



LA GEOGRAFÍA HUMANA, CIENCIA, TECNOLOGÍA E INDUSTRIA

SOSTENIBILIDAD

TOMO II



VI CONGRESO INTERNACIONAL DE
INVESTIGACIÓN
LA GEOGRAFÍA HUMANA, CIENCIA
TECNOLOGÍA E INDUSTRIA

Objetivos de Desarrollo Sostenible para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos. ONU 25 de septiembre de 2015:



4. EDUCACIÓN
DE CALIDAD



10. REDUCCIÓN DE LAS
DESIGUALDADES



17. ALIANZAS PARA LOGRAR
LOS OBJETIVOS

William Fernando Sánchez Corredor

Representante Legal

Ferney Rodrigo Ortiz Jiménez

Rector

Manuel Fernando García García

Director de la División de Investigación Tecnológica
Aplicada DITA

LA GEOGRAFÍA HUMANA, CIENCIA, TECNOLOGÍA E INDUSTRIA

SOSTENIBILIDAD

TOMO II

FECHA DE EDICIÓN: 10/01/2025

FECHA DE PUBLICACIÓN: 18/02/2025

Gustavo Adolfo Gil Ángel, Andrea Paez Gómez, Angelo Monroy Ballesteros, Claudia Lucia Caro Gómez, Gustavo Andres Reyes Gómez, Carlos Alberto Daza, William Mendoza Rodríguez, Margarita Del Rosario Salazar Sánchez, Julieth Alexandra Rodríguez Pérez

COMITÉ CIENTÍFICO

Ferney Rodrigo Ortiz Jiménez, Jhon Jairo Ramírez Parra, Manuel Fernando García García, Lady Johanna Herrera Vargas, Ella Yohana González Guevara, Luis Alejandro Parra Mora, Miguel Angel Ceballos Triviño, Viviana Varón Arciniegas

COMITÉ EDITORIAL

Jhoan Sebastian Cuesta Pulido

DIAGRAMACIÓN Y ESTILOS

Mag. Manuel Fernando García García

EDITORIAL TEINCO
Av. calle 63 #22-39
Sede 7 de agosto Bogotá D.C.
5714856565- 3124319746
manuel.garcia@teinco.edu.co

EDITOR



TEINCO
Corporación Tecnológica
Industrial Colombiana

LA GEOGRAFÍA HUMANA, CIENCIA, TECNOLOGÍA E INDUSTRIA

SOSTENIBILIDAD

TOMO II

El VI Congreso Internacional de Investigación TEINCO 2023 en su temática La geografía humana, ciencia, tecnología e industria de la Corporación Tecnológica Industrial de Colombia - TEINCO, nos presentó investigaciones de diversas perspectivas desde la producción de conocimiento de un gran número de investigadores que trabajan proyectos que logran tener impacto en la enseñanza, la educación, las industrias, las sociedades y las ciencias. Por esto, nosotros como Institución de Educación Superior, creemos en la necesidad de presentar, apoyar y difundir los principales aportes como los que registran estos libros compilados de divulgación en cada uno de sus capítulos.

Asimismo, estos textos definitivamente empiezan a generar una red de conexiones culturales, científicas e institucionales que ya conforman un cuerpo de conocimientos legitimado a través de sistemas de medición, bases de indexación y repositorios legales para ser utilizado por el profesorado y sus estudiantes en sus respectivas aulas. Gracias a nuestros Congresos Internacionales se materializan para la cultura y la divulgación de la investigación en estos libros de divulgación que contienen el aporte de una gran muestra de investigadores a lo largo y ancho del territorio nacional y otros de los países integrados en cada versión del evento. En consecuencia, los libros se tornan también en productos de conocimiento y crean nuevos sentidos, afectando nuestros contextos académicos y prácticos.

Además, el propósito de esta producción de libros es que están creados para ser utilizados en las aulas, que además de aportar conocimientos de todos modos son herramientas didáctico-pedagógicas. Nuestros libros no se encuentran sujetos a los mecanismos comerciales, su función está sujeta la producción y generación de conocimiento en las aulas e instituciones para mejorar nuestro nivel académico, profesional y la calidad de vida, siendo el profesorado el medio a través del cual el libro se difunde, se utiliza y reutiliza las veces que sea necesario.

MANUEL FERNANDO GARCÍA GARCÍADirección de la División Tecnológica Industrial Aplicada DITA
Director de la Editorial TEINCO

EXPLORANDO EL IMPACTO DE LA SOSTENIBILIDAD EN LA EXPERIENCIA DE USUARIO Y LA PERCEPCIÓN DE MARCA EN ENTORNOS DIGITALES: UN ESTUDIO EMPÍRICO, CASO DE ESTUDIO ZURYCH CHOCOLATE ORGÁNICO

1.	Introducción	9
2.	Definición de la pregunta problema	9
2.1.	Planteamiento del problema	9
2.2.	Justificación	9
2.3.	Objetivo general	9
2.4.	Objetivos específicos	9
2.5.	Antecedentes	10
2.6.	Revisión de literatura	10
3.	Metodología	10
3.1.	Fase 1 creación y planeación de los instrumentos de investigación	11
3.2.	Fase 2 recopilación de datos cuantitativos y cualitativos	11
3.3.	Fase 3 análisis e integración de datos	11
4.	Resultados	11
5.	Conclusiones	11
6.	Referencias bibliográficas	12



8

BIODEGRADABILIDAD DE BIOPOLÍMEROS A BASE DE ALMIDÓN DE YUCA (MANIHOT ESCULENTA CRANTZ) CON LÍQUIDO DE LA CÁSCARA DE NUEZ DEL ANACARDO

1.	Introducción	14
1.1.	Almidón	14
1.1.1.	Estructura y características	14
1.1.2.	Métodos de extracción	15
1.1.3.	Técnicas de caracterización	16
1.1.4.	Aplicabilidad	16
1.2.	Líquido de la cáscara de nuez del anacardo	17
1.2.1.	Generalidades del líquido de la cáscara de nuez del anacardo	17
1.2.2.	Obtención y recolección de la materia prima	18
1.3.	Biodegradabilidad	19
2.	Método	19
2.1.	Extracción de los principales componentes del biopolímero	19
2.1.1.	Almidón	19
2.1.2.	Líquido de la cáscara de nuez del anacardo. CNSL	20
2.2.	Síntesis de biopolímeros	20
2.3.	Caracterización espectroscópica	21
2.4.	Proceso de biodegradabilidad	21



13

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO

13



35



3.	Resultados	22
3.1.	Extracción y caracterización de los componentes	22
3.1.1.	Almidón	22
3.1.2.	Líquido de la cáscara de nuez del anacardo	23
3.2.	Síntesis y caracterización de biopolímeros	23
3.3.	Proceso de biodegradabilidad	27
4.	Discusión y conclusiones	29
4.1.	Discusión	29
4.1.1.	Extracción y caracterización de los componentes	29
4.1.1.1.	Almidón	29
4.1.1.2.	Líquido de la cáscara de nuez del anacardo	29
4.1.2.	Síntesis y caracterización de biopolímeros	30
4.1.3.	Proceso de biodegradabilidad	30
4.2.	Conclusiones	30
5.	Referencias bibliográficas	31

