pérdidas y reducir el sufrimiento social. Cabe reconocer que no se ha evidenciado niveles de adopción de medidas semejantes en lo que atañe a desafíos como el cambio climático, la biodiversidad y la desigualdad; sin embargo, los cambios casi siempre llegan tras una crisis, y precisamente el cambio es el motor de todo progreso humano.

En concordancia y como parte de la sociedad civil, el Programa de Ingeniería de Procesos anexo al VII Simposio, el conversatorio denominado “Procesos sostenibles pospandemia” contó con invitados de alta trascendencia, quienes, desde entidades gubernamentales y privadas, de carácter nacional e internacional, han liderado y participado de manera activa en estos procesos, en el departamento y en la nación, entre ellos:

- Ph. D. Adriana Osorio Correa, docente Universidad de Antioquia: Sostenibilidad de procesos - Mejoramiento en reducción de tamaño.
- MSc. Darío Fernando Fajardo, docente Universidad de Nariño, coordinador de Movilidad Sostenible en la ciudad de Pasto.
- MSc. Mónica Cuellar, coordinadora de Nuevos Negocios en el sector palmero “Fedepalma”.
- Ing. Héctor Páez Cantor, inventor de productos ecoamigables y biodegradables.

<sup>1</sup>Docente IDEP, Universidad Mariana, Pasto, Colombia. Correo electrónico: ivortiz@umariana.edu.co

<sup>2</sup>Directora IDEP, Universidad Mariana, Pasto, Colombia. Correo electrónico: jmontenegro@umariana.edu.co



Cabe destacar algunas características distintivas del programa y que imprimen pertinencia para el desarrollo regional, a saber: el estudio de procesos de transformación sostenible, que busca generar profesionales competentes para desempeñarse en diferentes campos de acción, pero con una visión sostenible y transversal; por lo tanto, resulta necesario abordar el aporte que se debe hacer desde la formación profesional con pertinencia en asuntos de paz y su relación con proyectos productivos, identificados por los panelistas participantes, hecho que se evidencia en el perfil de egreso propuesto para los profesionales de la Ingeniería de Procesos que se vienen formando en la Universidad Mariana.

El conversatorio inició con la intervención del docente de la Universidad Mariana MSc. Faruk Rojas Navarro, quien abrió el evento con una contextualización de la economía circular y los procesos sostenibles que derivan de ella. El docente explicó este nuevo modelo de producción y consumo que busca garantizar un crecimiento sostenible en el tiempo, donde se promueve la optimización de recursos, la reducción en el consumo de materias primas y el aprovechamiento de los residuos –reciclandolos o dándoles una nueva vida– para convertirlos en nuevos productos de valor agregado. Así, el docente concluyó que la economía circular es, por tanto, aprovechar al máximo los recursos materiales de los que se disponen, alargando el ciclo de vida de los productos.

Acto seguido, se generaron temas de discusión alrededor de las siguientes preguntas:

- Desde hace tiempo, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, con el apoyo interinstitucional, ha venido implementando la Política Nacional de Producción más Limpia, como también la Estrategia Nacional de Mercados Verdes. Las lecciones aprendidas con dichos procesos conforman una base importante para enfocar la Política de Producción y Consumo Sostenible. En la actualidad, el Departamento Nacional de Planeación (DNP) ha creado el pacto por la sostenibilidad (producir conservando y conservar produciendo), este pacto busca un equilibrio entre el desarrollo productivo y la conservación del ambiente, que potencie nuevas economías y asegure los recursos naturales para nuestras futuras generaciones. De acuerdo con lo anterior, si bien la Política de Producción y Consumo Sostenible no busca excluir algún sector económico del país, sí enfatizará su instrumentación en sectores económicos y actores estratégicos que demuestren dinamismo y aceptación de las estrategias de producción y consumo sostenible. A nivel nacional y regional: ¿Qué estrategias favorecen la generación de procesos sostenibles? ¿Colombia está preparada para estos cambios?, de no estar preparada ¿cuál sería el camino más indicado para hacerlo?
- Los procesos sostenibles están teniendo un auge cada vez más relevante. Teniendo en cuenta la fragilidad de los sistemas sociales y económicos, acrecentados durante la pandemia, ¿cuáles son las claves para poder incorporar proyectos y/o procesos de movilidad sostenibles?



- Los procesos industriales son clave en la contribución del desarrollo sostenible, orientado a garantizar la satisfacción de las necesidades fundamentales de la población y elevar su calidad de vida, a través del manejo racional de los recursos naturales. Estos procesos sostenibles e innovadores son utilizados en las plantas industriales de empresas responsables y competitivas, deben incorporar en su diseño etapas que sean eficientes, generen menos residuos y desechos, no contaminen el ambiente y utilicen sustancias inocuas, así como los productos y subproductos elaborados por ellas. De igual manera, deben ser seguros, tanto internamente (para los trabajadores) como externamente (para las comunidades y ecosistemas), garantizando el uso eficiente de los recursos naturales y un propicio empleo de recursos renovables. Desde su experiencia, ¿cuáles son los retos ante la necesidad de transformar los procesos tradicionales en procesos sostenibles y que a la vez sean amigables con el entorno?
- El cuidado del medioambiente es una tendencia que ha crecido con el transcurso del tiempo, generando una constante preocupación por la naturaleza y los efectos del calentamiento global. Debido a esto, la producción se ha enfocado cada vez más en la fabricación de productos y/o procesos ecoamigables o sustentables. Estos son hechos o contienen material reciclado y no utilizan materiales tóxicos. Además, pueden ser reciclables y biodegradables; la preferencia por comprar productos ecoamigables es una costumbre que ha crecido en los últimos años. La mayoría de la población actual busca adquirir este tipo de artículos, sobre otras opciones. ¿Cómo un proceso o producto puede ser catalogado como ecoamigable y a qué desafíos se enfrentaría?

Como conclusión del conversatorio, se establecieron relaciones directas entre el perfil de egreso de los profesionales de Ingeniería de Procesos y algunos de los proyectos que se proponen impulsar el desarrollo de la región. En consecuencia, a continuación, se relacionan las características del ingeniero de procesos de la Universidad Mariana:

En Colombia, a nivel de pregrado, el programa de Ingeniería de Procesos con denominación específica hace su aparición en el año de 1996 en la Escuela de Administración, Finanzas e Instituto Tecnológico (EAFIT) de Medellín. Actualmente se oferta en cuatro Instituciones de Educación Superior en el país.

En la Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, Cartagena, la ingeniería de procesos obtiene registro mediante la Resolución número 002744 del 18 de marzo de 2019; a la fecha aún no genera cohortes de graduados.

En la Universidad Mariana, la ingeniería de procesos obtiene registro mediante Resolución número 9108 del 23 de noviembre de 2009; a la fecha se ha generado cinco cohortes de graduados.



## Perfil profesional

El egresado del Programa de Ingeniería de Procesos de la Universidad Mariana, desde su formación humana y humanística, y sus sólidas bases técnicas y tecnológicas, se identifica por lo siguiente:

- Diseñar e implementar procesos fisicoquímicos y biotecnológicos, sostenibles económica, tecnológica y ambientalmente.
- Modelar y simular procesos fisicoquímicos y biotecnológicos.
- Desarrollar nuevos productos, competitivos en los ámbitos regional, nacional e internacional.
- Optimizar procesos para lograr el aprovechamiento racional de los recursos humano, natural y económico.
- Crear y administrar su propia empresa, preferiblemente de base fisicoquímica y biotecnológica.
- Respetar los valores, la cultura, las creencias y la diversidad; ejerciendo su profesión de forma ética y con conciencia social.
- Proponer innovaciones para procesos de transformación conocidos, con el fin de mejorar su rendimiento y ofrecer nuevas alternativas.
- Investigar en el sector industrial para encontrar nuevas aplicaciones a los recursos de la región y del país.
- Operar y gestionar diferentes procesos para mantenerlos actualizados y contribuir al desarrollo de la región y del país.
- Administrar empresas para mejorar sus resultados a través de sus procesos.



**Tabla 1**

*Áreas de desempeño*

Ingeniería	Procesos Químicos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño de procesos agroindustriales.</li> <li>• Diseño de procesos biotecnológicos.</li> <li>• Diseño de procesos de control ambiental.</li> <li>• Diseño de equipos de procesos.</li> <li>• Optimización y simulación de procesos.</li> <li>• Planeación, desarrollo y puesta en marcha.</li> <li>• Evaluación técnico-económica de proyectos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agroquímicos.</li> <li>• Productos farmacéuticos.</li> <li>• Jabones, detergentes.</li> <li>• Productos de cuidado personal.</li> <li>• Aceites y grasas vegetales y animales.</li> <li>• Aceites esenciales y resinas.</li> <li>• Tratamiento de agua.</li> </ul>
Procesos Biotecnológicos	Procesos de Alimentos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biocombustibles.</li> <li>• Biopolímeros.</li> <li>• Biomateriales.</li> <li>• Biorremediación.</li> <li>• Productos de fermentación.</li> <li>• Procesos de la industria farmacéutica.</li> <li>• Procesos de la industria de alimentos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lácteos.</li> <li>• Cárnicos.</li> <li>• Vegetales.</li> <li>• Confeitería, galletería, panadería, helados y conservas.</li> <li>• Bebidas y licores.</li> <li>• Extractos.</li> </ul>
Gestión	Procesos Agroindustriales
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Logística.</li> <li>• Sistemas de gestión de producción.</li> <li>• Planeación, programación y control de la producción.</li> <li>• Sistemas de gestión de costos de producción.</li> <li>• Sistemas de gestión ambiental.</li> <li>• ISO 14000. ISO 9001</li> <li>• Producción Más Limpia.</li> <li>• Ecología industrial.</li> <li>• Sistemas de gestión de calidad.</li> <li>• Desarrollo de nuevos productos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Banano, café.</li> <li>• Palma africana.</li> <li>• Caña de azúcar.</li> <li>• Fique, maíz.</li> <li>• Floricultura.</li> </ul>

\*Documento Maestro Registro Calificado. Resolución 16974 de 22 agosto de 2016. Código SNIES 54999.



## Extracción de almidón de semillas de aguacate y mango para la obtención de biopelículas

Jhoana Patricia Montenegro Córdoba<sup>1</sup>

Hugo Andrés Gomajoa Enríquez<sup>2</sup>

Ángela Daniela Malte Oliva<sup>3</sup>

Leidy Johana Escobar Jiménez<sup>4</sup>

**Cítese como:** Montenegro-Córdoba, J. P., Gomajoa-Enríquez, H. A., Malte-Oliva, Á. D. y Escobar-Jiménez, L. J. (2022). Extracción de almidón de semillas de aguacate y mango para la obtención de biopelículas. En L. E. Vera-Hernández (Ed.), *Sostenibilidad de procesos desde la economía circular en el contexto de la pospandemia covid-19* (pp. 17-25). Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.163.c3>

### Resumen

A nivel mundial, los residuos sólidos orgánicos se generan en grandes cantidades, en su mayoría, sin darles el tratamiento adecuado, produciendo impacto ambiental y riesgos a la salud. La investigación se enfocó en la extracción y caracterización del almidón de semillas de aguacate y mango y la posterior obtención de las biopelículas. Inicialmente, se realizó la caracterización de la materia prima y extracción del almidón; luego, se obtuvo y caracterizó las biopelículas; se planteó un diseño experimental multifactorial (nivel de confianza 95 %) con análisis ANOVA, las variables respuesta fueron las siguientes: resistencia (kPa) y elongación (%). Como valor máximo de resistencia se obtuvo 0.68 kPa. La elongación estuvo entre 115,3 % y 340 %. Se definió que, las películas compuestas por 50 % almidón aguacate y 50 % almidón mango obtuvieron características de resistencias y elongación más sobresalientes. Los resultados arrojan que las biopelículas sin ningún aditivo no pueden compararse con el plástico tradicional, incumpliendo la Resolución 683 del 2012; sin embargo, tienen gran potencial, siendo estudiado mediante la optimización del proceso y aplicando un agente aditivo.

**Palabras clave:** semillas, aguacate, mango, almidón, bioplástico.

<sup>1</sup>Grupo de Investigación, Innovación, Desarrollo y Optimización de Procesos (GIIDOP), Programa de Ingeniería de Procesos, Facultad de Ingeniería, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Colombia. Correo electrónico: [jmontenegro@umariana.edu.co](mailto:jmontenegro@umariana.edu.co)

<sup>2</sup>Grupo de Investigación, Innovación, Desarrollo y Optimización de Procesos (GIIDOP), Programa de Ingeniería de Procesos, Facultad de Ingeniería, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Colombia. Correo electrónico: [hgomajoa@umariana.edu.co](mailto:hgomajoa@umariana.edu.co)

<sup>3</sup>Grupo de Investigación, Innovación, Desarrollo y Optimización de Procesos (GIIDOP), Programa de Ingeniería de Procesos, Facultad de Ingeniería, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Colombia. Correo electrónico: [amalte@umariana.edu.co](mailto:amalte@umariana.edu.co)

<sup>4</sup>Grupo de Investigación, Innovación, Desarrollo y Optimización de Procesos (GIIDOP), Programa de Ingeniería de Procesos, Facultad de Ingeniería, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Colombia. Correo electrónico: [leidyesobar@umariana.edu.co](mailto:leidyesobar@umariana.edu.co)



## 1. Introducción

“El desarrollo de polímeros sintéticos es considerado uno de los grandes avances del siglo XX, debido a la multiplicación de sus posibilidades de uso, no solo en la industria sino en la vida cotidiana” (Valero-Valdivieso et al., 2013, p. 171). La popularidad de los plásticos dentro de la sociedad radica en que son livianos, económicos, inalterables y resistentes a la oxidación, entre otras características que los ponen en la pirámide de los productos de uso cotidiano con mayor versatilidad; algunas de estas características también se constituyen como desventajas, debido a que son residuos de difícil eliminación, su acumulación causa daños ambientales y pérdidas económicas para los gobiernos (Valero-Valdivieso et al., 2013). Los biopolímeros suponen una salida, ya que su procesamiento puede ser similar al de los plásticos convencionales; son basados en fuentes renovables provenientes de fuentes como el almidón o celulosa (Valero-Valdivieso et al., 2013). El enfoque del presente estudio fue el aprovechamiento de los residuos (semillas de aguacate y mango) como fuentes de almidón, debido a que, una vez se generan, se consideran como desechos y son dispuestos en el relleno sanitario; una vez allí siguen siendo foco de contaminación, sin tener una utilidad diferente (Guzmán y Macías, 2012).

## 2. Metodología

### 2.1 Caracterización del almidón extraído de las fuentes de almidón

#### 2.1.1 Extracción de almidón semilla de aguacate y de mango

Las semillas de aguacate se lavaron y se cortaron con ayuda de un rallador manual, para evitar el proceso de oxidación se realizó un pretratamiento con la adición de ácido acético comercial (concentración 3-5 %) en relación 1:1; luego se agregó en relación 1:1 muestra/agua, que se usó para simplificar el proceso de trituración. Para las semillas de mango, se siguió la metodología planteada por Ruiloba et al. (2018). Luego, la semilla de aguacate y de mango, por separado, se redujeron de tamaño usando la licuadora industrial, marca *Te Equipos* de 12 l. Posterior a ello, se filtraron por medio de un tamiz (*Alphalabs*) N.º 100. La mezcla se la dejó al aire libre durante 6 horas para obtener la precipitación de la pulpa de la semilla. El precipitado se secó en el horno *Thermo Electron Led 6 Mhb OMS60*, a 70 °C durante 2.5 horas. De esta manera, se obtuvo el polvo seco de almidón; se adaptó la metodología de Akbar et al. (2013) para el tamizado.

#### 2.1.2 Cuantificación de almidón

Se realizó la curva de calibración siguiendo la metodología de Schneider et al. (2010), la cual se la adaptó para el presente estudio. Se midió la absorbancia en el espectrofotómetro UV vis *Thermo Scientific GENESYS*, a 610 nm.