DESARROLLO DE PELÍCULAS CONDUCTORAS BIOPOLIMÉRICAS A PARTIR DE ALMIDÓN DE YUCA (MANIHOT ESCULENTA CRANTZ) Y ÓXIDO DE GRAFENO OBTENIDO DEL MESOCARPO DEL COCO (COCONUCIFERA)

1.	Introducción	36
2.	Métodos	36
2.1.	Estrategias metodológicas	36
2.1.1.	Población y muestra	36
2.1.2.	Instrumentos de recogida de información	37
2.1.3.	Procedimiento	37
2.1.3.1.	Extracción de almidón de yuca	37
2.1.3.2.	Extracción de óxido de grafeno a partir del mesocarpo del coco	37
2.1.3.3.	Elaboración de biopelículas con almidón de yuca, óxido de grafeno y plastificantes	37
2.1.3.4.	Caracterización espectroscópica del almidón de yuca y óxido de grafeno, y caracterización electroquímica de las biopelículas fabricadas	37
2.1.3.5.	Análisis estadístico	37
3.	Resultados	38
3.1.	Caracterización del almidón de yuca mediante FTIR	38
3.2.	Caracterización de óxido de grafeno mediante Espectroscopía Raman	38
3.3.	Biopelículas fabricadas a partir de almidón de yuca, óxido de grafeno y plastificantes	39
3.4.	Espectros de voltametría cíclica de las biopelículas fabricadas	39
4.	Discusión y conclusiones	42
5.	Referencias bibliográficas	42

ESTUDIO DE CASOS DE APLICACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN EMPRESAS DE MANUFACTURA EN COLOMBIA

1.	Introducción	45
2.	Método	45
2.1.	Estrategias metodológicas	46
2.2.	Instrumentos de recogida de información	46
3.	Resultados	46
3.1.	Bases teóricas	46
3.1.1.	Problemática ambiental	46
3.1.2.	Producción más limpia	49
3.1.3.	Herramientas de producción más limpia	52
3.2.	Matriz comparativa	52
4.	Discusión y conclusiones	62
5.	Referencias bibliográficas	63



44

ANÁLISIS ESTRATÉGICO DE LA PRODUCCIÓN DE LA PANELA EN UN MUNICIPIO DE CUNDINAMARCA, COLOMBIA: UNA MIRADA AMBIENTAL

1.	Introducción	67
2.	Bases teóricas	67
2.1.	Sostenibilidad en la producción agrícola	67
2.2.	Gestión ambiental	68
2.3.	Impacto ambiental	68
2.4.	Educación ambiental	68
2.5.	Normatividad	69
3.	Método	69
3.1.	Estrategias metodológicas	69
3.2.	Población y muestra	70
3.3.	Instrumentos de recogida de información	70
3.3.1.	Instrumento 1: Entrevista	70
3.3.2.	Instrumento 2: Observación directa	70
3.3.3.	Instrumento 3: Lista de criterios	71
3.3.4.	Instrumento 4: Cartografía social	71
3.4.	Procedimiento	72
4.	Resultados	72
5.	Discusión y Conclusiones	72
6.	Referencias bibliográficas	73



66

TABLA DE CONTENIDO



EXPLORANDO EL IMPACTO DE LA SOSTENIBILIDAD EN LA EXPERIENCIA DE USUARIO Y LA PERCEPCIÓN DE MARCA EN ENTORNOS DIGITALES: UN ESTUDIO EMPÍRICO, CASO DE ESTUDIO ZURYCH CHOCOLATE ORGÁNICO

EXPLORING THE IMPACT OF SUSTAINABILITY ON USER EXPERIENCE AND BRAND PERCEPTION IN DIGITAL ENVIRONMENTS: AN EMPIRICAL STUDY, ZURYCH ORGANIC CHOCOLATE CASE STUDY

Bárbara Solano¹

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Daniel Suarez²

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Dayane Natalia Rosas³

Corporación Universitaria Minuto de Dios

RESUMEN

Este estudio avanza en el conocimiento de cómo la sostenibilidad afecta la experiencia del usuario y la percepción de la marca en entornos digitales y ofrece consejos prácticos para las empresas que buscan incluir la sostenibilidad en sus planes de marketing digital. La percepción de la marca y la experiencia del usuario en entornos digitales ahora dependen en gran medida de la sostenibilidad. Los clientes buscan marcas que compartan sus valores y compromiso con la sustentabilidad a medida que se preocupan cada vez más por los efectos ambientales y sociales de los bienes y servicios que utilizan.

PALABRAS CLAVE: beneficios para la salud; impacto ambiental; ingredientes naturales; mercado de chocolates orgánicos; orgánicos; sabor y textura.

ABSTRACT

This study contributes to the advancement of knowledge on how sustainability impacts user experience and brand perception within digital environments, while also providing practical recommendations for companies aiming to integrate sustainability into their digital marketing strategies. Brand perception and user experience in digital settings are now heavily influenced by sustainability considerations. Consumers increasingly seek brands that reflect their values and demonstrate a clear commitment to sustainability, as they become more concerned with the environmental and social impacts of the goods and services they consume.

KEYWORDS: environmental impact; flavor and texture; health benefits; natural ingredients; organic; organic chocolate market

¹Estudiante de la Corporación Universitaria Minuto de Dios - Semillero Observatorio Branding - bsolanobord@uniminuto.edu.co

²Estudiante de la Corporación Universitaria Minuto de Dios - Semillero Observatorio Branding - jsuarezbena@uniminuto.edu.co

³Estudiante de la Corporación Universitaria Minuto de Dios - Semillero Observatorio Branding - dayane.rosas@uniminuto.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la sostenibilidad ha ganado importancia tanto en la sociedad como en los negocios y ha comenzado a tener un gran impacto en el comportamiento de las personas. Los clientes están más preocupados que nunca por cómo las empresas afectan el medio ambiente y buscan marcas que sean éticas y sostenibles.

En este entorno, las marcas han tenido que cambiar para satisfacer las necesidades y valores cambiantes de los consumidores. Muchas han comenzado a incorporar la sostenibilidad en sus planes de marketing y comunicación, sin embargo, todavía hay poca investigación sobre cómo la sostenibilidad afecta la experiencia del usuario y la percepción de la marca en entornos digitales.

Por lo tanto, exploramos los efectos de la sostenibilidad en la experiencia del usuario y la percepción de la marca en entornos digitales en este artículo a través de un estudio empírico. Las encuestas y entrevistas con clientes de varias marcas en línea fueron algunas de las técnicas cuantitativas y cualitativas que se combinaron para lograrlo.

Según los hallazgos del estudio, la sostenibilidad impacta positivamente tanto la percepción de la marca como la experiencia del usuario en entornos digitales. Los usuarios asocian las marcas sostenibles con mayor autenticidad, confiabilidad y responsabilidad social, lo que fortalece su vínculo con la empresa y aumenta su propensión a realizar una compra.

Este estudio avanza en el conocimiento de cómo la sostenibilidad afecta la experiencia del usuario y la percepción de la marca en entornos digitales y ofrece consejos prácticos para las empresas que buscan incluir la sostenibilidad en sus planes de marketing digital.

2. DEFINICIÓN DE LA PREGUNTA PROBLEMA

¿Cuál es el impacto de la sostenibilidad en la experiencia de usuario y la percepción de marca en entornos digitales, específicamente en el caso del productor campesino Zurych?

2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se centra en el requisito de comprender cómo la experiencia del usuario y la percepción de la marca en un entorno digital pueden verse afectadas por la sostenibilidad y cómo se puede aplicar esto a una marca en particular como Zurych.

La importancia de incorporar la sostenibilidad en la estrategia de marketing digital ha aumentado a medida que han aumentado las preocupaciones de los consumidores y las empresas. Sin embargo, hay poca investigación sobre cómo la sostenibilidad puede afectar la experiencia del usuario y la percepción de la marca en un entorno digital particular, y cómo se puede aplicar a marcas específicas.

Por lo tanto, la investigación aborda los siguientes temas: ¿Cómo puede una marca en particular, como Zurych, integrar la sostenibilidad en su estrategia de marketing digital para mejorar la experiencia del usuario y la percepción de la marca? Al abordar estos problemas, el estudio permitirá a las empresas comprender cómo la sostenibilidad puede afectar la experiencia del usuario y la percepción de la marca en un entorno digital particular, así como en el desarrollo de estrategias de marketing digital sostenibles y eficientes.

2.2. JUSTIFICACIÓN

Se basa en el requisito de comprender cómo la sustentabilidad puede afectar la experiencia del usuario y la percepción de la marca en el entorno digital contemporáneo. La importancia de este estudio se demuestra por lo siguiente:

Los consumidores de hoy en día son más conscientes de la importancia de la sostenibilidad y buscan marcas y productos que sean respetuosos con el medio ambiente y socialmente responsables. Las empresas también han comenzado a tomar muy en serio la sostenibilidad. Por lo tanto, es fundamental que las empresas comprendan cómo la sostenibilidad puede afectar la experiencia del usuario y la percepción de la marca en un entorno digital.

Un importante canal de ventas es el entorno digital. Para muchas marcas, este canal ha ganado importancia, por lo tanto, las empresas deben comprender cómo la sostenibilidad puede afectar la experiencia del usuario y la percepción de la marca en este entorno y cómo incorporar la sostenibilidad en su estrategia de marketing digital.

Aunque la sostenibilidad es un tema importante, hay poca investigación sobre cómo la sostenibilidad puede afectar la percepción de la marca y la experiencia del usuario en un entorno digital particular. Como resultado, la investigación propuesta puede contribuir a cerrar esta brecha de conocimiento al mismo tiempo que ofrece perspectivas y consejos útiles para las empresas.

El caso de estudio de Zurych es pertinente: Zurych fue seleccionado como caso de estudio porque es una empresa que prioriza la sustentabilidad como uno de sus valores centrales. Esto la convierte en un excelente caso de estudio para examinar cómo la sustentabilidad puede afectar la percepción de la marca y la experiencia del usuario en un entorno digital.

El estudio propuesto es significativo porque ofrecerá información valiosa sobre cómo la sostenibilidad puede afectar la percepción de la marca y la experiencia del usuario en un entorno digital particular, así como también cómo las empresas pueden incorporar la sostenibilidad en su estrategia de marketing digital para impulsar el rendimiento y construir una reputación sostenible.

2.3. OBJETIVO GENERAL

Determinar los factores de sostenibilidad que afectan la percepción de la marca y la experiencia del usuario en un entorno digital.

2.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar los factores de sostenibilidad más importantes para los consumidores en el entorno digital y cómo pueden afectar la percepción de la marca y la experiencia del usuario allí. Este objetivo específico pretende averiguar qué factores de sostenibilidad son más importantes para los consumidores en el entorno digital y cómo pueden afectar a la percepción de la marca y la experiencia del usuario.

Analizar el impacto de la sostenibilidad en la percepción de la marca y la experiencia del usuario en entornos digitales: este objetivo se centra en examinar los efectos potenciales de la sostenibilidad en la percepción de la marca y la experiencia del usuario en un entorno digital particular, así como la influencia

potencial que estos factores tienen en el comportamiento del consumidor.

Evaluar cómo la marca de chocolates orgánicos Zurych ha incorporado la sostenibilidad en su estrategia de marketing digital y cómo esta integración ha impactado en la percepción de la marca y la experiencia del usuario en el entorno digital. El chocolate orgánico Zurych es una marca que vende productos de chocolate orgánico.

El objetivo final de esta investigación es desarrollar recomendaciones prácticas para las empresas sobre cómo incorporar la sostenibilidad en su estrategia de marketing digital, la experiencia del usuario en un entorno digital.

2.5. ANTECEDENTES

El manejo adecuado del UX permite tener una imagen óptima en línea, lo cual genera una mejor comunicación en pro del branding, ayudando a influir en emociones según la experiencia de usuario que se brinde.

La conciencia global sobre la importancia de la sustentabilidad y los impactos sociales y ambientales de los negocios ha crecido en los últimos años. Numerosas empresas han adoptado prácticas más responsables y sostenibles en sus operaciones comerciales y tácticas de marketing diarias como resultado de este cambio en la percepción del consumidor. A medida que más consumidores utilizan los medios digitales para la investigación y la toma de decisiones, la sostenibilidad también ha ganado importancia en el campo del marketing digital. Según numerosos estudios, es más probable que los consumidores compren productos de empresas que perciben como éticas y sostenibles, y también están dispuestos a pagar más por estos productos.

Un estudio publicado en el Journal of Business Research en 2018, por ejemplo, demostró que la sostenibilidad es un factor de gran importancia en la toma de decisiones de compra de los consumidores, especialmente en el entorno digital. Además, el estudio también encontró que los consumidores tienen una mayor percepción positiva de las marcas que comunican su compromiso con la sostenibilidad y que les importa el bienestar social y ambiental. (Donthu et al., 2022).

Ha aumentado la preocupación por la sostenibilidad y la responsabilidad social, particularmente en el contexto de la industria alimentaria. Muchas empresas de alimentos están cambiando a métodos de producción y gestión más respetuosos con el medio ambiente y se lo están contando a sus clientes.

Por lo tanto, es importante comprender cómo la sustentabilidad puede afectar la percepción de la marca y la experiencia del usuario en el entorno digital, así como también cómo las empresas pueden incorporar la sustentabilidad en su estrategia de marketing digital para mejorar la percepción de la marca y la experiencia del usuario.