#### 2.1.3 Humedad

Se utilizó el método seco en termobalanza descrito por Benavides et al. (2018). El porcentaje de humedad lo generó el equipo mediante la diferencia de peso.



### 2.1.4 Temperatura de gelatinización

Se siguió la metodología descrita por Aristizábal y Sánchez (2007) y Benavides et al. (2018). Posteriormente, de la formación de la pasta, con la ayuda de un termómetro, se tomó el valor de la temperatura.

## 2.2 Evaluar la calidad de las películas de bioplástico a partir del almidón de semillas de aguacate y mango

### 2.2.1 Preparación de la película por el método Casting

Se siguió y adaptó la metodología planteada por Ruiloba et al. (2018). Se colocó en un Erlenmeyer almidón de semilla de aguacate o de mango y agua, manteniendo las proporciones de 1:3 (m/v), después se agregó 1,2 mL ácido acético (5 % acidez) /g al almidón de semilla, se adicionó glicerina 1.2 mL/g almidón como plastificante, luego se agitó la mezcla continuamente mientras se calentaba, hasta que ocurrió la gelatinización. Posteriormente, se colocó la mezcla sobre una placa Petri, engrasada con aceite vegetal para evitar la adherencia. Finalmente, se dejó la mezcla en el horno digital de precisión marca *Pinzuark*, a 30 °C por 9 días, esto con el fin de evitar que las muestras absorban humedad del ambiente (ver Figura 1).

### Figura 1

Proceso de extracción de almidón



*Nota.* De izquierda a derecha: proceso de rallado de semilla de aguacate, pretratamiento con ácido acético, proceso de trituración en licuadora de tipo industrial, precipitación de la mezcla, secado y disminución de tamaño y tamizado. Endocarpio, rallado de semilla de mango, proceso de triturado en licuadora industrial, precipitación del almidón, disminución de tamaño, almidón seco.

### 2.2.2 Ensayos mecánicos

La prueba de resistencia a la tensión se evaluó de acuerdo con la norma ASTM D638-10 adaptada. Se utilizó una probeta de 12 mm de ancho y 20 mm de largo, donde se ejerció una fuerza hasta la ruptura.

El otro ensayo mecánico fue la prueba de elongación, que se calculó a partir de la prueba de resistencia y la diferencia entre los valores calculados experimentalmente, siguiendo la metodología de González-Cuello et al. (2017).



### 2.2.3 Diseño Experimental

Se planteó un diseño experimental multifactorial de respuesta con tres niveles en cada factor ( $3^3$ ), las variables de respuesta fueron la resistencia (kPa) y elongación (%) de las biopelículas. Se realizó un análisis de varianza ANOVA, con un nivel de confianza de 95 %, posterior a ello, se realizó una prueba Tukey. En la Tabla 1 se observa el diseño experimental.

**Tabla 1**

*Diseño experimental*

ID	Almidón de aguacate (%)	Almidón de mango (%)	Agua (%)
M1	20	50	20
M2	20	80	80
M3	50	50	20
M4	80	80	50
M5	50	20	80
M6	50	80	50
M7	50	20	20
M8	50	80	20
M9	20	80	50
M10	20	20	50
M11	20	20	20
M12	80	50	80
M13	80	80	20
M14	50	20	50
M15	20	50	80
M16	50	80	80
M17	80	20	80
M18	50	50	50
M19	20	20	80
M20	80	20	20
M21	80	50	20
M22	80	80	80
M23	50	50	80
M24	20	80	20
M25	80	50	50
M26	80	20	50
M27	20	50	50



Los valores de agua se establecieron de acuerdo con los criterios de Fernández y Ruiz (2016). El valor ideal expresado en porcentaje fue del 80 %; se estableció tres niveles, uno por encima y otro por debajo de este valor (20, 50 y 80), siendo el 80 %, en este caso, el nivel intermedio. Para los valores de almidón se estableció tres niveles, que representan el nivel intermedio de este estudio.

### 3. Resultados

#### 3.1 Caracterización del almidón extraído de las fuentes de almidón

##### 3.1.1 Cuantificación del almidón

Luego de realizar la medición de la absorbancia, la cuantificación del porcentaje de almidón de aguacate fue de 37,45 % y para mango fue de 43,22 %. La variación de los porcentajes de obtención de almidón puede estar relacionada con las metodologías utilizadas. Ortiz (2019) menciona que una de las variables que afecta el resultado de la extracción puede ser el tiempo de sumersión de la semilla, proceso realizado para el acondicionamiento de la materia prima. Otra de las variables que inciden en el resultado de porcentaje de extracción es el tamaño de dichos gránulos (Izagirre et al., 2011; Ortiz, 2019).

##### 3.1.2 Humedad

El valor obtenido de humedad fue de 11,825 % para el almidón de aguacate, y de 14,073 % para el almidón de mango, valor aceptable dentro de la escala de Moorthy (2012), quien señala que el contenido de humedad de los almidones varía entre 6-16 %, teniendo en cuenta que contenidos superiores pueden conducir a daño microbiano y subsecuente deterioro de la calidad (Meaño et al., 2014). Las variaciones pudieron ser por las diferencias entre las características como clima, suelo, el tiempo de recolección de la fruta o región donde se produce; los resultados también pueden variar por la etapa de maduración del fruto y de las semillas (Nzikou et al., 2010; Gutiérrez et al., 2015).

##### 3.3.3 Temperatura de gelatinización

La temperatura de gelatinización, de manera experimental, para el almidón de mango fue de 80 °C y para el almidón de aguacate fue de 76°C. Hernández (2018) señala que las temperaturas de gelatinización con mayor concentración de almidón suelen pasar los 50 °C. Las propiedades de gelatinización están relacionadas con la masa molar, con la composición del almidón (relación amilosa/amilopectina) y con la estructura del gránulo (relación entre el amorfo y el cristalino regiones), que varían según el origen del almidón (Hu et al., 2016; Ferraza et al., 2018).

#### 3.2 Obtención de las biopelículas

##### 3.2.1 Obtención de las películas

Los valores de agua se establecieron según Fernández y Ruiz (2016), el valor ideal expresado en porcentaje es de 80 %; por lo tanto, se estableció tres niveles, uno

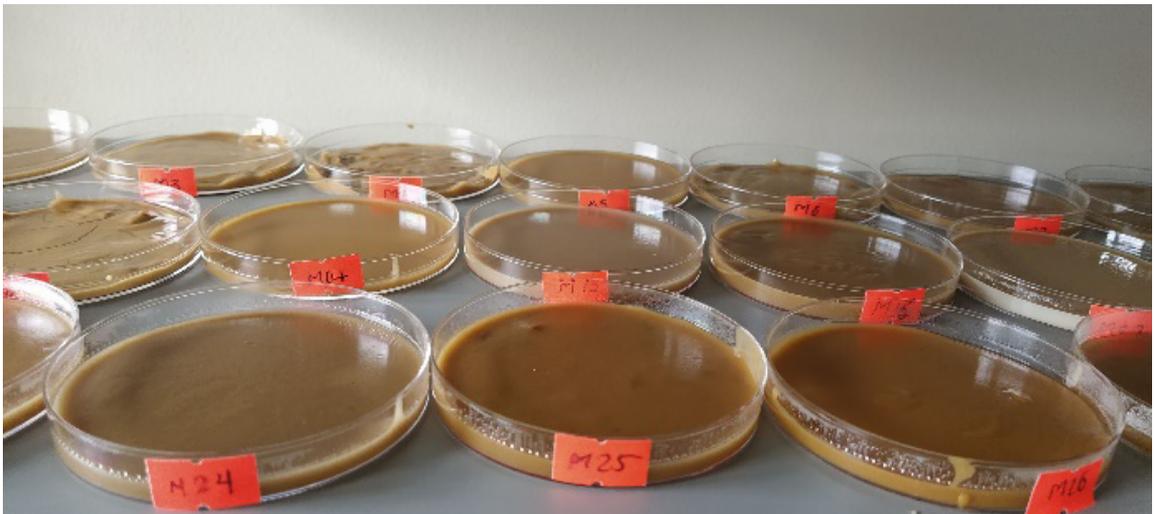


por encima, y otro por debajo de este valor (20, 50 y 80), siendo el 80 %, en este caso, el nivel intermedio. Para los valores de almidón se estableció tres niveles, que representan el nivel intermedio de este estudio. La formulación utilizada para el presente estudio tuvo como fase inicial una revisión teórica, donde se estableció los valores en gramos para los almidones y el porcentaje de agua, los cuales fueron descritos en la metodología de la presente investigación.

En cada muestra se mezcló valores diferentes (gramos) de almidón de semilla de aguacate y mango, como también de agua (mL), según lo descrito en el diseño experimental, en la Figura 2 se puede observar los resultados.

## Figura 2

### Muestras de películas



### 3.2.2 Elongación de las películas

Según Fernández y Vargas (2015), los valores de porcentaje de elongación para los bioplásticos están en un rango de 27-900 %, que pueden ser comparados con los valores que se encitraron en esta investigación: entre el 115,3 % y el 340 %. Cortés et al. (2014) refiere:

Las películas tienden a absorber grandes cantidades de agua a partir del momento de su producción, causando una disminución en el esfuerzo e incremento en la elongación debido a que el agua absorbida actúa como un plastificante que incrementa la movilidad de la cadena polimérica. (p. 92)

Las propiedades de elongación van a obtener valores más altos cuando se emplean temperaturas más bajas y mayores concentraciones de plastificante (Oropeza et al, 2016). Para esta investigación, el factor con mayor incidencia sobre la elongación es el porcentaje de aguacate, con un nivel de confianza del 95,0 %. La prueba Tukey



para elongación y su análisis de medias permitió determinar que los niveles donde existen diferencias significativas fueron 20-50 y 20-80.

### **3.2.3 Análisis del diseño experimental**

La muestra 10 con 20 % almidón aguacate, 20 % almidón mango y 50 % agua cumple al menos una de las características, de las variables analizadas. El análisis permite establecer que la resistencia (kpa) y la elongación (%) deben ser los datos máximos combinados de la experimentación para lograr evaluar la hipótesis de la investigación. Para concluir, se puede decir que, aunque en la mayoría de las pruebas realizadas se encontró un valor  $p < 0,05$ , la hipótesis planteada para esta investigación no puede ser aceptada, debido a que dentro del proceso de obtención de películas biopoliméricas, estas no cumplen con lo establecido en la Resolución 683 del 2012, sin embargo, se propone seguir estudiando y trabajando con estas biopelículas.

## **4. Conclusiones**

Se realizó en total 54 muestras, de las cuales se definió que las películas que tienen igual contenido de almidón de las dos semillas dieron como resultado características más sobresalientes, de esta manera, el biopolímero resultado puede ser estudiado para un uso potencial.

La variación del porcentaje de almidón de semillas presentó incidencias directas significativas en cuanto a la resistencia y la elongación de las películas, variables estudiadas para el diseño experimental.

Se plantea, en esta investigación, que, por las características encontradas, el material debe ser evaluado para posibles usos alternos a los de la normatividad como películas biopoliméricas, para recubrimiento de alimentos, teniendo en cuenta que existen estudios que lo demuestran.



## Referencias

- Akbar, F., Zullisma, A., & Harap, H. (2013). Pengaruh waktu simpan film plastik biodegradasi dari pati kulit singkong terhadap sifat mekanikalnya. *Jurnal teknik kimia USU*, 2(2), 11-15. <https://doi.org/10.32734/jtk.v2i2.1431>
- Aristizábal, J. y Sánchez, T. (2007). *Guía técnica para la producción y análisis de almidón de yuca*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). <http://www.fao.org/3/a1028s/a1028s00.htm>
- Benavides, Y., Charfuelan, A. y Valenzuela, F. (2018). *Aprovechamiento de la papa (Solanum tuberosum) tipo cuarta categoría del municipio de Cumbal, Nariño para la obtención de bioempaques* [Tesis de pregrado inédita]. Universidad Mariana.
- Castillo F. (2016). Materiales y sus propiedades. *Cautitlan Izacalli*. [http://olimpia.cautitlan2.unam.mx/pagina\\_ingenieria/mecanica/mat/mat\\_mec/m1/materiales\\_1.pdf](http://olimpia.cautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m1/materiales_1.pdf)
- Cortés, J., Fernández, A., Mosquera, S. y Velasco, R. (2014). Evaluación de propiedades mecánicas ópticas y de barrera en películas activas de almidón de yuca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(1), 88-97. DOI: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v12n1/v12n1a11.pdf>
- Fernández, J. y Vargas, P. (2015). *Elaboración de un plan de negocios para determinar la factibilidad de la producción de bioplásticos a partir de papa en contra de la contaminación en Colombia* [Tesis de pregrado, Universidad Militar Nueva Granada]. RI UMNG. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/13350>
- Ferraza, C., Fontes, R., Fontes, G., Calado, V., López, O. y Rocha, M. (2018). Extraction, modification, and chemical, thermal and morphological characterization of starch from the agroindustrial residue of mango (*Mangifera indica* L) var. Úba. *Starch: Biosynthesis Nutrition Biomedical*, 71(1-2), 1-4. <https://doi.org/10.1002/star.201800023>
- González-Cuello, E., Pérez-Mendoza, J. y García-Zapateiro, L. (2017). Efecto de la adición de goma gelana sobre las propiedades de barrera y físico mecánicas de biopelículas binarias. *Información Tecnológica*, 28(1), 143-150. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000100014>
- Gutiérrez, C., Rivera, Y., Gómez, R., Bastidas, V. y Izaguirre, C. (2015). Extracción y caracterización de grasa y almidón de la almendra de mango variedad Alphonso (*Mangifera indica* L). *Revista Facultad de Farmacia*, 57(2), 33-42.
- Guzmán, M. y Macías, C. (2012). El manejo de los residuos sólidos municipales: un enfoque antropológico. El caso de San Luis Potosí, México. *Estudios sociales*, 20(39), 235-262. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41723281009>
- Hernández, K. (2018). *Formulación y caracterización de películas comestibles de almidón de papa nativo y modificado* [Tesis de pregrado, Universidad Veracruzana, Instituto de Ciencias Básicas]. Archivo Digital. <https://www.uv.mx/mca/files/2018/01/KAREN-ANNAI-HERNANDEZ-CABRERA.pdf>



- Hu, H., Liu, W., Shi, J., Huang, Z., Zhang, Y., Huang, A., Yang, M., Qin, X., & Shen, F. (2016). Structure and functional properties of octenyl succinic anhydride modified starch prepared by a non-conventional technology. *Starch-Stärke*, 68(1-2), 151- 159. <https://doi.org/10.1002/star.201500195>
- Izaguirre, A., Lanas, J. y Álvarez, J. (2011). Efecto de un polímero natural biodegradable en las propiedades de morteros de cal en estado endurecido. *Materiales de Construcción*, 302, 257-274. <https://doi.org/10.3989/mc.2010.56009>
- Meaño, N., Ciarfella, A. y Dorta, A. (2014). Evaluación de las propiedades químicas y funcionales del almidón nativo de ñame Congo (dioscorea bulbifera l) para predecir sus posibles usos tecnológicos. *Saber Revista Multidisciplinar del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, 26(2), 182-187. <https://www.redalyc.org/pdf/4277/427739467011.pdf>
- Moorthy S. (2012). Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches: A Review. *StarchStärke*, 54(12), 559-592. [https://doi.org/10.1002/1521-379X\(200212\)54:12<559::AID-STAR2222559>3.0.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/1521-379X(200212)54:12<559::AID-STAR2222559>3.0.CO;2-F)
- Nzikou, J., Kimbonguila, A., Matos, L., Loumouamou, B., Pambou, N., Ndangui, C., Abena, A., Silou, T., Scher, J., & Desobry, S. (2010). Extraction and characteristics of seed kernel oil from mango (*Mangifera indica*). *Researcha Journal of Environmental and Earth Sciences*, 2(1), 31-35.
- Oropeza, R., Montes, A. y Padron, C. (2016). Películas biodegradables a base de almidón: propiedades mecánicas, funcionales y biodegradación. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 7(1), 065-093. <http://oaji.net/articles/2017/4924-1495587302.pdf>
- Ortiz, M. (2019). *Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (Mangifera indica) con aplicación potencial en envases* [Tesis de pregrado, Universidad del Bosque]. Repositorio Universidad del Bosque. <https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/2106>
- Resolución 683 de 2012. (2012, 28 de marzo). Ministerio de Salud y Protección Social. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-0683-de-2012.pdf>
- Ruiloba, I., Li, M., Quintero, R. y Correa, J. (2018). Elaboración de bioplástico a partir de almidón de semillas de mango. *RIC Revista de Iniciación Científica*, 4(2), 28-32. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v4.0.1815>
- Valero-Valdivieso, M., Ortegón, Y. y Uscategui, Y. (2013). Biopolímeros: Avances y perspectivas. *Dyna*, 80(181), 171-180. <https://www.redalyc.org/pdf/496/49628728019.pdf>