2.6. REVISIÓN DE LITERATURA

El tema central sobre el que gira este proyecto de investigación es la experiencia de usuario entre los clientes de Zurych. La UX (user experience o experiencia de usuario) es una herramienta para la satisfacción establecida dentro de la usabilidad, se puede definir como la percepción que ejerce un usuario al interactuar con un producto o software sin hacer relevante la manera en la cual esta estaba hecha o el tiempo empleado

para su realización. Este, a su vez, se basa en unos modelos que ayudan a determinar o medir en un cierto grado el nivel de gusto que se ejerce de la manipulación de un software en específico. Dichos modelos contemplan una visión diferente, al igual que unos pasos, que según varios autores son necesarios para identificar si un producto es atractivo para un usuario o si, por el contrario, este necesita de algunas correcciones para su buen uso (Barahona Rodríguez et al., 2018).

Estos modelos manejan en su mayoría la parte cognitiva del ser humano, sentimientos, emociones y demás que puede generar un usuario frente a un determinado producto o sistema, además, muchos consideran de importancia la manera en la que el software esté estructurada y pueda o no ser de fácil manejo para un usuario común. (Barahona Rodríguez et al., 2018).

La Revista Arquitectura (Vol. 15) de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Católica de Colombia, indica que:

"Hekkert (2006) y Schifferstein y Cleiren (2005), definen la experiencia como la conciencia de los efectos psicológicos provocados por la interacción con un producto, incluyendo el grado en el que todos nuestros sentidos son estimulados; atribuimos significados, valores y reconocemos los sentimientos y las emociones que se suscitan, en ese sentido, el término "experiencia" se refiere a acontecimientos de la vida singularmente significativos tanto cognitivos como afectivos. Ahora la percepción que genera un ser humano es basada por uno de los sentidos principales: la visión, ya que es por este medio donde la mayoría de las personas pueden interactuar con el ambiente y su entorno, tanto así, que es gracias a este que se puede definir que un hombre obtuvo o no una experiencia relacionada con cualquier medio, sin embargo, no solo lo hacen a través de la parte visual, ya que si bien este es un factor principal, también se basan en sistemas sensoriales y sistemas cognitivos que hacen entender al hombre el contexto y el mundo que los rodea actualmente, así como también les da la oportunidad de razonamiento y determinación de lo que ellos conciben como bueno, malo, regular entre otros" (Barahona Rodríguez et al., 2018).

El Branding toma en cuenta el nivel de MARCA dependiendo del grado de opinión colectiva y percepción que se tenga en el mercado, así como el respaldo económico y la eficiencia en la comunicación de la marca que le permita soportar, a través del tiempo (Hernández, 2012).

3. METODOLOGÍA

La metodología de investigación utilizada en el tema anterior podría ser un estudio empírico mixto, ya que se busca explorar el impacto de la sostenibilidad en la experiencia de usuario y la percepción de marca en entornos digitales, utilizando como caso de estudio la marca Zurych.

En este tipo de estudio, se recopilaban datos cuantitativos a través de encuestas o cuestionarios en línea dirigidos a una muestra representativa de consumidores que han tenido contacto con la marca Zurych. Se podrían medir variables como la percepción de marca, la experiencia de usuario, la intención de compra y la influencia de la sostenibilidad en estas variables. Además, se podría utilizar análisis estadísticos para examinar las relaciones entre estas variables y determinar si hay una correlación significativa entre la sostenibilidad y la

percepción de marca y la experiencia de usuario en entornos digitales.

En resumen, una metodología de investigación adecuada para este tema podría ser un estudio empírico cuantitativo con un enfoque en la recopilación y análisis de datos estadísticos, a través de encuestas en línea dirigidas a consumidores que han tenido contacto con la marca Zurich en la cual se dividirá en tres fases estratégicas.

En este enfoque, se combina la recopilación de datos cuantitativos y cualitativos para obtener una comprensión más completa y profunda del impacto de la sostenibilidad en la experiencia de usuario y la percepción de marca en entornos digitales, utilizando como caso de estudio la marca Zurich.

3.1. FASE 1. CREACIÓN Y PLANEACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

Esta fase se enfocará en la creación de los instrumentos cuantitativos y cualitativos, según los resultados se podría actualizar dichos bocetos.

3.2. FASE 2. RECOPIACIÓN DE DATOS CUANTITATIVOS Y CUALITATIVOS

Se podría llevar a cabo una encuesta en línea dirigida a una muestra representativa de consumidores que hayan tenido contacto con la marca Zurich.

Se podrían medir variables como la percepción de marca, la experiencia de usuario, la intención de compra y la influencia de la sostenibilidad en estas variables.

Los consumidores que han interactuado con la marca Zurich pueden ser entrevistados individualmente o en grupos para recopilar datos más completos y detallados sobre sus percepciones y experiencias con la marca.

Se podría realizar una investigación más profunda sobre cómo los consumidores ven la sostenibilidad en relación con una marca y cómo esto afecta sus interacciones y opiniones sobre la marca.

3.3. FASE 3. ANÁLISIS E INTEGRACIÓN DE DATOS

Las técnicas para integrar y analizar los resultados podrían utilizarse para el análisis, tanto cuantitativo como cualitativo, una vez que se hayan recopilado los datos. Para comprender más a fondo los efectos de la sostenibilidad en la experiencia del usuario y la percepción de la marca en entornos digitales, se podrían investigar las relaciones entre las variables cuantitativas y las percepciones y experiencias cualitativas del consumidor.

4. RESULTADOS

Sin embargo, en términos generales, se anticipa que los hallazgos de este estudio empírico, que utiliza la marca de chocolate orgánico Zurich como caso de estudio, serán útiles para iluminar cómo la sostenibilidad afecta la experiencia del usuario y la percepción de la marca en entornos digitales.

Los hallazgos pueden sugerir que la sostenibilidad influye favorablemente en la percepción de la marca y la experiencia del usuario en entornos digitales. En otras palabras, es más probable que los clientes seleccionen y favorezcan una marca preocupada por la sostenibilidad y el impacto ambiental.

También se anticipa que los resultados ayudarán a la marca de chocolate orgánico Zurich a mejorar su estrategia de comunicación en línea para resaltar su dedicación a la sustentabilidad e identificar posibles brechas en la comunicación de la sustentabilidad. En términos generales, los hallazgos de este estudio pueden ser útiles para otras marcas que también estén interesadas en aprender cómo la sustentabilidad puede afectar la percepción de la marca y la experiencia del usuario en entornos digitales.

Discusión

La discusión del tema anterior se centraría en los hallazgos de la investigación empírica realizada y su interpretación a la luz de la literatura existente sobre los efectos de la sostenibilidad en la experiencia del usuario y la percepción de marca en entornos digitales. Según los resultados de la investigación, la sostenibilidad impacta positivamente en la percepción de la marca y la experiencia del usuario en entornos digitales.

Esto podría deberse a la creciente conciencia de los consumidores sobre el valor de la sostenibilidad y su deseo de asociarse con empresas que comparten su moral y se preocupan por el medio ambiente.

Adicionalmente, se podría hablar de cómo la empresa de chocolates orgánicos Zurich podría potenciar su estrategia de comunicación online para enfatizar su compromiso con la sustentabilidad y cómo esto podría afectar favorablemente la percepción de la marca y la experiencia del usuario. También es posible una discusión de las posibles limitaciones del estudio, incluida la selección de la muestra, el método de recopilación de datos y los posibles efectos sobre los hallazgos. De la misma manera, se podrían sugerir posibles direcciones para futuras investigaciones, como investigar cómo la sostenibilidad afecta la lealtad a la marca y la recomendación en entornos digitales.

En conclusión, la discusión del tema antes mencionado podría ofrecer conocimiento útil para las empresas que buscan mejorar su estrategia de sostenibilidad en entornos digitales, así como para los investigadores que buscan investigar más a fondo los efectos de la sostenibilidad en la percepción y la experiencia de la marca.

5. CONCLUSIONES

La percepción de la marca y la experiencia del usuario en entornos digitales ahora dependen en gran medida de la sostenibilidad. Los clientes buscan marcas que compartan sus valores y compromiso con la sustentabilidad a medida que se preocupan cada vez más por los efectos ambientales y sociales de los bienes y servicios que utilizan. En entornos digitales, la experiencia del usuario también es muy importante para la percepción de la marca. Si bien una experiencia de usuario negativa puede tener el efecto contrario, una experiencia de usuario positiva puede mejorar la percepción y la confianza del consumidor en la marca. Dado que las marcas pueden expresar su compromiso con la sostenibilidad a través de sus sitios web, cuentas de redes sociales y otras plataformas en línea, la sostenibilidad puede ser un factor importante para mejorar la experiencia del usuario en línea. De esta forma, los clientes pueden tener una experiencia en línea más satisfactoria y sentirse más conectados con la marca y su misión.

En conclusión, las empresas que promueven su compromiso con la sostenibilidad y ofrecen una experiencia de usuario positiva en línea pueden mejorar la percepción de la marca

y mantener a los clientes que comparten ese compromiso. En consecuencia, es fundamental que las marcas incluyan la sostenibilidad como un componente clave de su estrategia de marca y su comunicación en línea.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



- Berens, G., van Riel, C. B. M., & van Bruggen, G. H. (2018). Sustainable digital marketing: The impact of social and environmental messages on customer behavior. *Journal of Business Research*, 91, 51-59. doi: 10.1016/j.jbusres.2018.04.016
- Thøgersen, J. (2018). Sustainability characteristics, their impact on consumer preference and the importance of product category knowledge: A study of Danish consumers' preferences for food products. *Journal of Consumer Behaviour*, 17(5), 394-405. doi: 10.1002/cb.1691
- Verhoef, P. C., Leeflang, P. S. H., & Reiner, J. (2017). Understanding the marketing department's influence within the firm. *Journal of Marketing*, 81(5), 1-21. doi: 10.1509/jm.16.0354
- Barahona Rodríguez, C. Y., Gómez Urrego, T. A., & Salcedo Ramirez, M. J. (2018). Trayectoria De La Evolución De Modelos UX a UxE. unillanos. Retrieved April 5, 2023, from https://cici.unillanos.edu.co/media2018/memorias/CICI_2018_paper_103.pdf
- Luchs, M. G., Naylor, R. W., Irwin, J. R., & Raghunathan, R. (2010). The sustainability liability: Potential negative effects of ethicality on product preference. *Journal of Marketing*, 74(5), 18-31. doi: 10.1509/jmkg.74.5.18
- Park, H. J., Kim, Y. K., & Kim, Y. (2018). How do corporate social responsibility activities affect consumer evaluations of food products? The roles of visible commitment and perceived altruism. *Journal of Consumer Behaviour*, 17(6), 555-566. doi: 10.1002/cb.1723
- Hernández, R. (2012, 06). Branding sustentable. Repositorio Institucional REIMS. Retrieved April 5, 2023, from <https://repositorio.lasalle.mx/handle/lasalle/834>
- HEKKERT, P. (2006). Design aesthetics: principles of pleasure in design. *Psychology Science* Vol.48 (2), 157-172.
- Ortigón, L., & Gómez, A. (2016, 06 03). Gestión del marketing sensorial sobre la experiencia del consumidor. *Revista de ciencias sociales*. <https://www.redalyc.org/pdf/280/28049146006.pdf>



BIODEGRADABILIDAD DE BIOPOLÍMEROS A BASE DE ALMIDÓN DE YUCA (MANIHOT ESCULENTA CRANTZ) CON LÍQUIDO DE LA CÁSCARA DE NUEZ DEL ANACARDO

BIODEGRADABILITY OF BIOPOLYMERS BASED ON CASSAVA STARCH (MANIHOT ESCULENTA CRANTZ) WITH CASHEW NUTSHELL LIQUID

Yair Alfonso Vega Vega¹
Universidad de Sucre (UDS)

Álvaro Ángel Arrieta Almario²
Universidad de Sucre (UDS)

Sergio Luis Flórez Seña³
Liceo Panamericano Campestre

RESUMEN

El almidón ha sido protagonista en diferentes estudios como producción de hidrogeles y en procesos de recubrimiento, específicamente en síntesis de biopelículas. Se ha observado que la temperatura y la humedad influyen desfavorablemente en el carácter hidrofílico del almidón, puesto que ocasionan una baja estabilidad y degradación acelerada a las biopelículas. Por esta razón, existe la necesidad de incorporar un nuevo componente que permita mitigar este inconveniente. Un buen candidato es el líquido obtenido de la cáscara de nuez del anacardo, ya que posee una serie de compuestos fenólicos como el ácido anacárdico, cardol y cardanol, los cuales han arrojado resultados muy satisfactorios, gracias a sus propiedades. Por lo anterior, el propósito de esta investigación fue estudiar el proceso de biodegradabilidad de biopolímeros a base de almidón de yuca (Manihot esculenta crantz) con líquido de la cáscara de nuez del anacardo, teniendo en cuenta la composición y pH del biopolímero. Las biopelículas fueron caracterizadas por Espectroscopía de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR). Los espectros mostraron los grupos funcionales del almidón y líquido de la cáscara de nuez del anacardo presentes en el biopolímero, evidenciando la interacción química entre estos dos componentes. Además, la biodegradabilidad mostró dependencia con la composición y pH de las biopelículas, siendo pH 12 y mayor concentración de aceite de la cáscara de nuez del anacardo aquella que presentó mejor el proceso.

PALABRAS CLAVE: almidón; biodegradabilidad; biopolímeros; líquido de la cáscara de nuez del anacardo.