# Evaluación del extracto obtenido de la cáscara de papaya y su posible uso como colorante alimentario

Lesly Jhanela Cruz Romo<sup>1</sup>

Stephanie Geraldine Rosero Achicanoy<sup>2</sup>

**Cítese como:** Cruz-Romo, L. J. y Rosero-Achicanoy, S. G. (2022). Evaluación del extracto obtenido de la cáscara de papaya y su posible uso como colorante alimentario. En L. E. Vera-Hernández (Ed.), *Sostenibilidad de procesos desde la economía circular en el contexto de la pospandemia covid-19* (pp. 26-44). Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.163.c4>

## Resumen

La cáscara de papaya es un residuo orgánico que se genera durante todo el año en grandes cantidades, causando efectos negativos sobre el medioambiente. Por otra parte, la industria alimentaria emplea colorantes sintéticos que pueden ser perjudiciales para la salud de las personas, por ejemplo, el colorante número 5 (tartrazina). Por lo tanto, la presente investigación propone una solución para ambas problemáticas, la obtención de un colorante natural con propiedades nutraceuticas a partir de este residuo, que pueda ser usado como aditivo en la industria alimentaria. La obtención del colorante se realizó mediante la extracción asistida por ultrasonido, en donde se usó etanol en concentraciones de 60, 75 y 90 % y a temperaturas de 20 y 40 °C; seguidamente, se realizó la cuantificación de polifenoles mediante el método de UV-vis. Finalmente, se concluyó que la mejor extracción fue por ultrasonido durante 60 minutos, a una concentración de solvente de 60% y temperatura de 20 °C, con una cantidad de polifenoles de  $1268,35 \pm 21,01$ , expresados en mg de ácido gálico por cada 100 gramos de muestra; asimismo, se observó que el extracto obtenido puede ser una buena alternativa a un colorante sintético.

**Palabras clave:** cascara de papaya, colorante natural, colorante sintético, polifenoles.

## 1. Introducción

Dentro de la industria alimenticia, el uso de colorantes es de gran importancia, ya que estos causan la primera impresión del consumidor hacia el producto; sin embargo, el uso de colorantes sintéticos ha presentado bastantes controversias en los últimos años, incluso, en algunos países, su uso se ha prohibido debido a que un consumo elevado de estos trae consecuencias en la salud de las personas a largo plazo (Valle y Florentino, 2000).

<sup>1</sup>Programa de Ingeniería de Procesos, Facultad de Ingeniería, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Colombia. Correo electrónico: leslucruz@umariana.edu.co

<sup>2</sup>Programa de Ingeniería de Procesos, Facultad de Ingeniería, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Colombia. Correo electrónico: strosero@umariana.edu.co



Es por ello que, en la actualidad, existe una tendencia a buscar productos que sean amigables con el medioambiente y que no afecten la salud de las personas; por tal motivo, se busca reemplazar el uso de colorantes artificiales por colorantes de origen natural (Sánchez, 2013).

Un ejemplo de colorantes sintéticos es la tartrazina. Se sabe que este colorante puede producir efectos tóxicos en personas que son alérgicas a la aspirina o que sufren de migraña e insomnio, además, intensifica los síntomas del asma y otras alergias. Por lo anteriormente mencionado, en algunos países europeos se ha pedido, a las personas, la eliminación voluntaria de la tartrazina junto con otros cinco colorantes químicos, debido al vínculo reportado con la hiperactividad en los niños y algunas enfermedades en las personas (McCann et al., 2007).

Teniendo en cuenta lo anterior, uno de los colorantes sintéticos que se busca reemplazar es el colorante número 5 (tartrazina), el cual es usado en la elaboración de dulces, bebidas, snacks empacados, sopas instantáneas, yogur, mermeladas, entre otros; debido a que varios expertos aseguran que el uso excesivo de este colorante puede ocasionar hiperactividad en los niños y, además, puede ser cancerígeno (Valle y Florentino, 2000).

Por otra parte, la papaya es un fruto que se produce a lo largo de todo el año, lo cual indica que se encuentra en una constante generación de residuos de tipo orgánico.

La contaminación producida por [este] tipo de residuos sólidos (...) tiene gran efecto negativo en la comunidad circundante. Aparte de generar un mal aspecto causado por la acumulación de residuos en las vías públicas, se tiene el deficiente sistema en los rellenos sanitarios lo cual crea una proliferación de plagas, enfermedades, malos olores y problemas de salud. (González, 2017, p. 4)

Por lo anterior, en el presente trabajo de investigación se quiere dar a conocer el estudio de la obtención de un colorante de origen natural con propiedades nutraceuticas a partir de la cascara de papaya, con el fin de reemplazar el colorante N.º 5 y que pueda ser usado en la fabricación de distintos productos alimenticios. El proceso de obtención se realizó mediante ultrasonido en escala laboratorio, donde se utilizó como solvente etanol en tres concentraciones diferentes 60 % 75 % y 90 %, seguidamente se realizó mediciones del contenido de polifenoles presentes en el extracto. Al finalizar esta investigación, se determinará si la cascara de papaya puede ser aceptada como materia prima para la elaboración de colorantes naturales, que presente en su composición compuestos bioactivos (polifenoles), además, que no afecte la salud de las personas.

## 2. Desarrollo de la investigación

### 2.1 Planteamiento del problema

Colombia produce alrededor de 125.000 toneladas de papaya por año, de las cuales, aproximadamente 8.000 toneladas son producidas por el departamento de Nariño en las variedades maradol y hawaiana (Agronet, 2018).



Como se mencionó anteriormente, la papaya es una fruta que genera residuos orgánicos a lo largo de todo el año, como la cáscara y las semillas. Según López-Martínez (2020), representan el 12 % y 8,5 %, respectivamente del peso total del fruto; comúnmente estos residuos son desechados en recipientes de basura orgánica, generando factores como malos olores y presencia de insectos, pero también, en algunos casos, son usados como abono orgánico para plantas, de tipo domésticas o huertas pequeñas.

Estos residuos poseen algunos componentes que los hacen atractivos para varios sectores, por ejemplo, el industrial alimentario y el químico, los cuales, hoy en día, presentan una dificultad específica causada por la búsqueda de alternativas de origen natural para la sustitución de los colorantes sintéticos, debido a que este tipo de colorantes resultan perjudiciales a largo plazo para la salud de los consumidores, como es el caso del colorante amarillo N.º 5, también llamado tartrazina, que es uno de los colorantes artificiales más utilizados en la industria alimenticia, utilizado para pigmentar alimentos dentro de la gama de colores anaranjados y amarillos (Arroyave et al., 2008). Este colorante es usado principalmente en la fabricación de productos de pastelería, repostería, confitería, botanas y bebidas de frutas; la dosis de uso requerida para la pigmentación del producto es del 0,01 % del total del alimento, dependiendo de la intensidad de color a la que se desea llegar (Chaparro et al., 2010).

Por otra parte, se identificó que la pulpa y cáscara de papaya contienen compuestos bioactivos tales como polifenoles y carotenoides, estos últimos son los encargados de brindarle al fruto la característica del color de tipo naranja o amarillo. Estas propiedades pueden ser aprovechadas en la elaboración de un colorante natural a partir de la cascara de papaya, como alternativa del colorante sintético número 5 y así lograr diversificar y dar a conocer nuevas fuentes de obtención de colorantes naturales, minimizando las problemáticas identificadas en el sector productivo de la industria alimentaria.

## 2.2 Metodología

### 2.2.1 Recolección de materia prima

Fue obtenida por medio de un proveedor de fruta que labora en la plaza de mercado potrerrillo del municipio de Pasto. La recolección se la realizó semanalmente, adquiriendo 4 guacales de papaya maradol (cada guacal contiene aproximadamente 30 papayas de tamaño medio). Igualmente, se verificó que su textura sea firme y libre de áreas blandas al tacto, que no muestre magulladuras, manchas, cicatrices, agujeros y que se encuentren en un estado de madurez comercial lista para el consumo.

### 2.2.2 Acondicionamiento de las cáscaras de papaya

**2.2.2.1 Lavado del fruto.** El lavado de las papayas se realizó con agua, para eliminar las impurezas y suciedad presente en la materia prima, con el fin de que las cáscaras se encuentren en óptimas condiciones y así continuar con el proceso.



**2.2.2.2 Pelado y despulpado.** El pelado de las papayas se realizó con un pelador de cuchilla, con el fin de obtener la cáscara con la menor cantidad de pulpa, sin embargo, fue necesario retirar toda la pulpa que queda adherida a la cáscara por medio de un cuchillo y un bisturí.

### **2.2.3 Caracterización fisicoquímica de las cáscaras de papaya**

Para la caracterización se llevó a cabo una prueba de color y medición de grados Brix, que servirán para la determinación de estado de madurez del fruto.

**2.2.3.1 Determinación de color.** La evaluación del color se llevó a cabo mediante un colorímetro digital marca Lutron de modelo RGB-1002. La medición de color se realizó por triplicado en diferentes cascara de papaya (López y Di Sarli, 2016). Los datos de las coordenadas de color R, G y B, dadas por el colorímetro, fueron convertidos a coordenadas de la escala CIELab\*, para dicha conversión se utilizó el software EasyRGB 2010, el cual, además de convertir las coordenadas de color de una escala a otra, indica el rango de color en el que se encuentra la muestra, por medio de la lectura y análisis de las coordenadas obtenidas por el colorímetro.

**2.2.3.2 Grados Brix.** Para la medición de grados Brix, se hizo uso de un refractómetro de mano digital OPTI de escala 0 a 90 grados, se tomó una muestra de la cáscara a temperatura ambiente y se la ubicó sobre el prisma del refractómetro; seguidamente, se realizó la lectura de los grados brix en cada una de las muestras (Giraldo et al., 2017).

### **2.2.4 Secado de las cascara de papaya**

Se realizó una deshidratación de la cáscara de papaya usando un secador de bandejas (FIQ LTDA) ubicado en la planta pilote de la sede Alvernia de la Universidad Mariana, a una temperatura de  $30 \pm 5$  °C, con corriente de aire, manteniéndose constante hasta el final del secado. Las muestras de cáscara se dejaron durante 24 horas teniendo un porcentaje de humedad del  $20 \% \pm 2$ , como lo recomienda Tapia et al. (2018). El porcentaje de humedad se midió todos los días por medio de la ecuación 1, con el fin de asegurar que todas las cáscaras presenten un porcentaje igual de humedad.

$$\% \text{ Humedad} = (\text{Peso inicial} - \text{Peso final}) / (\text{Peso inicial}) * 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

### **2.2.5 Molienda**

Se realizó mediante un molino industrial marca victoria VH750-C, teniendo un tamaño de partícula uniforme de  $425 \mu\text{m}$ , tal como se realizó en el estudio de Tarazona et al. (2020). Una vez se finalizó el proceso, las muestras se guardaron en bolsas de cierre hermético y se almacenaron en un desecador para aislarlas de la humedad del ambiente.

### **2.2.6 Extracción del colorante a partir de la cáscara de papaya**

**2.2.6.1 Extracción asistida por ultrasonido.** Se usó el ultrasonido BRASON 3800 ubicado en los laboratorios de química de la universidad Mariana. Como solvente se utilizó etanol en concentraciones de 60 %, 75 % y 90 % y se tuvo en cuenta una



relación g de cáscara sobre mL de solvente de 1:40. Asimismo, una variación de temperatura de 20 y 40 °C en un tiempo de extracción de 3 horas. Para esta etapa del proceso, se usa matraces Erlenmeyer, los cuales deben cubrirse con papel aluminio y se sumergirá en el baño ultrasónico a una frecuencia de 40KHz -154 W (Marcante et al., 2020).

**2.2.6.2 Diseño experimental extracción por ultrasonido.** Se realizó un diseño factorial teniendo como factores al solvente y la temperatura, con tres niveles que indican las concentraciones del solvente (60 %, 75 % y 90 %) y la variación de temperatura de 20, 40 °C. Se considera como variable de respuesta la concentración de compuestos bioactivos.

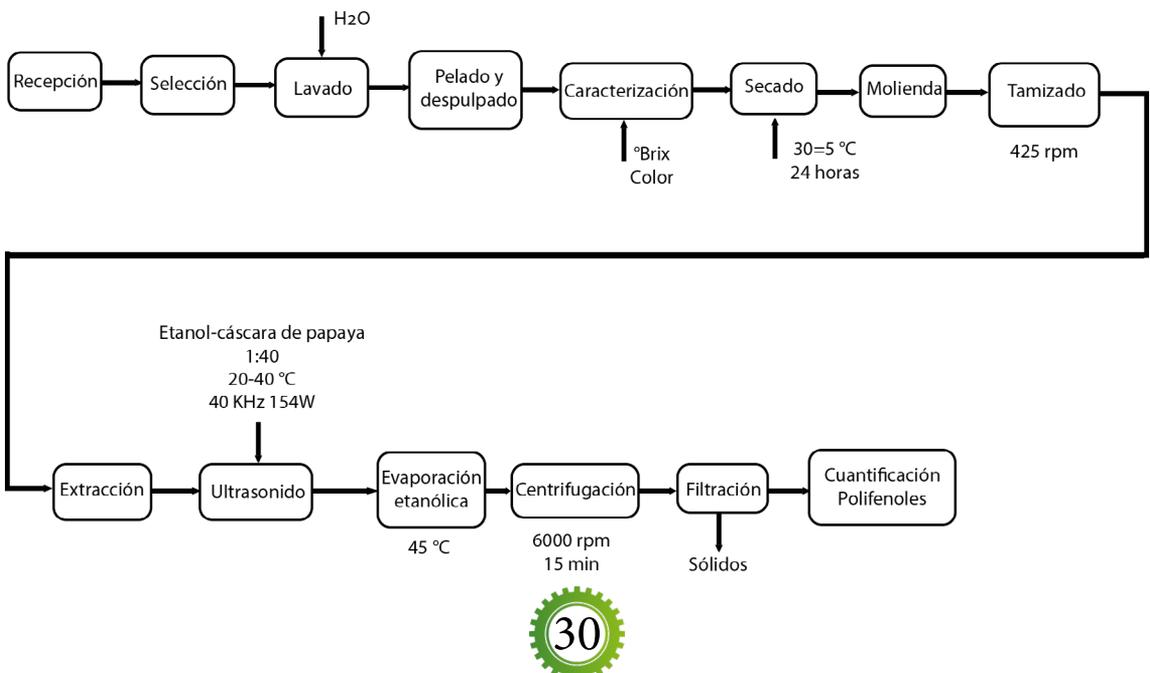
Seguidamente se hizo un análisis de varianza ANOVA mediante el software SPSS con el que se determinó la existencia de diferencias estadísticas significativas con una probabilidad de error menor al 5 % dichas diferencias fueron realizadas mediante la prueba de rango de TUKEY.