¹Profesor de Catedra del Departamento de Biología y Química - Universidad de Sucre, UDS, Colombia - yair.vega@unisucrevirtual.edu.co

²Profesor de Planta del Departamento de Biología y Química - Universidad de Sucre, UDS, Colombia - alvaro.arrieta@unisucru.edu.co

³Profesor del Liceo Panamericano Campestre - Departamento de Sucre, Colombia - docentesergio@gmail.com

ABSTRACT

Starch has been the protagonist in different studies such as the production of hydrogels and in coating processes, specifically in biofilm synthesis. It has been observed that temperature and humidity have an unfavorable influence on the hydrophilic character of starch, since they cause low stability and accelerated degradation of biofilms. For this reason, there is a need to incorporate a new component that can mitigate this drawback. A good candidate is the liquid obtained from the cashew nut shell, since it has a series of phenolic compounds such as anacardic acid, cardol and cardanol, which have yielded very satisfactory results, thanks to their properties. Therefore, the purpose of this research was to study the biodegradability process of biopolymers based on cassava starch (*Manihot esculenta* crantz) with cashew nutshell liquid, taking into account the composition and pH of the biopolymer. The biofilms were characterized by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). The spectra showed the functional groups of the starch and cashew nutshell liquid present in the biopolymer, evidencing the chemical interaction between these two components. Furthermore, biodegradability showed dependence on the composition and pH of the biofilms, with pH 12 and the highest concentration of cashew nutshell oil being the one that presented the best process.

KEYWORDS: biodegradability; biopolymers; cashew nutshell liquid; starch.

RESUMO

O amido tem sido protagonista em diversos estudos como na produção de hidrogéis e em processos de revestimento, especificamente na síntese de biofilmes. Observou-se que a temperatura e a umidade influenciam desfavoravelmente o caráter hidrofílico do amido, pois causam baixa estabilidade e degradação acelerada dos biofilmes. Por esta razão, existe a necessidade de incorporar um novo componente que possa mitigar esta desvantagem. Um bom candidato é o líquido obtido da casca da castanha de caju, pois possui uma série de compostos fenólicos como ácido anacárdico, cardol e cardanol, que têm produzido resultados muito satisfatórios, graças às suas propriedades. Portanto, o objetivo desta pesquisa foi estudar o processo de biodegradabilidade de biopolímeros à base de fécula de mandioca (*Manihot esculenta* crantz) com líquido de casca de castanha de caju, levando em consideração a composição e o pH do biopolímero. Os biofilmes foram caracterizados por Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR). Os espectros mostraram os grupos funcionais do amido e do líquido da casca da castanha de caju presentes no biopolímero, evidenciando a interação química entre esses dois componentes. Além disso, a biodegradabilidade apresentou dependência da composição e do pH dos biofilmes, sendo o pH 12 e a maior concentração de óleo de casca de castanha de caju o que apresentou melhor processo.

PALAVRAS-CHAVE: amido; biodegradabilidade; biopolímeros; líquido da casca da castanha de caju.

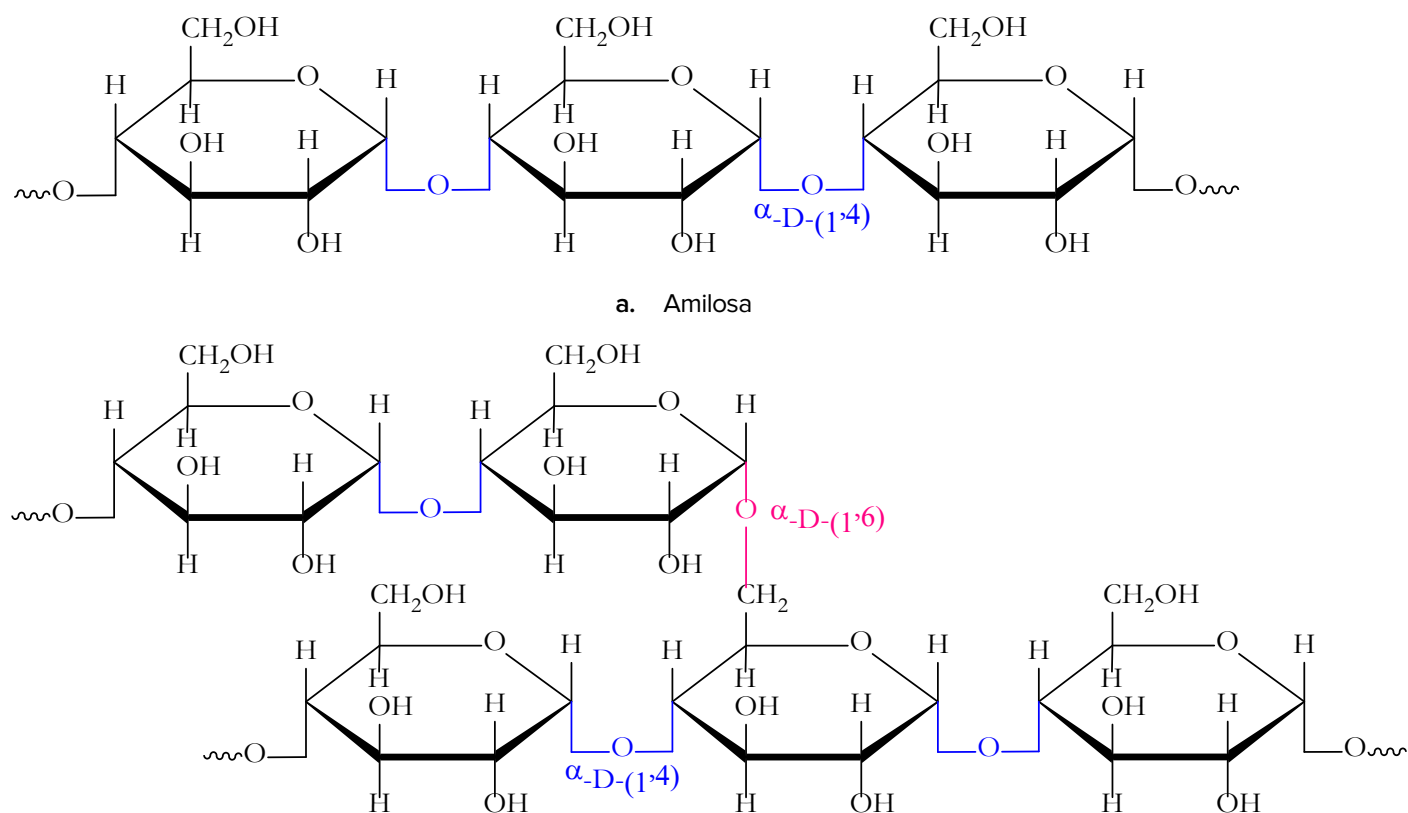
1. INTRODUCCIÓN

1.1. ALMIDÓN

1.1.1. ESTRUCTURA Y CARACTERÍSTICAS

El almidón es un polímero natural con un alto porcentaje de abundancia, puede estar presente en diferentes fuentes vegetales como la yuca, maíz, arroz, trigo, papa, patata, aguacate, entre otras (Araújo et al., 2020; Chiaregato & Faez, 2021). Esta macromolécula es disponible, renovable, versátil, biodegradable y, sobre todo, económica. Está formada por monómeros de D-glucosa que se unen mediante enlaces glucosídicos α -D-(1 $\rightarrow$ 4) y/o α -D-(1 $\rightarrow$ 6), así mismo, la estructura del almidón consta principalmente de amilosa y amilopectina, que representan alrededor del 98-99 % de la masa del almidón y algunos componentes minoritarios como proteínas, lípidos y minerales que pueden ser extraídos con alta pureza (Araújo et al., 2020; Chen et al., 2018; Qamruzzaman et al., 2022).

La amilosa y amilopectina presentan diferencias en su estructura, ver Figura 1, ya que la amilosa (que constituye alrededor del 25-30 % del gránulo de almidón) posee una cadena lineal formada por unidades de D-glucosa interconectadas por enlaces glucosídicos α -D-(1 $\rightarrow$ 4) (región amorfa), por su parte, la amilopectina (que constituye alrededor del 70-75 % del gránulo de almidón) presenta una estructura ramificada con cadenas cortas de D-glucosa interconectadas por enlaces glucosídicos α -D-(1 $\rightarrow$ 4), donde los enlaces glucosídicos α -D-(1 $\rightarrow$ 6) conectan la cadena corta en los llamados puntos de ramificación, que ocurren cada 25-30 unidades de glucosa (región cristalina) (Chen et al., 2020; Chiaregato & Faez, 2021; Gautam et al., 2021; Ghobashy, 2019; Sarkar et al., 2021; G. M. de S. Silva et al., 2020). Según la fuente vegetal de almidón, la proporción relativa de amilosa y amilopectina difiere y afecta tanto el orden molecular como la cristalinidad. Por tanto, las propiedades físicas y químicas del almidón están determinadas por su composición y estructura (Qamruzzaman et al., 2022; Supare & Mahanwar, 2022).

Figura 1. Estructura de la amilosa y amilopectina en el almidón

Fuente: Elaboración propia 2023.

En la Figura 1 se observa que, tanto la amilosa como la amilopectina presentan grupos hidroxilo ($-\text{OH}$) en sus estructuras, esto proporciona al almidón una alta reactividad ya que puede oxidarse, reducirse y formar enlaces de hidrógeno. Además, gracias a estos grupos $-\text{OH}$, el almidón posee un carácter hidrofílico, permitiendo así que las moléculas de agua pueden cambiar la interacción interna y los arreglos morfológicos del mismo. Por esta razón, varias propiedades del almidón, como las propiedades físicas y mecánicas y la temperatura de transición vítrea, dependen del contenido de agua. Una de las propiedades importantes del almidón es su completa biodegradabilidad en diferentes ambientes, esto se debe a la vulnerabilidad que tiene frente a los microorganismos (acción microbiana), o bien, por reacción enzimática, en las cuales la glucosa se obtiene por hidrólisis (Qamruzzaman et al., 2022).

1.1.2. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN

Cada materia prima requiere de un proceso adecuado para extraer el almidón, puesto que difieren en el contenido de este compuesto (Vilpoux et al., 2018). Algunos métodos de extracción requieren de azufre, otros utilizan enzimas, álcalis, o bien, extracción acuosa (Correia & Beirão-Da-Costa, 2012). Siendo esta última la más común, y dependiendo de la fuente de almidón, puede dar como resultado gránulos con proteínas y lípidos residuales (Salgado-Ordosgoitia et al., 2018). Ahora, la extracción alcalina con hidróxido de sodio (NaOH), dimetilsulfóxido (DMSO) y metabisulfito de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$), da como resultado gránulos con bajos niveles de proteína y

lípidos residuales, además, proporciona un mayor rendimiento y mejora las propiedades del almidón (Falade & Okafor, 2015; Jiang et al., 2013). Así, la selección del método de extracción depende del rendimiento, de la materia prima utilizada y de las propiedades deseadas para las aplicaciones del almidón (Pires et al., 2021).

Teniendo en cuenta lo anterior, en un estudio realizado por Torres et al., 2020, se desarrolló un método de extracción convencional para la respectiva extracción del almidón presente en las patatas. Dicho proceso se dividió en varias etapas: Primeramente, se peló, cortó y trituró la papa; a continuación, se mezcló la pulpa molida con agua en proporción 1:2 (sólido: líquido) durante 60 min a 200 rpm. Luego, con la ayuda de un tamiz de malla de 80 μm , se filtró con el fin de separar la pulpa del líquido. Posteriormente, se lavó la pulpa para retirar el almidón restante y se dejó enfriar el sistema por 24 h, pasado este tiempo, se eliminó el sobrenadante y se recogió el sedimento, almidón. Por último, se secó el almidón a 40 $^{\circ}\text{C}$ durante 48 h, y se almacenó en recipientes de plástico cerrados a temperatura ambiente para su posterior análisis (Torres et al., 2020).

Así mismo, Silva et al., 2020, logró extraer el almidón de acuerdo con el siguiente procedimiento: inicialmente los tubérculos fueron separados de contaminantes e impurezas, seleccionados y desinfectados en agua clorada (100 ppm) por 15 min, lavados con agua potable, pelados y molidos en licuadora industrial. La pulpa suspendida se tamizó a través de mallas de 0.149 mm y 0.079 mm, el residuo se descartó.

Luego, el sedimento se lavó 4 veces con agua fría y se purificó con alcohol absoluto, se filtró y se secó a 35 °C durante 12 h en un horno de circulación de aire. El almidón seco obtenido se molió (malla 48) y se envasó en bolsas de polietileno para su posterior análisis. El rendimiento de extracción se analizó por la relación entre la masa de almidón extraído y la masa de materia prima estudiada, siendo expresada en porcentaje (G. M. de S. Silva et al., 2020). Procedimientos análogos fueron realizados por Da Silva et al., 2020 (L. R. da Silva et al., 2020) y Zounggran et al., 2020 (Zounggran et al., 2020), con algunas pequeñas modificaciones.

Ahora, como la idea está encaminada en la optimización de nuevas metodologías para la extracción del almidón, resulta conveniente resaltar la técnica de extracción asistida por microondas, la cual se considera como un “método verde” y segura para extraer polímeros como el almidón debido a su facilidad y posibilidad de usar, solamente, agua como solvente de extracción (Galanakis, 2012; Lara-Flores et al., 2018). El mecanismo de extracción por microondas se fundamenta en el calentamiento inducido por la radiación de microondas, que crea un momento dipolar provocado por la agitación de las moléculas de agua dentro del material de extracción, esto genera poros o rotura del material vegetal y, en consecuencia, una mayor liberación de compuestos (Kala et al., 2016). Este tipo de extracción presenta varias ventajas respecto a otros métodos como reducción de los tiempos de extracción, mayor rendimiento de extracción y menor consumo de solventes (Araújo et al., 2020).