### 2.2.7 Cuantificación de polifenoles

Se realizó por medio del método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu, usando como material de referencia el ácido gálico. Para ello, se mezcló el reactivo de Folin diluido con las diluciones apropiadas de la muestra y la absorbancia se midió a una longitud de onda de 760 nm. Para la concentración de fenoles se tuvo en cuenta la expresión mg de ácido gálico/100 g de la muestra. Previamente a la medición de polifenoles, se realizó la curva patrón de ácido gálico, para ello, se emplea un patrón de ácido gálico y se diluye con etanol puro a una concentración inicial de 1000 mg/L (solución madre). Posteriormente, 50 mL de la solución madre se prepara con 50 mg de ácido gálico sólido, y se realiza las siguientes diluciones: 25, 50, 100, 200, 400, 500 y 800 mg/L (Galvan et al., 2013; Kosar et al., 2005).

Figura 1

Diagrama de bloques metodología del trabajo de investigación





## 2.3 Resultados y discusión

### 2.3.1 Recolección de materia prima

Se adquirieron alrededor de 600 papayas tipo maradol, de entre 10 y 20 cm de largo y de aproximadamente 1 kg de peso cada una. Se realizó también una selección de materia prima al momento de la adquisición, con el fin de que las papayas obtenidas tengan la cáscara con una mínima cantidad de imperfecciones (manchas, golpeados, etc.) y estén con el color más amarillo posible. Dicha recolección se realizó en la plaza de mercado El Potrerillo, ubicada en la ciudad de Pasto.

### 2.3.2 Lavado de las papayas

Las papayas fueron debidamente lavadas con agua y se retiró las impurezas y suciedad. Este procedimiento se puede apreciar en la Figura 2.

#### Figura 2

*Papaya maradol*



### 2.3.3 Pelado y despulpado

Las papayas se pelaron muy finamente, tratando de retirar la mayor cantidad de pulpa que está adherida a las cáscaras; después, se realizó el proceso de despulpado, con el fin de dejar las cáscaras libres de pulpa. Como resultado de este proceso se tuvo un total de 11,520 kg de cáscara fresca libre de pulpa, teniendo un rendimiento del 15 % en comparación al peso inicial de la cáscara (sin ser retirada la pulpa), lo anterior puede apreciarse en la Figura 3.



**Figura 3**

Diagrama del proceso de pelado y despulpado



### 2.3.4 Caracterización fisicoquímica de la cáscara de papaya

**2.3.4.1 Determinación de color.** La Tabla 2 muestra los resultados de las mediciones de color a las cascara de papaya en escala CIELab ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ), con el respectivo cálculo de las desviaciones, obteniendo como resultado que estas desviaciones son superiores a uno. Por lo tanto, se determinó que esto se debe a que el color de cada una de las papayas es diferente, incluso una sola papaya puede presentar diferentes colores en la parte superior e inferior. Igualmente, las cascara de papaya son delicadas y tienden a oxidarse rápidamente y puede causar una influencia en el resultado de color esperado.

Ahora bien, para el análisis de los datos, se tomó en cuenta lo descrito por Hurtado y Mendoza (2015), quienes evaluaron la luminosidad ( $L^*$ ), tonalidad ( $h^*$ ) y saturación (C), haciendo uso de las siguientes ecuaciones.

$$C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad \text{Ec. (2)}$$

$$h^* = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde:

C = saturación.

$h^*$  = ángulo de tinta ( $^\circ$ ).

$a^*$  = coordenada colorimétrica del eje verde al rojo.

$b^*$  = coordenada colorimétrica del eje azul al amarillo.

Para el caso de estudio, se determinó el promedio de los valores  $a^*$  y  $b^*$ , seguidamente, se aplicó las ecuaciones (2) y (3), de las cuales se obtuvo una saturación de 80,42, indicando que se trata de un color luminoso. Asimismo, para el ángulo de tinta, se obtuvo como resultado 1,40, lo que representa que el color de las cascara de



papaya se encuentran entre las tonalidades de amarillo, esto se pudo confirmar de acuerdo con Rodríguez et al. (2014), quienes evaluaron el color de papayas maradol y determinaron que presenta un ángulo de tinta de 1,49, indicando tonalidades claras de color amarillo.

Teniendo en cuenta lo anterior, se determinó que al presentarse este color en las cascara se indica la presencia de carotenos y betacaroteno; sin embargo, los resultados de otros autores, como Santamaría et al. (2009), son diferentes debido a que se reportan valores de L (57-58), a\* (mayores a 23) y b\*(46), concluyendo así que las papayas presentan tonalidades más anaranjadas en comparación a las que se utilizaron en esta investigación. Asimismo, se estableció que, a pesar de no presentar datos similares a los otros investigadores, las cascara de papaya se encontraban en el estado de madurez indicado para realizar la debida extracción de colorante.

**Tabla 1**

*Medición de color en la cáscara de papaya*

Muestra	L*	a*	b*	Tonalidad
Promedio	96,09 ± 4,49	13,94 ± 15,78	79,20 ± 6,79	

**2.3.4.2 Determinación de sólidos solubles totales.** Se tomó tres muestras por cada guacal de papayas, y se identificó que el contenido de sólidos solubles totales (SST) se encuentra en un rango de 10-13 Brix. De acuerdo con Santamaría et al. (2009), cuando las cáscaras se encuentran en este rango significa que las papayas han alcanzado su estado de madurez óptimo, lo cual permitirá obtener la mayor cantidad de compuestos bioactivos.

**Figura 4**

*Medición de grados brix de las papayas*



**2.3.4.3 Secado de las cáscaras de papaya.** El proceso de secado de las cáscaras de papaya se realizó durante 24 horas, a una temperatura de  $30 \pm 5$  °C; se realizó una curva de secado, con el fin de determinar la humedad y tiempo óptimo de secado de las cáscaras de papaya. Para ello, se tomó en cuenta el peso de la cáscara ingresada y el tiempo, luego, y con los datos obtenidos, se realizó el cálculo de la humedad libre y la velocidad de secado.

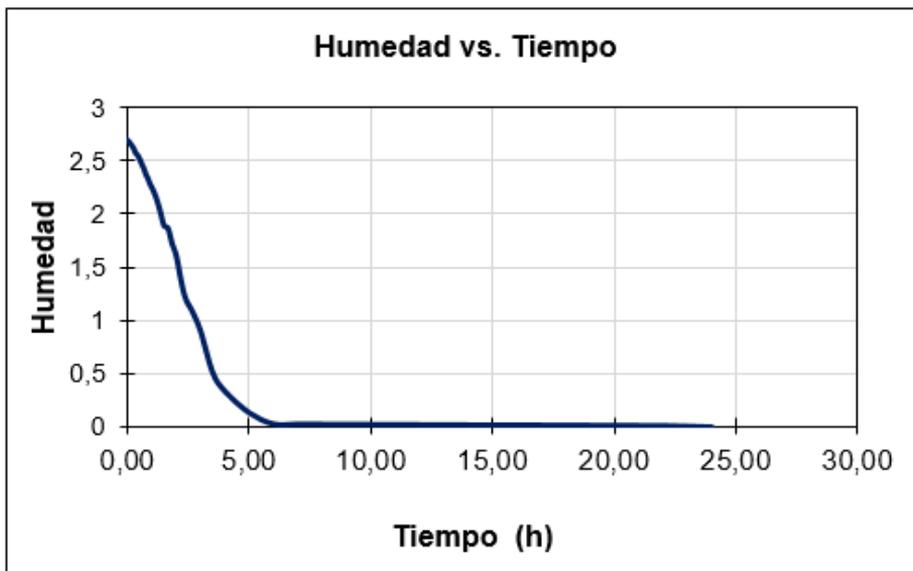


Mediante los datos obtenidos, se realizó las gráficas de humedad (kg agua/kg sólido) vs. tiempo (h) (ver Figura 5) y velocidad de secado (kg agua/h\*m<sup>2</sup>) vs. humedad (kg agua/kg sólido) (ver Figura 6), las cuales describen el comportamiento de las cáscaras de papaya. En cuanto a la Figura 5, se puede determinar que las cáscaras de papaya presentaron un comportamiento adecuado, debido a que la humedad que pierde, el sólido después de un tiempo y con el contacto de la corriente de aire presente en el equipo, permitió obtener un producto con un porcentaje de humedad (20 %), adecuado para el proceso.

Con respecto a la Figura 6, se pudo identificar tres periodos ocurrientes durante el secado: el periodo inicial, el secado constante y la caída del secado. El primer periodo ocurre entre los puntos de humedad libre de 2,69 hasta 2,24 (kg agua/kg sólido), asimismo, se evidencia que la velocidad se mantuvo constante desde una humedad libre de 1,186 hasta 2,15 (kg agua/kg sólido), a una velocidad de 0,158 (kg agua/hm<sup>2</sup>), a partir de este valor la velocidad comenzó a decaer hasta llegar a que la humedad se anule, denominándose como periodo 3, así se dio por terminado el proceso de secado.

### Figura 5

*Humedad vs. tiempo*

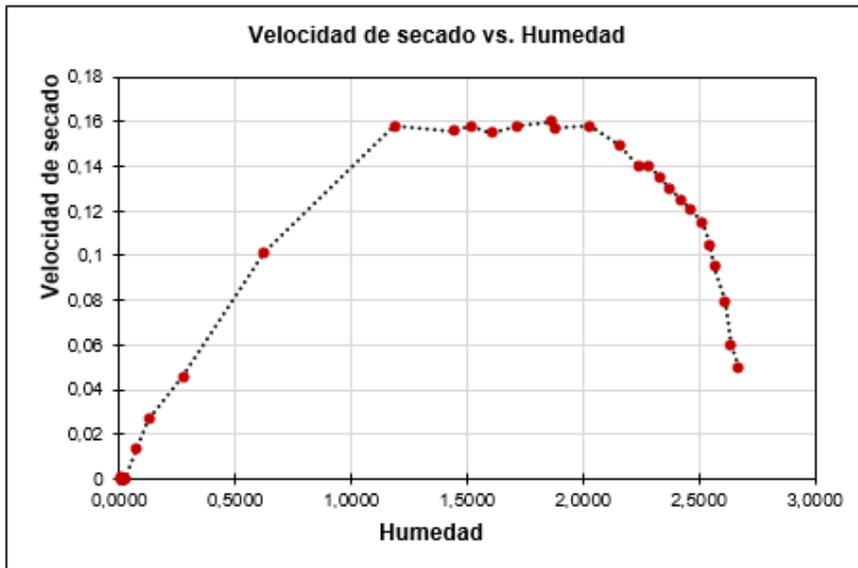


Parte de lo dicho anteriormente con respecto a la Figura 5, se puede constatar en lo afirmado por Pilco (2018), quien evaluó el comportamiento de la cascara de camu-camu (*Myrciaria dubia* HBK) en el secado a 35 °C; el autor identificó que la pérdida constante de humedad se daba entre las primeras 5 horas (300 min); después de este tiempo, la humedad de la cascara se mantuvo constante hasta finalizar el secado, dando valores analizados con un R<sup>2</sup> entre 95 y 98 %.



Figura 6

Velocidad de secado vs. Humedad



Por otra parte, Udomkun et al. (2015), en su investigación, identificó que, al representar la humedad del sólido frente al tiempo en el secado, operando en condiciones de secado y circulando el aire sobre el objeto a secar, se obtienen curvas gracias al comportamiento, similar a lo observado en la Figura 6, en la que, al principio, la humedad del sólido disminuye linealmente con el tiempo de secado, es decir, que durante este periodo la velocidad permanece constante. El secado transcurre a esta velocidad constante hasta que la humedad del sólido alcanza un valor crítico, a partir del cual la velocidad de secado empieza a disminuir, llegando ésta a ser nula cuando la humedad del sólido alcanza el valor de equilibrio, es decir, cuando la humedad libre es cero.

**2.3.4.4 Molienda y tamizado.** El material seco se dispuso en un molino victoria VH750-C, que permitió la reducción de tamaño industrial para que los procesos de extracción sean más eficientes (ver Figura 7). Una vez terminado el proceso de molienda, se procedió a la caracterización del tamaño de partícula por medio de dos tamices número de malla 10 y 40, con un tamaño de abertura de 2 mm y 425  $\mu\text{m}$  respectivamente (ver Figura 8). El porcentaje de retención fue de 30 % y de 45 % para cada uno de los tamices nombrados anteriormente. Este proceso se realizó con el fin de que el producto en polvo sea homogéneo, con un tamaño de partícula de 425  $\mu\text{m}$ . La muestra pulverizada fue empacada en bolsas herméticas y llevada a un desecador para evitar la entrada de humedad.



**Figura 7**

*Molienda de la cascara de papaya*



**Figura 8**

*Tamices utilizados para la investigación*





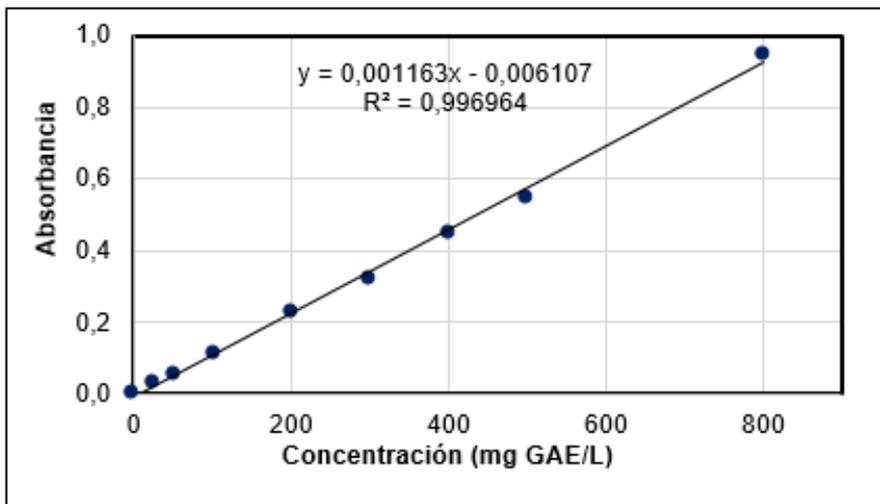
### 2.3.4.5 Extracción del colorante a partir de la cáscara de papaya.

**2.3.4.5.1 Extracción asistida por ultrasonido.** El montaje para la extracción se realizó con el solvente a las diferentes concentraciones (60 %,75 % y 90 %), en un tiempo de 3 horas a temperatura de 20 y 40 °C, seguidamente se tomó muestras en intervalos de tiempo de 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120 y 180 min y se centrifugaron a 6.000 rpm por 15 minutos. El sobrenadante se depositó en frascos ámbar, con el fin de impedir la entrada de luz.

**2.3.4.6 Cuantificación de polifenoles totales.** Los polifenoles totales determinados espectrofotométricamente se cuantificaron por regresión lineal, usando una curva de ácido gálico (ver Figura 9), en un rango de 25-800 mg/L como estándar.

#### Figura 9

Curva de calibración de ácido gálico para la determinación de polifenoles totales



**2.3.4.6.1 Concentración de polifenoles mediante el método de ultrasonido.** En las Tablas 2 y 3 se puede observar los resultados del diseño experimental de dos factores y la aplicación de la prueba Tukey con un nivel de significancia del 5 %, donde se evaluó la cantidad de polifenoles en diferentes periodos de tiempo, cambios de temperaturas y con las distintas concentraciones de solvente.

Teniendo como resultado que, a una temperatura de 20 °C los tiempos de extracción adecuados son de 60, 90 y 180 minutos para concentración de solvente de 60, 75 y 90 % respectivamente, en estos tiempos no se observa diferencias significativas y se logra la mayor extracción de polifenoles totales. Asimismo, a una temperatura de 40 °C los tiempos de extracción fueron de 120, 120 y 180 minutos para concentración de solvente de 60, 75 y 90 %. Cabe resaltar que la toma de muestras se realizó por triplicado.



**Tabla 2**

Concentración de polifenoles en el tiempo a temperatura de 20 °C

Tiempo (min)	Temperatura de 20 °C		
	60 %	75 %	90 %
	mg GAE/100g	mg GAE/100g	mg GAE/100g
5	912,95± 17,65 <sup>a</sup>	457,81 ± 15,76 <sup>a</sup>	616,02 ± 29,39 <sup>a</sup>
10	901,49 ± 40,55 <sup>a</sup>	574,74 ± 22,55 <sup>b</sup>	762,76 ± 22,38 <sup>b</sup>
15	974,86 ± 31,96 <sup>a</sup>	651,56 ± 27,80 <sup>bc</sup>	828,11 ± 36,78 <sup>c</sup>
20	980,59 ± 22,55 <sup>ab</sup>	681,37 ± 27,30 <sup>cd</sup>	912,95 ± 31,21 <sup>d</sup>
30	1065,43 ± 39,86 <sup>bc</sup>	832,70 ± 15,76 <sup>de</sup>	977,15 ± 15,76 <sup>e</sup>
45	1115,87 ± 22,38 <sup>c</sup>	1083,77 ± 29,98 <sup>cde</sup>	1056,26 ± 43,10 <sup>f</sup>
60	1268,35 ± 21,01 <sup>d</sup>	1091,80 ± 45,80 <sup>e</sup>	1160,59 ± 34,62 <sup>f</sup>
90	1288,99 ± 22,90 <sup>d</sup>	1149,12 ± 36,24 <sup>f</sup>	1192,69 ± 28,64 <sup>g</sup>
120	1293,58± 36,24 <sup>d</sup>	1263,77 ± 58,50 <sup>f</sup>	1186,95 ± 5,96 <sup>g</sup>
180	1345,17± 27,52 <sup>d</sup>	1279,82± 20,92 <sup>f</sup>	1204,15 ± 37,20 <sup>h</sup>

Nota: la tabla muestra los resultados del diseño experimental junto con la desviación. Los valores con letras diferentes en la misma fila son significativamente diferentes ( $p < 0,5$ ).

**Tabla 3**

Concentración de polifenoles en el tiempo a temperatura de 40 °C

Tiempo (min)	Temperatura de 40 °C		
	60 %	75 %	90 %
	mg GAE/100g	mg GAE/100g	mg GAE/100g
5	571,31±14,99 <sup>a</sup>	457,81±15,76 <sup>a</sup>	165,46±3,44 <sup>a</sup>
10	585,06±24,80 <sup>a</sup>	574,74±22,55 <sup>b</sup>	170,04±5,25 <sup>a</sup>
15	673,34±19,56 <sup>b</sup>	651,56±27,80 <sup>bc</sup>	250,30±5,25 <sup>b</sup>
20	702,00±5,96 <sup>b</sup>	681,37±27,30 <sup>c</sup>	249,15±11,06 <sup>b</sup>
30	828,11±5,25 <sup>c</sup>	832,70±15,76 <sup>d</sup>	358,06±10,32 <sup>c</sup>
45	904,93±29,39 <sup>c</sup>	1083,77±29,98 <sup>e</sup>	516,28±21,48 <sup>d</sup>
60	1041,35±26,27 <sup>d</sup>	1091,80±45,80 <sup>e</sup>	672,19±20,73 <sup>e</sup>
90	1252,30±60,26 <sup>e</sup>	1149,12±36,24 <sup>e</sup>	855,63±23,41 <sup>f</sup>



120	1344,02±8,66 <sup>f</sup>	1263,77±58,50 <sup>f</sup>	927,85±36,45 <sup>s</sup>
180	1416,25±46,19 <sup>f</sup>	1279,82±20,92 <sup>f</sup>	1035,62±17,20 <sup>h</sup>

Nota: la tabla muestra los resultados del diseño experimental junto con la desviación. Los valores con letras diferentes en la misma fila son significativamente diferentes ( $p < 0,5$ ).

**2.3.4.7 Extracción mediante maceración.** La maceración se llevó a cabo en un periodo de 5 días y el estudio de los datos se realizó mediante un análisis estadístico, haciendo uso del software SPSS; se realizó un análisis de varianza ANOVA y una prueba Tukey con un nivel de significancia del 5 %, con el fin de determinar la relación que existe entre cada una de las muestras e identificar las mejores condiciones de extracción.

En las Tablas 5 y 6 se puede observar la cantidad de polifenoles obtenidos en las diferentes temperaturas y concentraciones utilizadas de solvente, donde se obtuvo como resultado que, a una temperatura de 20 °C los tiempos de extracción adecuados son de 96, 96 y 72 horas para concentración de solvente de 60, 75 y 90 % respectivamente, en estos tiempos no se observó diferencias significativas y se logra la mayor extracción de polifenoles totales. Asimismo, a una temperatura de 40 °C los tiempos de extracción fueron de 48, 72 y 72 horas para concentración de solvente de 60, 75 y 90 %. Cabe resaltar que la toma de muestras se realizó por triplicado.

**Tabla 4**

*Concentración de polifenoles en el tiempo a temperatura de 20 °C*

Tiempo (horas)	Temperatura 20 °C		
	60 %	75 %	90 %
	mg GAE/100g	mg GAE/100g	mg GAE/100g
2	1130,78±7,16 <sup>a,b</sup>	442,90±22,11 <sup>a</sup>	585,06±25,97 <sup>a</sup>
4	1056,26±15,76 <sup>a</sup>	460,10±16,25 <sup>a</sup>	612,58±12,40 <sup>a</sup>
6	1174,34±15,51 <sup>b</sup>	399,34±17,20 <sup>a</sup>	917,54±40,16 <sup>b</sup>
8	1182,37±33,93 <sup>b</sup>	471,56±10,32 <sup>a</sup>	1021,86±19,15 <sup>c</sup>
48	1364,66±20,15 <sup>d</sup>	845,31±42,03 <sup>b</sup>	1134,22±39,86 <sup>d</sup>
72	1497,65±24,16 <sup>e</sup>	932,44±27,30 <sup>b</sup>	1214,47±32,81 <sup>de</sup>
96	1268,35±46,70 <sup>cd</sup>	1067,72±17,31 <sup>c</sup>	1141,10±29,65 <sup>d</sup>
120	1305,04±16,97 <sup>c</sup>	1216,76±8,66 <sup>c</sup>	1263,77±29,25 <sup>e</sup>

Nota: la tabla muestra los resultados del diseño experimental junto con la desviación. Los valores con letras diferentes en la misma fila son significativamente diferentes ( $p < 0,5$ )



**Tabla 5**

Concentración de polifenoles en el tiempo a temperatura de 20 °C

Tiempo (horas)	Temperatura 40 °C		
	60 %	75 %	90 %
	mg GAE/100g	mg GAE/100g	mg GAE/100g
2	575,89±25,81 <sup>a</sup>	431,44±13,02 <sup>a</sup>	340,87±14,99 <sup>a</sup>
4	763,91±14,99 <sup>b</sup>	508,25±10,32 <sup>b</sup>	478,44±18,20 <sup>b</sup>
6	948,49±31,21 <sup>c</sup>	629,77±10,32 <sup>c</sup>	591,94±28,15 <sup>c</sup>
8	696,27±15,89 <sup>b</sup>	1032,18±49,96 <sup>d</sup>	681,37±22,55 <sup>c</sup>
48	1217,91±56,83 <sup>d</sup>	1031,04±13,90 <sup>d</sup>	841,87±13,02 <sup>d</sup>
72	1244,28±32,51 <sup>d</sup>	1109,00±13,90 <sup>e</sup>	946,20±56,31 <sup>de</sup>
96	1183,52±30,57 <sup>d</sup>	1088,36±15,51 <sup>de</sup>	938,17±19,56 <sup>d</sup>
120	1214,47±37,20 <sup>d</sup>	1073,45±39,66 <sup>de</sup>	1078,04±25,81 <sup>e</sup>

*Nota:* la tabla muestra los resultados del diseño experimental junto con la desviación. Los valores con letras diferentes en la misma fila son significativamente diferentes ( $p < 0,5$ ).

### 2.3.5 Determinación del mejor método de extracción

En la Figura 10 se identifica que, en el método de ultrasonido, la mayor cantidad de polifenoles se logra con una temperatura de 40 °C, una concentración de solvente de 60 % y un tiempo de extracción de dos horas con un valor de 1344,02 mg GAE/100 g de muestra.

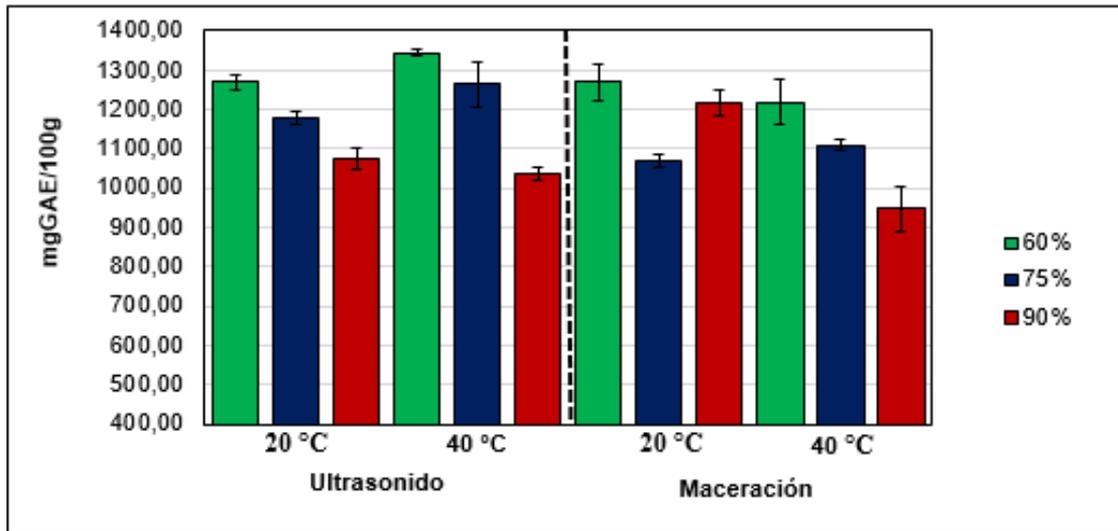
Por su parte, en el método de maceración, las condiciones que mejor se ajustan son las siguientes: temperatura de 20 °C, concentración de solvente 60 % y tiempo de extracción 96 horas, con una cantidad de 1268,35 02 mg GAE/100 g de muestra. De esta manera, se determinó que el método que permite realizar una mejor extracción es el ultrasonido. Lo anterior se pudo confrontar con lo mencionado por Quiroz-Reyes et al. (2013), quien realizó una comparación de los dos métodos para la cuantificación de polifenoles en el cacao, y determino que por medio del método de ultrasonido se logra obtener un mejor resultado, con valores de 25,34 mg GAE/g para ultrasonido y 17,85 mg GAE/g para maceración.

Ahora bien, en cuanto a la cantidad de polifenoles, se obtuvo valores mayores, en comparación con los resultados del estudio de Reyes-Munguia et al. (2016), donde los valores fueron 995 mg GAE/100 g de muestra en las cascara de papaya, o con los resultados del estudio de Raja et al. (2019), quienes reportaron valores de 378 mg GAE/100 g muestra en el epicarpio de papaya.



**Figura 10**

Contenido de polifenoles en diferentes condiciones



### 3. Conclusiones

El acondicionamiento de la materia prima es un proceso complejo debido a que las cáscaras son delicadas y tienden a oxidarse con rapidez, por ello, deben secarse en el menor tiempo posible. Igualmente, el despulpado es una etapa a destacar, debido a que si las cáscaras ingresan al secado con pulpa estas tienden a quemarse.

La caracterización fisicoquímica de las cáscaras indica que el color es el adecuado y que puede existir la presencia de los compuestos activos de interés; sin embargo, esta es una característica muy variable, ya que una sola papaya puede presentar distintas tonalidades. En cuanto a la cantidad de sólidos solubles totales, se concluye que las papayas se encontraban en el estado de madurez de consumo con valores de 11 °Brix.

Por otra parte, mediante la cuantificación de polifenoles, se logró determinar que el mejor método de extracción es el ultrasonido y se debe manejar condiciones de temperatura de 40 °C, un tiempo de dos horas y una concentración de solvente del 60 %.



## Referencias

- Agronet, (2018). Área, producción y rendimiento nacional por cultivo. Agronet MinAgricultura. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1#>
- Arroyave, J., Garces, L., Arango, A. y Agudelo, C. (2008). La Tartrazina, un colorante de la industria agroalimentaria, degradado mediante procesos de oxidación avanzada. *Revista lasallista de investigación*, 5(1), 20-26. <https://www.redalyc.org/pdf/695/69550105.pdf>
- Chaparro, M., Paredes, M., Díaz, B., Hoyos, V. y Ninco, A. (2010). Sustitución de colorante artificial por natural en conservas de cereza marrasquino. *Alimentos Hoy Revista de la Asociación Colombiana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 19(20), 2-12. <https://alimentos hoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/view/59/57>
- Galvan D' Alessandro, L., Vauchel, P., Przybulski, R., Chataigné, G., Nikov, I. y Dimitrov, K. (2013). Integrated process extraction-absorption for selective recovery of antioxidant phenolics from Aronia melanocarpa berries. *Separation and purification technology*, 120, 92-101. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2013.09.027>
- Giraldo, G., Cruz, C. y Sanabria, N. (2017). Propiedades físicas del jugo de uchuva (*Physalis peruviana*) clarificado en función de la concentración y la temperatura. *Información Tecnológica*, 28(1), 133-142. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000100013>
- González, J. (2017). *Problemática ambiental en el sector de Abastos* [Tesis de especialización, Fundación Universitaria Los Libertadores]. Repositorio Institucional Los Libertadores. <https://repository.libertadores.edu.co/handle/11371/1343>
- Hurtado, M. y Mendoza, P. (2015). Análisis colorimétrico del extracto acuoso de las hojas de teca. *Revista Arvore*, 39(5), 953-961. <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000500018>
- Kosar, M., Dorman, H., & Hiltunen, R. (2005). Effect of an acid treatment on the phytochemical and antioxidant characteristics of extracts from selected Lamiaceae species. *Food chemistry*, 91(3), 525-533. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.06.029>
- López, A. y Di Sarali, A. (2016). El modelo CIELAB, las fórmulas de diferencia de color y el uso de la norma europea en 12878 en morteros y hormigones coloreados. *Ciencia y Tecnología de los Materiales*, 6, 41-53. <https://digital.cic.gba.gob.ar/handle/11746/5804>
- López-Martínez, L. (2020). Frutas tropicales y sus subproductos: fuentes de fibra dietaria en productos alimenticios: fibra dietaria de frutas tropicales y productos alimenticios. *Epistemos*, 14(29), 70-77. <https://doi.org/10.36790/epistemos.v14i29.149>



- Marcante, M., Saorin, B., Dal'Maso, F., Umpierrez, A., Xení, J., Casian, R., Mignoni, M., & Toniazzo, G. (2020). Conventional and ultrasound-assisted methods for extraction of bioactive compounds from red arac peel (*Psidium cattleianum* Sabine). *Arabian Journal of Chemistry*, 13(6), 5800-5809. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.04.017>
- McCann, D., Barrett, A., Cooper, A., Crumpler, D., Dalen, L., & Grimshaw, K. (2007). Food additives and hyperactive behaviour in 3-year-old and 8/9-year-old children in the community: a randomised, double-blinded, placebo-controlled trial. *The Lancet*, 370(9598), 1560-1567. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(07\)61306-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(07)61306-3)
- Pilco, G. (2018). *Efecto de la temperatura y velocidad de aire en el contenido de ácido ascórbico de la harina obtenida a partir de la cáscara del fruto de camu camu (Myrciaria dubia HBK), Pucallpa-Ucayali* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ucayali]. Repositorio Institucional UNU. <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/3864>
- Quiroz-Reyes, C., Aguilar-Méndez, M., Ramírez-Ortiz, M. y Ronquillo-De Jesús, E. (2013). Comparative study of ultrasound and maceration techniques for the extraction of polyphenols from cocoa beans (*Theobroma cacao* L.). *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 12(1), 11-18. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmiq/v12n1/v12n1a2.pdf>
- Raja, K., Taip, F., Zakuan, M. y Islam, M. (2019). Effect of pre-treatment and different drying methods on the physicochemical properties of *Carica papaya* L. leaf powder. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(2), 150-156. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2017.04.001>
- Reyes-Munguia, A., Alanís-Campos, L., Vásquez-Elorza, A. y Carrillo-Inungaray, M. (2016). Propiedades antioxidantes de extractos acuosos frescos y secos de cáscara de *C. papaya* L. *Revista de Ciencias de la Salud*, 3(6), 44-49.
- Rodríguez, J., Díaz, Y., Pérez, A., Cruz, Z. y Rodríguez, P. (2014). Evaluación de la calidad y el rendimiento en papaya silvestre (*Carica papaya*). *Cultivos Tropicales*, 35(3), 36-44. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v35n3/ctr04314.pdf>
- Sánchez, J. (2013). La química del color en los alimentos. *Química Viva*, 12(3), 234-246. <https://www.redalyc.org/pdf/863/86329278005.pdf>
- Santamaría, F., Díaz, R., Sauri, E., Espadas, F., Santamaría, J. y Larque, A. (2009). Características de calidad de frutos de papaya maradol en la madurez de consumo. *Agricultura Técnica em México*, 35(3), 347-353. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v35n3/v35n3a12.pdf>
- Tapia, I., Muñoz, M. y Fukaloba, T. (2018). Efecto del sistema de deshidratación sobre el contenido de carotenoides extraídos de dos variedades del fruto de *carica papaya*. *infoAnalítica*, 7(1), 11-26. <https://doi.org/10.26807/ia.v7i1.94>



Udomkun, P., Argyropoulos, D., Nagle, M., Mahayothee, B., Janjai, S., & Muller, J. (2015). Single layer drying kinetics of papaya amidst vertical and horizontal airflow. *LWT-Food Science and Technology*, 64(1), 67-73. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.022>

Valle, P. y Florentino, L. (2000). *Toxicología de alimentos*. Instituto de Salud Pública-Centro Nacional de Salud Ambiental.



# Evaluación de la producción de 2,3 Butanodiol a partir de residuos de cáscara de naranja

José Fernando Cadena Hernández<sup>1</sup>  
Diego Fernando Ruano Tovar<sup>2</sup>

**Cítese como:** Cadena-Hernández, J. F. y Ruano-Tovar, D. F. (2022). Evaluación de la producción de 2,3 Butanodiol a partir de residuos de cáscara de naranja. En L. E. Vera-Hernández (Ed.), *Sostenibilidad de procesos desde la economía circular en el contexto de la pospandemia covid-19* (pp. 45-59). Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.163.c5>

## Resumen

Esta investigación pretende simular el proceso de obtención de 2-3 Butanodiol a partir de residuos agroindustriales como es la cascara de naranja. Por lo anterior, fue necesario identificar la siguiente problemática: ¿Qué factibilidad técnica-económica tendrá producir un biocarburante 2-3 Butanodiol con un buen rendimiento a partir de cascara de naranja, que es generada por la agroindustria del departamento de Nariño? Por lo tanto, se tuvo en cuenta los valores registrados por el Ministerio de Minas y Energía en 2009, los cálculos se realizaron a partir de los resultados de proyección de cada uno de los compuestos mencionados. Así las cosas, durante 2009, se demandó 5.411 barriles día de Biodiesel y en 2025 se requerirá 8.400 barriles por día, es decir, un incremento del 55,1 %. Por otro lado, según lo obtenido en la simulación, cabe resaltar que el proceso para romper los enlaces de lignina requiere de pretratamientos que también puedan descomponer la hemicelulosa y celulosa. Teniendo en cuenta lo anterior, en la etapa de pretratamiento (explosión de vapor y filtrado), se logró eliminar el 90 % de lignina presente en la cáscara de naranja; sin embargo, según lo reportado por Vaquero (2016), el máximo rendimiento que se alcanza en un reactor de dos etapas continuas es de  $0,46 \text{ g}^* \text{ g}^{-1}$ , donde la concentración de este producto es de  $67 \text{ g}^* \text{ l}^{-1}$ , por lo tanto, en este estudio se obtuvo un rendimiento de 6,15 % con relación a la cantidad de materia prima utilizada y producto obtenido; se ingresa al proceso 1.000 kg/h de cascara de naranja y se obtiene 61,5309 kg/h de producto (2,3 Butanodiol).

**Palabras clave:** residuos agroindustriales, simulación, obtención de 2-3 Butanodiol.

## 1. Introducción

En la actualidad, se busca generar nuevas alternativas para obtener energía diferente de las que se conocen convencionalmente, generadas principalmente del

<sup>1</sup>Programa de Ingeniería de Procesos, Facultad de Ingeniería, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Colombia. Correo electrónico: joscadena@umariana.edu.co

<sup>2</sup>Programa de Ingeniería de Procesos, Facultad de Ingeniería, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Colombia. Correo electrónico: dieruano@umariana.edu.co



petróleo. Esto ha conllevado a “la investigación de materias primas naturales y, a su vez, al uso de software para la simulación de diferentes métodos en la producción de los biocombustibles, entre los que se destaca el 2,3 Butanodiol, el bioetanol” (Viñals et al., 2012).

La producción de energías renovables ha surgido a raíz de la necesidad de proteger el medio ambiente, preservar los recursos tanto renovables como no renovables y aumentar el potencial de uso de productos agrícolas, y en especial de los subproductos que se generan al someterlos a distintos procesos agroindustriales, cuya disposición final también generan un gran problema ambiental. (Suárez-Forero et al., 2019, p. 22)

En el caso de Colombia, las cifras del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial indican que en un día el país produce 27.300 toneladas de basura de las cuales el 65 % son residuos orgánicos. Por estas razones, se está impulsado el estudio de la producción de [biocarburantes], los cuales son producidos a partir de biomasa lignocelulósica residual, compuesta de acuerdo con Olsson & Hahn-Hiigerdl (1996) por dos polímeros de carbohidratos, la celulosa (35-50 %) y la hemicelulosa (15-25 %) y polímero fenólico, la lignina (20-25 %). (Tejada et al., 2010, p. 121)

Ahora bien, la mayoría de biomasa lignocelulósica tiende a tener una difícil degradación, pero es posible descomponerlos mediante procesos químicos, físicos y/o biológicos en azúcares monosacáridos, para su posterior conversión a 2,3 Butanodiol o diferentes biocarburantes. Para este tipo de materias primas, las apuestas en investigación están dirigidas al estudio e incursión de pretratamientos viables, “tanto técnica como económicamente, y al uso de microorganismos, hongos y/o bacterias modificadas, recombinantes, etc., para su potencialización en la fermentación de azúcares y, por consiguiente, en la obtención de alcohol, bioetanol y 2,3 Butanodiol, entre otros biocombustibles” (Chiaramonti et al., 2012). Este último está clasificado como un producto químico de plataforma con enormes aplicaciones potenciales en la industria, según lo establece el Departamento de Energía de EE. UU. “2,3 Butanodiol podría convertirse en distintos productos químicos de valor agregado tales como 2,3-butadeína, metiletilcetona, acetoína y diacetilo” (Bialkowska, 2016). Además, “el 2, 3 Butanodiol se puede utilizar como aditivo para combustible de uso inmediato, gracias a su alto poder calorífico comparable con otros combustibles líquidos” (Celinska y Grajek, 2009) y baja presión de vapor.

El aprovechamiento del material lignocelulósico, presente en residuos orgánicos, se vuelve cada vez más extensivo hacia nuevas fuentes de biomasa, en aras de mitigar el efecto del carbón y el petróleo. “Con estos residuos se puede producir biocarburantes, que presentan una combustión relativamente limpia, al no poseer compuestos sulfurados ni nitrogenados” (Caparrós, 2008). Los procesos fundamentales para la obtención de biocarburantes, en este caso el 2-3 Butanodiol a partir de biomasa con material lignocelulósico son: el pretratamiento, la hidrólisis, la fermentación y la separación del alcohol.



El objetivo principal del trabajo consiste en evaluar la prefactibilidad técnica de la producción de 2,3 Butanodiol, a partir de residuos de cáscara de naranja. Para ello, en esta investigación, se busca conocer el mercado actual colombiano del 2,3 Butanodiol, determinar la prefactibilidad técnica en términos de tiempo, condiciones de operación y rendimiento de diferentes pretratamientos físicos y químicos, aplicados de manera secuencial y realizados con la biomasa lignocelulósica de cáscara de naranja, además de acoplarlos al proceso de producción de este biocarburante, mediante el uso de un software comercial.

## 1.1 Planteamiento del problema

Actualmente, más del 80 % del consumo mundial de energía se deriva de los combustibles fósiles, como el petróleo, gas natural y carbón. De acuerdo con The National Academy of Science (2015), el consumo y generación de energía se encuentra en constante aumento, especialmente en regiones desarrolladas como China y Estados Unidos, situación que hasta la fecha se mantiene.

La problemática medioambiental, conjuntamente con diversos problemas socioeconómicos asociados al uso de materias primas como combustibles de origen mineral, ha impulsado el desarrollo de diferentes tecnologías sustitutivas para la obtención de energía. A día de hoy, el principal problema es la sustitución de la gasolina y el diésel como combustibles líquidos para propulsar el sector transporte. (Faba et al., 2013, párr. 1)

Una de las opciones ambientalmente amigables, como materias primas renovables que pueden utilizarse para la obtención de combustibles líquidos, es la biomasa lignocelulósica, ya que “su contenido energético puede llegar a aprovecharse efectuando diferentes transformaciones químicas, físicas y biológicas, para la obtención de dichos compuestos” (Fernández y Gutiérrez, 2015), dentro de los que se encuentra el 2,3 Butanodiol, un producto que puede ser obtenido de los residuos o desechos orgánicos.

El principal impedimento tecnológico para la obtención de [un biocarburante como lo es el 2,3 Butanodiol, a partir de la biomasa lignocelulósica], es la ausencia de métodos de bajo costo y no contaminantes, para remover la lignina de la pared celular; puesto que es altamente resistente a la degradación química y biológica; o disminuir su porcentaje sin afectar al contenido de celulosa y hemicelulosa del material y reducir la cristalinidad de la celulosa, por ello, la necesidad de investigar y proponer alternativas de solución dirigidas a mejorar el rendimiento de liberación de azúcares, como lo son los pretratamientos fisicoquímicos [o biológicos aplicados de manera secuencial] (Mantilla, 2012, p. 1).

## 1.2 Justificación

Actualmente no se puede contradecir el hecho de que la humanidad esté combatiendo tendencias que exigen una respuesta de supervivencia; en primer lugar, se encuentra la disminución de fuentes de energía y en segundo, su creciente demanda como consecuencia de un mejoramiento de la calidad de vida de las llamadas economías emergentes, [sobre todo de países tercermundistas].



El uso de combustibles fósiles ha traído como consecuencia una masiva emisión de gases contaminantes, dióxido y monóxido de carbono, los cuales han sido asociados al llamado efecto invernadero. La solución a este problema se ha derivado en diferentes propuestas que comprenden obtener energía a partir de hidroeléctricas, plantas nucleares, biomasa, eólica, geotérmica, solar y en el caso de combustibles líquidos, los biocombustibles, la demanda de estos combustibles es más crítico en países cuya economía se basa en el transporte vehicular. González (como se citó en Arias y Vera, 2016, p. 3)

La naranja (*Citrus X sinensis*) es una especie subtropical y en Colombia se destina exclusivamente al mercado en fresco. En la ciudad de [San Juan de Pasto] (Colombia), las cáscaras de naranja son desechadas en grandes cantidades en hoteles, restaurantes y ventas estacionarias de jugos. (Tejada et al., 2010, p. 122)

Sin embargo, el empleo de la cáscara de naranja, dentro de un enfoque de biorrefinería, podría ser de vital importancia, ya que esta contiene celulosa, hemicelulosa y lignina. Un análisis económico hecho a una posible biorrefinería para la producción de biocombustibles a partir de cáscara de naranja arrojó: “para una producción aproximada de 344 metros cúbicos por año, el punto de equilibrio del precio de venta dejaba una ganancia de \$0.39 USD por litro de combustible producido” (Adekunle et al., 2016).

Por lo anterior y tomando lo como referente el estudio de Cerón y Cardona (2011), en la búsqueda de nuevas opciones de generación de energía, ha surgido una alternativa muy llamativa que es el uso de los biocombustibles, específicamente el 2,3 Butanodiol, un compuesto que contribuye a la disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> y puede ser obtenido de diferentes desechos de la agroindustria, lo que permite aprovechar los residuos para generar un nuevo producto y a su vez darle un valor agregado.

Al observar que una de las materias primas que se puede utilizar para la obtención de un biocombustible es la cáscara de naranja, proveniente de la industria del zumo, que, en muchas ocasiones, no se le proporciona una disposición adecuada, se decidió realizar una evaluación de prefactibilidad técnica del proceso de producción de 2,3 Butanodiol, mediante una simulación donde se propone una serie de “pretratamientos físicos, químicos y biológicos aplicados de manera secuencial para incrementar la concentración de compuestos fermentables disponibles, generando así una perspectiva de los biocombustibles en Colombia y concretamente en la región del departamento de Nariño” (Viñals et al., 2012).

### 1.3 Objetivos

#### 1.3.1 Objetivo general

Evaluar la prefactibilidad técnica de la producción de 2,3 Butanodiol a partir de residuos de cáscara de naranja.



### 1.3.2 Objetivos específicos

- Revisar bibliográficamente la caracterización fisicoquímica de la cáscara de naranja de las variedades más utilizadas en el departamento de Nariño.
- Analizar el mercado del 2,3 Butanodiol para determinar qué tan viable es producir este tipo de compuesto.
- Generar una simulación del proceso de producción de 2,3 Butanodiol a partir de residuos de naranja en un software comercial.

### 1.4 Procedimiento metodológico

En este trabajo se simuló el proceso de obtención de 2-3 Butanodiol a partir de la cáscara de naranja. El proceso se dividió en tres etapas primordiales: determinación de las características fisicoquímicas de la cáscara de naranja, donde se realizó un proceso sistemático de indagación, recolección, organización, análisis e interpretación de información, utilizando diferentes bases de datos especializadas; determinación de mercado para este tipo de biocombustible; etapa de simulación, donde también se realiza un análisis económico utilizando un software comercial. Con este proceso se pretende identificar las variables más relevantes de cada operación que inciden en el proceso, con el fin de obtener el máximo rendimiento de 2,3 Butanodiol.

#### 1.4.1 Determinación de las características físicas y químicas de la cáscara de naranja

Para la simulación de producción de 2,3 Butanodiol, se realizó una revisión bibliográfica de las características fisicoquímicas de la materia prima, específicamente de la cáscara de naranja de la variedad valencia. Las características fueron las siguientes: humedad, cenizas, proteína, grasa, azúcares totales y concentración de lignina.

#### 1.4.2 Análisis de mercado del 2,3 Butanodiol

Se realizó un análisis del mercado mediante una revisión bibliográfica, teniendo en cuenta los informes del mercado nacional de biocombustibles reportados por Fonseca (2015). Adicionalmente, como hubo inexistencia de 2,3 Butanodiol en el mercado nacional, se tomó como referencia los datos presentados por Maximize Market Research (2021), donde se pudo identificar los principales productores del compuesto, así como también los usos y aplicaciones que posee.

#### 1.4.3 Tratamiento mecánico

La cáscara de naranja se sometió a trituración mecánica o molienda, con el fin de reducir el tamaño de partícula, este debe ser de malla inferior a 40 micras, según Chang y Holtzaple (2000).

#### 1.4.4 Tratamiento por explosión de vapor

Las cáscaras de naranja se someten en un rango de temperatura entre 150 a 280 °C, por un tiempo de 1 y 10 minutos, con el fin de que la celulosa, hemicelulosa y la



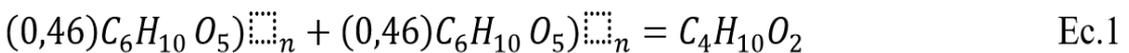
lignina se solubilizan. Seguidamente, se lleva el producto a una descompresión hasta presión atmosférica, como resultado “se obtiene una biomasa con alteraciones físicas (degradación y rupturas de fibras) y químicas (despolimerización y ruptura de enlaces y una celulosa más accesible a la hora de la fermentación, las variables que se deben controlar son temperatura y tiempo de residencia” (Duff y Murray, 1996).

### 1.4.5 Fermentación

Existe una variedad de microorganismos capaces de fermentar 2,3 Butanodiol, a partir de azúcares, entre los que cabe destacar la *Klebsiella oxytoca*, bacteria que produce mayormente este alcohol. Otras bacterias capaces de producir 2,3 Butanodiol son *Bacillus subtilis*, *Aeromonas hydrophilia*, varias especies de *Serratia* y *leclercia adecarboxylata*, todas ellas pertenecientes a la familia de *Enterobacteriaceae*, un grupo de bacterias gram negativas que son facultativas anaerobias, es decir, capaces fabricar ATP mediante respiración aeróbica en presencia de oxígeno, pero también capaces de realizar la fermentación si se dan condiciones anaerobias.

Con el aporte de oxígeno se inhibe la formación de etanol que, de ser anaerobio, se produciría de forma equimolar junto con el 2,3 BD. Incrementando el oxígeno añadido se incrementa la ratio de producción acetona 2,3 Butanodiol producido; sin embargo, si el oxígeno aportado excede la demanda microbiana, este ya no es un factor limitante y las bacterias solo generan células (asimilación) y CO<sub>2</sub> (respiración), por lo tanto, es necesario un aporte de O<sub>2</sub> sin exceder el límite para maximizar la producción de 2,3 Butanodiol.

Con lo anterior, el rendimiento de producción del alcohol se ve bastante influenciado con el tipo de reactor a utilizar. Teóricamente la máxima conversión que se puede alcanzar es 50 g 2,3 BD/glucosa, sin embargo, no se conoce tecnología actual que obtenga tal rendimiento. Por lo tanto, se pudo observar tanto la conversión como la producción por unidad de tiempo y la concentración en función del reactor usado, además, es necesario especificar la producción de 2,3 Butanodiol con base en un rendimiento ya conocido y especificado con la siguiente reacción, planteada por Vaquero et al. (2016):



### 1.4.6 Separación y purificación

La separación del 2,3-butanodiol del caldo de cultivo, la biomasa y otros sólidos del caldo de fermentación se llevó a cabo mediante filtración. Teniendo en cuenta que para Xiu y Zeng (2008), la purificación posterior del 2,3-butanodiol se realizará mediante el método de separación por un equipo de separación.



### 1.4.7 Simulación del proceso de obtención de 2,3 butanodiol en un software comercial

Para realizar la simulación del proceso de obtención de 2,3 Butanodiol, se tomó como referencia la metodología aplicada por Douglas (1985), que propone un diseño jerárquico de decisión, establecido de la siguiente forma:

- Selección del sistema (batch o continuo).
- Identificación de parámetros y condiciones de operación.
- Determinación del sistema de reacción.
- Diseño del diagrama de flujo flowsheet, sistema de reactor y especificaciones del sistema de separadores y redes de intercambio.

### 1.4.8 Selección del sistema

El proceso de obtención del compuesto 2,3 Butanodiol es de tipo batch (también conocido como proceso por lotes), donde la cantidad total de materia prima que se introduce al sistema, al comienzo del proceso, obtiene una cantidad total de producto transcurrido un determinado tiempo, “esto se lo determina teniendo en cuenta la capacidad de producción de una planta, la cual debe ser inferior  $10 \times 10^6$  Lb/año” (Skoog et al., 2008).

### 1.4.9 Identificación de parámetros y condiciones de operación

Para la identificación de las condiciones de los parámetros en los modelos matemáticos, los cuales van a ser utilizados en la simulación, se tuvo que recurrir a información contenida en diferentes investigaciones, enfocadas al desarrollo del proceso para la obtención de 2,3 Butanodiol, comprendido desde una etapa de pretratamiento hasta una etapa de separación y purificación, donde se toma en cuenta las diferentes temperaturas, estequiometría de la reacción, conversión, presión, tiempos de operación, entre otros factores, los cuales hacen que cada etapa funcione de manera correcta.

**1.4.9.1 Determinación del sistema de reacción.** El 2,3 Butanodiol, aunque puede ser obtenido por distintas vías, la más relevante para esta investigación es la que plantea Vaquero et al. (2016).

## 2. Resultados

### 2.1 Objetivo 1

Revisar bibliográficamente la caracterización fisicoquímica de la cáscara de naranja de las variedades más utilizadas en el departamento de Nariño.

En la cosecha de naranja, a nivel nacional, el volumen de producción, según el Ministerio de Agricultura (2018), se ha promediado en 4,3 millones de toneladas en los últimos 5 años, el principal comercio de la naranja es el mercado nacional; se destina en promedio el 67,5 % del suministro de naranjas en fresco, del cual se emplea, en su mayor parte, en la obtención de jugo recién exprimido en hogares, restaurantes, puestos ambulantes, cadenas hoteleras, entre otros; mientras que un porcentaje mínimo se consume como fruta de mesa.



**Tabla 1**

*Producción de cítricos en Colombia por departamento*

DEPARTAMENTO	ÁREA COSECHADA					PRODUCCIÓN					RENDIMIENTO				
	(Ha.)					(Ton.)					(Ton. / Ha.)				
	2015	2016	2017	2018	2019	2015	2016	2017	2018	2019*	2015	2016	2017	2018	2019
SANTANDER	16.882	18.308	19.032	19.056	19.068	244.525	285.990	295.352	305.020	303.678	14,5	15,6	15,5	15,4	15,4
CUNDINAMARCA	8.254	8.385	8.716	8.754	9.092	58.446	65.625	67.773	68.991	67.400	7,1	7,8	7,8	7,7	7,7
VALLE DEL CAUCA	6.180	6.327	6.577	6.837	6.673	144.831	152.035	157.012	162.152	148.920	23,4	24	23,9	23,7	23,7
CALDAS	5.783	5.992	6.229	6.476	6.163	96.748	110.492	114.109	114.450	113.652	16,7	18,4	18,3	18,2	18,2
ANTIOQUIA	5.184	5.866	6.097	6.339	6.276	103.807	125.846	129.965	134.220	132.791	20	21,5	21,3	21,2	21,2
META	5.888	5.844	6.075	6.105	5.584	109.175	104.873	108.305	111.851	110.920	18,5	17,9	17,8	17,7	17,7
TOULIMA	4.791	5.134	5.337	5.548	5.643	52.457	57.097	58.966	58.896	58.078	10,9	11,1	11	11	11
NARIÑO	4.326	4.187	4.352	4.387	4.890	19.235	19.597	20.238	20.901	19.854	4,4	4,7	4,7	4,6	4,6
QUINDIO	3.637	4.120	4.283	4.352	4.813	93.284	105.696	109.156	110.729	110.334	25,7	25,7	25,5	25,3	25,3
MAGDALENA	2.879	2.790	2.900	2.814	3.151	49.649	55.978	57.810	56.785	55.526	17,2	20,1	19,9	19,8	19,8
NORTE DE SANTANDER	2.123	2.132	2.216	2.189	2.006	22.645	23.357	24.121	24.911	23.186	10,7	11	10,9	10,8	10,8
BOYACÁ	2.078	2.108	2.191	2.277	1.812	22.782	23.271	24.032	24.819	23.934	11	11	11	10,9	10,9
CESAR	1.678	1.684	1.751	1.658	1.789	14.391	14.559	15.036	15.528	14.886	8,6	8,6	8,6	8,5	8,5
CAUCA	1.303	1.452	1.509	1.457	1.268	14.048	16.260	16.792	17.342	16.574	10,8	11,2	11,1	11,1	11,1
HUILA	1.038	1.217	1.265	1.315	1.284	8.072	8.972	9.265	9.569	8.758	7,8	7,4	7,3	7,3	7,3
RISARALDA	1.025	1.032	1.072	1.115	1.013	28.754	29.532	30.498	31.497	30.293	28,1	28,6	28,4	28,3	28,3
BOLIVAR	848	848	881	842	876	9.312	13.293	13.728	14.178	12.980	11	15,7	15,6	15,5	15,5
ATLANTICO	667	762	792	768	803	10.617	12.587	12.999	13.424	12.471	15,9	16,5	16,4	16,3	16,3
OTROS	1.711	1.888	1.963	2.004	1944	21.419	24.600	25.410	25.241	25.274	12,5	13	12,9	12,9	12,9
<b>TOTAL</b>	<b>76.272</b>	<b>80.073</b>	<b>83.239</b>	<b>84.293</b>	<b>84.147</b>	<b>1.124.197</b>	<b>1.249.660</b>	<b>1.290.567</b>	<b>1.320.504</b>	<b>1.289.509</b>	<b>14,7</b>	<b>15,6</b>	<b>15,5</b>	<b>15,4</b>	<b>15,4</b>

Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2019).

Según datos del Ministerio de Agricultura (2018), actualmente no se cuenta con las cifras discriminadas por producto en cuanto a cítricos, adicionalmente, cabe resaltar que el departamento es abastecido con cítricos provenientes de departamentos aledaños como son Valle del Cauca, Cauca, Risaralda, Quindío, y Antioquia, a esto se le suma que en algunos casos, aunque no hay cifras exactas, se exporta este tipo de cítricos del país vecino Ecuador, pero de acuerdo con las cifras transadas en las principales plazas mayoristas del país: el 47 % de la producción corresponde a naranjas; el 27 %, a mandarinas y el 26 %, a limón, siendo este productor el de mayor crecimiento en área sembrada en los últimos dos años. Teniendo en cuenta los valores anteriores, se determinó que Nariño produce un total de 19.854 ton/año de cítricos, de las cuales el 47 % corresponde a Naranja, equivalente a 9381.39 ton/año.

Para estimar la capacidad de la planta en 2021, se tuvo en cuenta las toneladas generadas de cascará de naranja en Nariño, teniendo en cuenta que los residuos de este cítrico representan aproximadamente entre el 23 y 40 % del peso, estos corresponden a piel, pulpa y semillas. (Boukroufa et al., 2015).

**2.1.1 Propiedades fisicoquímicas de la cáscara de naranja**

Teniendo en cuenta el enfoque de esta investigación, se identificó información de diferentes autores en cuanto a la caracterización de cáscara de naranja fresca. Existen muchas investigaciones que describen la caracterización, pero, para este caso, se toma como base la cascara seca y posterior reducción de tamaño por molienda, lo cual evidencia un cambio importante en los valores encontrados. En la Tabla 2 se muestra la revisión de las investigaciones más destacadas y relevantes para esta investigación, las cuales presentan diferentes valores en % p/p de características fisicoquímicas con base seca de la cáscara de naranja de la variedad valenciana.

**Tabla 2***Caracterización de cascara de naranja*

Fuente	Parámetro			
	% Humedad	% Proteína	% Grasa	% Ceniza
(Virreira y Góngora, 2014)	64,44	7,01	0,89	1,29
(Restrepo et al., 2012)	62,2	0	0	2,156
(M'hiri et al., 2015)	76,015	7,78	0,8	3,17
(Kammoun et al., 2011)	74,804	8,12	0,95	3,13
Promedio	69,36	5,73	0,66	2,44

Es importante destacar que, Virreira y Góngora (2014) utilizaron procedimientos estandarizados por métodos oficiales de análisis de alimentos (A.O.A.C, 1990), los cuales, para cada parámetro, fueron los siguientes: para humedad, el método de Estufa, que determina la humedad a partir del cambio de peso de la muestra; para la determinación de la ceniza, método Mufla (a 600 °C), que determina el cambio de peso de la muestra después de la evaporación del agua; para el contenido de proteína, método Kjeldahl y para el parámetro de grasa, el método Soxhlet (Restrepo et al., 2012).

Para la presente investigación, el contenido de humedad se determinó según el método oficial 20.013 (AOAC, 1990); el contenido de cenizas, según el método oficial 940.26 (AOAC, 2007), aunque en la investigación se evaluó otros parámetros, estos dos son los más relevantes para este trabajo.

En la investigación de M'hiri et al. (2015), el contenido humedad se midió por el método gravimétrico a 105 °C hasta obtener un peso constante. Según la Norma ISO 2004, el contenido de ceniza se determinó mediante la incineración de la muestra en un horno de mufla a 550 °C, durante 5 h, según el método AOAC (2006); el contenido de proteína se analizó según el método Kjeldahl (ISO 2001), teniendo en cuenta los valores reportados por las diferentes investigaciones, las cuales, aunque tenían un enfoque diferente, las caracterizaciones fisicoquímicas de dichas investigaciones utilizaron métodos semejantes, que permiten la comparación entre sí para que cada parámetro tenga un valor aproximado.

Por otra parte, se encontró información acerca del contenido de lignina, investigaciones como la de Sánchez-Orozco y Vázquez-Velázquez (2017) plantea la cuantificación de lignina, celulosa y hemicelulosa, después de realizar un pretratamiento químico a la materia prima, encontrando valores de 26,5 % de hemicelulosa, dicho valor comprende una cantidad significativa de hexosas y pentosas; 9,93 % de celulosa y 2,81 % de lignina. Otra investigación importante fue la de Tovar (2017), de la cual se obtuvo la información de la composición de



la cáscara de naranja; el dato más relevante fue el de lignina, que reportó un valor de 3,04 %. Los últimos datos son los que reportó la investigación de Ververis et al. (2007): hemicelulosa de 6,10 %, celulosa de 13,61 % y para lignina de 2,10 %. Las anteriores investigaciones, para la determinación de cada parámetro, utilizaron la variedad de naranja valenciana, el método utilizado es el AOAC de 1998 para determinación de lignina y azúcares reductores.

## 2.2 Objetivo 2

Analizar el mercado del 2,3 Butanodiol para determinar qué tan viable es producir este tipo de compuesto.

### 2.2.1 Determinación del mercado para los biocarburantes

La aprobación de la Ley 693 marcó la entrada de Colombia en la nueva era mundial de los combustibles de origen vegetal, utilizados desde hace muchas décadas (particularmente el etanol), debido al atractivo económico en razón del Protocolo de Kyoto y la dinámica de precios internacionales del petróleo.

La promulgación de la Ley tuvo como propósito principal la diversificación de la canasta energética colombiana a través del uso de alternativas compatibles con el desarrollo sostenible en lo ambiental, lo económico y lo social. Mediante la reglamentación de la Ley se estableció un comprensivo marco legal y normativo, que además de promover el uso de los agrocarburos, proporcionó los estímulos necesarios para la producción, comercialización y consumo. (Ministerio de Minas y Energía, 2009, p. 5).

### 2.2.2 Consumo de biocombustibles

El consumo de biocombustibles está asociado con el sector de transporte, pues obedece al comportamiento del consumo de Gasolina y ACPM del país, donde la participación del sector transporte en el consumo total de gasolina es del 97 %, mientras que ACPM participa con el 70 %.

Los programas de mezcla de biocombustibles han permitido que una buena parte del territorio nacional se distribuya mezcla de 10 % de alcohol carburante con gasolina, y 5 % de Biodiesel con ACPM, y se tienen previstos nuevos proyectos que permiten cubrir la totalidad de la demanda nacional con los porcentajes establecidos y adicionalmente avanzar a porcentajes superiores. (Ministerio de Minas y Energía, 2009, p. 10)

### 2.2.3 Determinación de la demanda

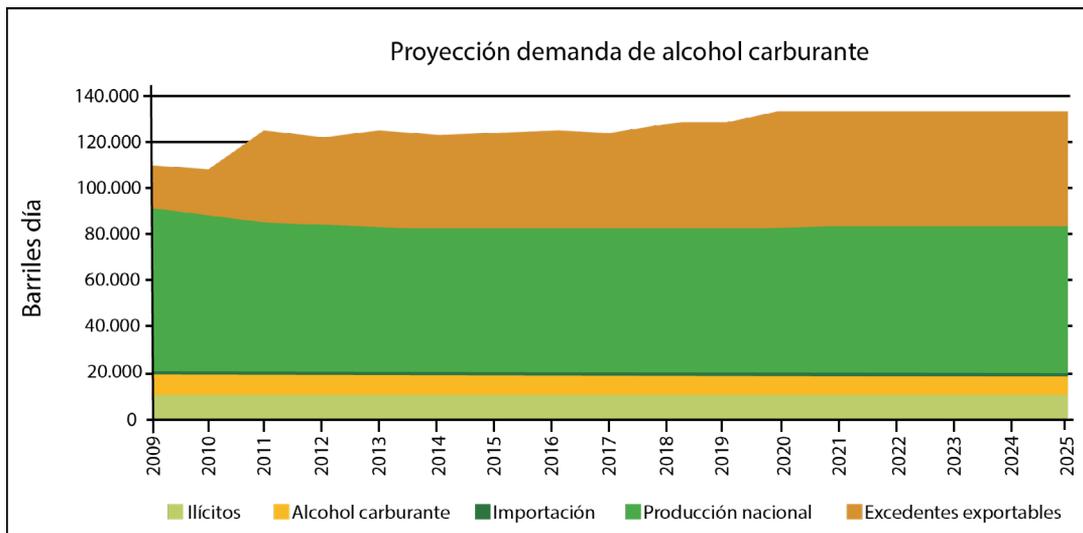
Los requerimientos de los biocombustibles están relacionados con la demanda de los combustibles, particularmente de gasolinas y ACPM. En este sentido, se tuvo en cuenta los valores registrados por el Ministerio de Minas y Energía (2015), donde se realizó los cálculos a partir de los resultados de proyección de cada uno de los compuestos mencionados; todo esto teniendo en cuenta que el uso de los biocombustibles en los porcentajes establecidos no modifica el consumo de los vehículos (Ministerio de Minas y Energía, 2009).



Como se muestra en la Figura 1, “a lo largo de la proyección se mantiene una mezcla del 10 % de [alcohol carburante], el cual decrece levemente hasta el 2019 y luego inicia un pequeño crecimiento, igual en términos porcentuales a la demanda de gasolina” (Ministerio de Minas y Energía, 2009). Esto permite deducir que, para años siguientes, teniendo en cuenta el crecimiento poblacional del país, que las cantidades de consumo de energía, en este caso combustibles y biocombustibles, irán creciendo, por lo tanto, es necesario que el gobierno piense en diferentes materias primas que ayuden a la generación de nuevos biocombustibles.

**Figura 1**

*Proyección de la demanda de alcohol carburante, importaciones, producción nacional*



Fuente: Ministerio de Minas y Energía (2009).

### 2.3 Objetivo 3

Generar una simulación del proceso de producción de 2,3 Butanodiol a partir de residuos de naranja en un software comercial.

#### 2.3.1 Diagrama de flujo del proceso de obtención de 2,3 Butanodiol a partir de cáscara de naranja

**2.3.1.1 Selección del método termodinámico.** Para la selección del método termodinámico del software Aspen Plus, se tuvo en cuenta que los compuestos involucrados posean un fuerte componente polar (agua y alcoholes) y que no tenga presencia de electrolitos. Este tipo de proceso se establece con una presión inferior a 10 bar. Adicionalmente, se tuvo en cuenta las siguientes interacciones: vapor-líquido y líquido-líquido, por lo cual se utilizó el modelo termodinámico UNIQUAC.

**2.3.1.2 Descripción del proceso.** Este tipo de proceso consta de tres etapas principales. En la primera etapa se encuentra la preparación de la materia prima, donde el ingreso de la materia prima se lo hace de la siguiente manera: secuencia de

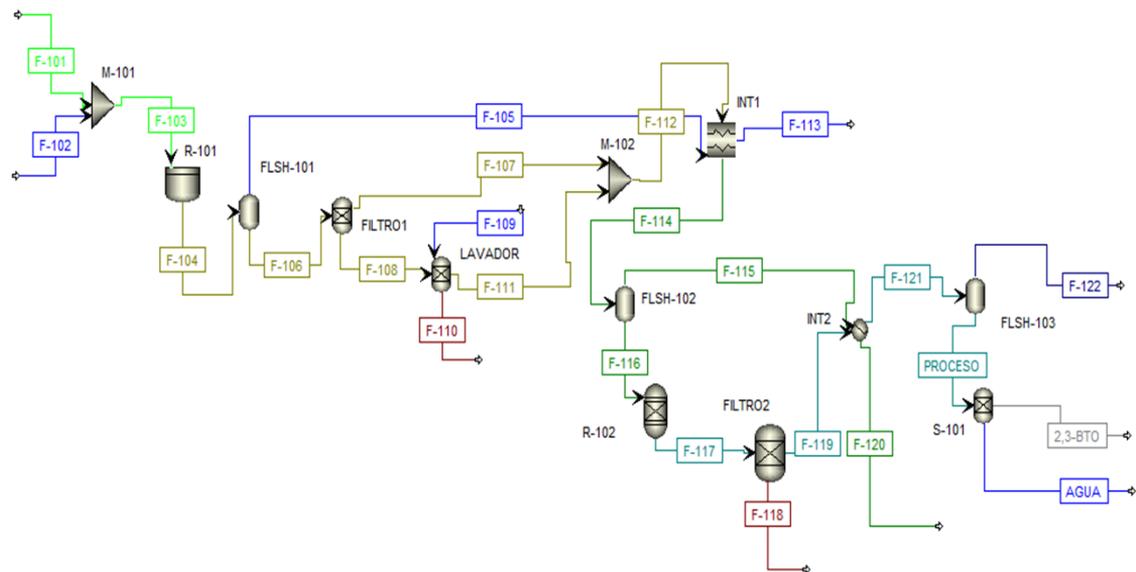


pretratamientos. La segunda etapa es la fermentación y obtención del producto. La tercera etapa se encarga de la concentración y purificación del producto de interés.

Para la simulación de la planta de producción de 2,3 Butanodiol, este trabajo se basó en un procedimiento descrito bibliográficamente. El producto a obtener está entre el 85 y 95 % de fracción molar. Algunos equipos fueron adaptados de acuerdo con el programa de simulación.

**Figura 1**

*Diagrama de flujo del proceso de obtención de 2,3 Butanodiol*



### 2.3.2 Rendimiento del proceso

La producción de este tipo de compuesto (2,3 Butanodiol) a partir de la cáscara de naranja presenta los mismos retos que otro tipo de biomasa lignocelulósica. En primera instancia, por su baja producción, debido a que en el proceso de pretratamiento no solo se obtiene glucosa, sino que también se producen azúcares de tipo pentosa, provenientes de la hemicelulosa. En segunda instancia, se tiene en cuenta que el proceso para romper los enlaces de lignina requiere de pretratamientos que también puedan descomponer la hemicelulosa y celulosa, por lo tanto, en la etapa de pretratamiento (explosión de vapor y filtrado) se logra eliminar el 90 % de lignina presente en la cáscara de naranja; sin embargo, según lo reportado por Vaquero (2016), el máximo rendimiento que se alcanza en un reactor de dos etapas continuas es de  $0,46 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ , donde la concentración de este producto fue de  $67 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ . Así, en este estudio se obtuvo un rendimiento de 6,15 % en relación con la cantidad de materia prima utilizada y producto obtenido. En el proceso se ingresó 1.000 kg/h de cascara de naranja y se obtuvo 61,5309 kg/h de producto (2,3 Butanodiol).



### 3. Conclusiones

A pesar de que el departamento de Nariño produce naranja, en comparación con otros departamentos, su producción es bastante baja, cabe mencionar que al departamento también ingresa naranja de los alrededores y, por ende, la cantidad de residuos de dicho fruto tendrá una cifra considerable. Adicionalmente, se debe buscar otras fuentes de biomasa lignocelulósica, con el fin de producir 2,3 Butanodiol, ya que este tipo de compuesto es de gran importancia.

Los pretratamientos y condiciones que se establecieron al momento de realizar la simulación presentaron buenos resultados con respecto a otras investigaciones que pretendieron obtener compuestos similares; sin embargo, se debe evaluar más afondo, pues si bien se empleó parámetros basados en la literatura, existe gran variedad de posibles configuraciones, las cuales podrían dar mejores resultados tanto a reducción de lignina como en la obtención de producto final.

Mediante el análisis del mercado se identificó una demanda creciente de 2,3 Butanodiol, si bien existe una información limitada del producto, los estudios que se han realizado afirman que el mercado de este crecerá en los próximos años, esto debido a las diferentes aplicaciones y usos que pueden aplicarse al 2,3 Butanodiol. Adicionalmente se resalta que producirlo, en Colombia, sería muy provechoso debido a la inexistencia de plantas dedicadas a la producción del compuesto.

Con los resultados se tiene en cuenta que, aunque se necesita bastante materia prima para la producción de 2-3 Butanodiol, en el caso de Colombia, se debe generar un sistema de recolección que permita aprovechar todo tipo de material lignocelulósico.

Con el proceso de simulación se logró la identificación teórica de parámetros y condiciones de operación, los cuales son muy útiles al momento de ejecutar la simulación, de este modo, fue posible conocer el comportamiento del proceso y como inciden estas variables en los rendimientos del producto final. Asimismo, se evidenció que la etapa de pretratamiento de la materia prima y parametrización del proceso fue ideal en la producción de 2-3 Butanodiol, por la ruptura de la molécula de lignina y concentración de azúcares; sin embargo, se debe tener en cuenta el tipo de microorganismo para que se obtenga un rendimiento mayor en este tipo de materia prima.



## Referencias

- Adekunle, A., Orsat, V., & Raghavan, V. (2016). Lignocellulosic bioethanol: A review and design conceptualization study of production from cassava peels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (64), 518-530. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.064>
- Arias, F. y Vera, J. (2016). *Construcción de un reactor piloto para la generación de biodiesel a base de aceite de palma africana (Elaeis guineensis) en la espam "MFL"* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. ESPAMMFL. <https://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/545>
- Białkowska, A. (2016). Strategies for efficient and economical 2, 3-butanediol production: new trends in this field. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 32(12), 1-14. <https://doi.org/10.1007/s11274-016-2161-x>
- Boukroufa, M., Boutekedjiret, C., Petigny, L., Rakotomanomana, N., & Chemat, F. (2015). Bio-refinery of orange peels waste: A new concept based on integrated green and solvent free extraction processes using ultrasound and microwave techniques to obtain essential oil, polyphenols and pectin. *Ultrasonics Sonochemistry*, 24, 72-79. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.11.015>
- Chang, V.S., y Holtzapple, M.T. (2000). Fundamental factors affecting enzymatic reactivity. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 84-86, 5-37. [https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1392-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1392-5_1).
- Chiaromonti, D., Prussi, M., Ferrero, S., Oriani, L., Ottonello, P., Torre, P., & Cherchi, F. (2012). Review of pretreatment processes for lignocellulosic ethanol production, and development of an innovative method. *Biomass and Bioenergy*, 5(4), 25-35. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.04.020>
- Duff, S., & Murray, W. (1996). Bioconversion of forest products industry waste cellulosic to fuel ethanol: A review. *Bioresource Technology*, 55(1), 1-33. [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(95\)00122-0](https://doi.org/10.1016/0960-8524(95)00122-0)
- Faba, L., Díaz, E. y Ordoñez, S. (2013, 19 de junio). La biomasa como materia prima para la obtención de combustibles líquidos. *Bioecomasa*. <https://bioecomasa.wordpress.com/2013/06/19/posibilidades-de-produccion-de-combustibles-liquidos-a-partir-de-la-biomasa/>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec). (2004). *Sistemas de gestión ambiental requisitos con orientación para su uso (NTC-ISO14001)*. [https://intranet.ugc.edu.co/documentos/gestion\\_calidad/ntc\\_iso\\_14001\\_2004.pdf](https://intranet.ugc.edu.co/documentos/gestion_calidad/ntc_iso_14001_2004.pdf)
- Kammoun, A., Ghanem, N., Mihoubi, D., Kechaou, N., & Boudhrioua, N. (2011). Effect of infrared drying on drying kinetics, color, total phenols and water and oil holding capacities of orange (*Citrus sinensis*) peel and leaves. *International Journal of Food Engineering*, 7(5), 11. <https://doi.org/10.2202/1556-3758.2222>



- M'hiri, N., Ioannou, I., Ghoul, M., & Boudhrioua, N. M. (2015). Proximate chemical composition of orange peel and variation of phenols and antioxidant activity during convective air drying. *Journal of New Sciences*, 44(9), 881-890.
- Mantilla, M. (2012). *Hidrólisis ácida del bagazo de caña de azúcar y paja de trigo con una posterior fermentación alcohólica para obtención de etanol* [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio Digital. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/473>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2019, junio). Cadena de cítricos. Indicadores e instrumentos. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Citricos/Documentos/2019-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Ministerio de Minas y Energía. (2009). Biocombustibles en Colombia. [http://www.upme.gov.co/Docs/Biocombustibles\\_Colombia.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/Biocombustibles_Colombia.pdf)
- Restrepo, A., Arredondo, A., Morales, C., Tamayo, M., Benavides, Y., Bedoya, V. y Vélez, C. (2012). Aplicación de la técnica de impregnación a vacío en el desarrollo de cáscaras de naranja mínimamente procesadas fortificadas con potasio, sodio, y vitaminas B1, B6 y B9. *Engineering and Technology*, 1(1), 8-16. <http://revistas.unilasallista.edu.co/index.php/jet/article/view/198>
- Sánchez-Orozco, R. y Vázquez Velázquez, J. (2017). Hidrólisis de residuos de naranja para la obtención de carbohidratos fermentables. *Revista de Investigación y Desarrollo*, 2(4), 63-70.
- Suárez-Forero, S., Candela-Soto, A., Henao-Martínez, J. y Bayona-Ayala, O. (2019). Evaluación del desempeño del pretratamiento con peróxido de hidrógeno sobre bagazo de caña de azúcar para remoción de lignina. *ITECKNE*, 16(1), 21-28. <https://doi.org/10.15332/v16i1.2158>
- Tejada, L., Tejada, C., Villabona, Á., Alvear, M., Castillo, C., Henao, D., Marimón, W., Madariaga, N. y Tarón, A. (2010). Producción de bioetanol a partir de la fermentación alcohólica de jarabes glucosados derivados de cáscaras de naranja y piña. *Revista Educación en Ingeniería*, 5(10), 120-125. <https://educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/view/104>
- Tovar, A. (2017). *Valorización integral de cáscaras de naranja mediante extracción de pectina y elaboración de carbón activado* [Tesis de maestría, Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica S.C.]. Cideteq Repositorio. <https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1021/191>
- Ververis, C., Georghiou, K., Danielidis, D., Hatzinikolaou, D., Santas, P., Santas, R., & Corleti, V. (2007). Cellulose, hemicelluloses, lignin and ash content of some organic materials and their suitability for use as paper pulp supplements. *Bioresource technology*, 98(2), 296-301. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.01.007>
- Virreira, J. y Gongora, O. (2014). *Caracterización fisicoquímica de las cáscaras de naranja (citrus sinensis l.) y pomelo (citrus grandis), para obtener bioetanol - Iquitos* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. UNAP. <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/4258>



# Sostenibilidad de procesos desde la economía circular en el contexto de la pospandemia covid-19



Editorial  
**UNIMAR**

Universidad Mariana  
Calle 18 N. 34 San Juan de Pasto

<https://libros.umariana.edu.co/index.php/editorialunimar>