Otro método para extraer el almidón que brinda mayor eficiencia y muy amigable con el medio ambiente (ya que no utiliza solventes orgánicos), es la extracción asistida por ultrasonido (UAE). Esta técnica de extracción utiliza el efecto de cavitación causado por ondas ultrasónicas en un medio líquido para romper la pared celular (Chemat et al., 2011, 2017). Como los gránulos de almidón en la yuca quedan atrapados por las fibras de celulosa unidas con pectina en las paredes celulares (Setyaningsih et al., 2021). La UAE desencadena la rápida liberación de analitos en el solvente de extracción (Azmir et al., 2013). Este método fue desarrollado por Setyaningsih et al., 2021, utilizando una sonda ultrasónica UP200St 200 W, 26 kHz (Hielscher, Alemania). En este estudio, se pesaron 15 g de harina de yuca y se depositaron en un vaso de precipitado. A continuación, se adicionó una cantidad específica de agua destilada, como solvente de extracción. Luego, la mezcla se extrajo durante 10 min a temperatura ambiente usando UAE. La solución resultante, se filtró para eliminar el material sólido y el extracto se depositó y se secó en un secador de gabinete (AM-TD24, Yogyakarta, Indonesia) a 50 °C por 24 h. Por último, el almidón obtenido se empacó en bolsas de polietileno para su posterior análisis (Setyaningsih et al., 2021).

En un estudio reciente realizado por Zukryandry et al., 2021, se logró extraer almidón de una muestra de yuca utilizando un baño ultrasónico. La metodología utilizada en este trabajo fue dividida en dos etapas, en la primera, se pesaron 150 gramos de yuca rallada y se depositaron en un vaso de precipitado, posteriormente, se adicionaron 300 ml de agua destilada, luego se filtró y se recogió el filtrado. El filtrado se colocó en un tubo (diámetro interior de 20 mm) y se introdujo en un sistema de baño ultrasónico a 40 °C por 0, 10, 20, 30 y 40 min (según tratamiento) al 80 % de potencia máxima. A continuación, los resultados de la extracción se filtran mediante un evaporador al vacío hasta obtener un extracto espeso. El siguiente proceso es una deposición de 1 h. El almidón obtenido se secó en un secador de armario a una temperatura de 55 °C hasta alcanzar un contenido de humedad del 12-14 %. Después del secado,

el almidón fue molido y tamizado con un tamiz de malla 90 µm. Finalmente, el almidón obtenido se guardó en bolsas de polietileno para su posterior análisis (Zukryandry et al., 2021).

1.1.3. TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN

El almidón extraído de diferentes fuentes vegetales puede ser caracterizado por diferentes técnicas como espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), resonancia magnética nuclear de carbono 13 (RMN 13C), análisis termogravimétrico (TGA), microscopía electrónica de barrido (SEM), difracción de rayos X (XRD), espectroscopía ultravioleta-visible (UV-Vis), espectroscopía de fotoelectrones de rayos X (XPS), análisis térmico diferencial (DTG) y calorimetría diferencial de barrido (DSC). (Chiaregato & Faez, 2021; L. R. da Silva et al., 2020; Dong et al., 2021; Junlapong et al., 2020; Pires et al., 2021; Qiao et al., 2016, 2019; G. M. de S. Silva et al., 2020; Zhang et al., 2020).

1.1.4. APLICABILIDAD

En los últimos años, el almidón (y sus derivados) se ha convertido en blanco de interés para un sin número de investigadores, gracias a las diversas propiedades tanto físicas como químicas que le brindan credibilidad para ser utilizado en diferentes aplicaciones de investigación científica. Por tanto, las propiedades espesantes, gelificantes, estabilizadoras y aglutinantes hacen del almidón un ingrediente ampliamente utilizado en alimentos, cosméticos, productos farmacéuticos, textiles, materiales biodegradables y otros productos industriales (Araújo et al., 2020). Además, el almidón extraído de diferentes fuentes vegetales, ha sido protagonista en la formación de hidrogeles, procesos de recubrimientos, o bien, procesos de encapsulación de liberación lenta y/o controlada (Chiaregato & Faez, 2021; Ibrahim et al., 2019; Junlapong et al., 2020; Salimi et al., 2020; Sarkar et al., 2021; Savitri et al., 2019; Supare & Mahanwar, 2022; Vudjung & Saengsuwan, 2018; Zafar et al., 2021), puesto que la adición de almidón en los procesos de liberación lenta podría tener ventajas prometedoras como: i) reducción del costo de producción, ii) mejora de la propiedad de biodegradación, iii) promoción del crecimiento de las plantas y iv) desarrollo de métodos sostenibles y ecológicos (Salimi et al., 2020). Por ejemplo, Vudjung et al., (2018), desarrolló hidrogeles biodegradables de red polimérica interpenetrante (IPN) basados en caucho natural prevulcanizado (NR) y almidón de yuca (St) utilizando azufre (S) y glutaraldehído (GA) como reticulantes en forma de solución como membrana de recubrimiento para fertilizantes nitrogenados de liberación lenta.

Como resultados de esta investigación, se encontró que la fracción soluble, el hinchamiento del agua y la permeabilidad al agua del hidrogel IPN NR/St aumentaron con la proporción de St, mientras que la fracción de gel disminuyó. La biodegradación del hidrogel IPN NR/St mejoró significativamente con el aumento del contenido de St. El IPN NR/St óptimo fue 70:30. La liberación de urea del material W-IPN-CUB podría prolongarse hasta 24 días en comparación con la UB nativa (3 días) (Vudjung & Saengsuwan, 2018).

En otro estudio realizado por Savitri et al., (2019), se analizó el comportamiento de liberación controlada de fósforo recubierto con material a base de almidón-quitosano mediante la técnica de pulverización. En dicha investigación, se encontró que la absorción de agua del fertilizante recubierto era mayor respecto al fertilizante convencional sin recubrimiento. Además, la condición óptima del recubrimiento a base de almidón-quitosano fue de 30:70 y 2 % del porcentaje de

almidón. Por otro lado, el microscopio electrónico de barrido (SEM) mostró que cuanto mayor era el contenido de quitosano, mayor era la capacidad de absorción de agua (Savitri et al., 2019).

Otro estudio que involucra al almidón fue desarrollado por Junlapong et al., (2020), el cual sintetizó hidrogeles superabsorbentes a base de poliacrilamida (PAM) y almidón de yuca (CS), utilizando el método de polimerización radical. En este estudio, se observó el injerto exitoso del PAM en el almidón gracias a los espectros FTIR. Además, las micrografías SEM revelaron una estructura porosa interconectada que exhibió una red de poros más densa y una disminución en el tamaño de los poros a medida que aumentaba la cantidad de CS. Como resultado más relevante de este estudio, se encontró que el hidrogel que contenía 50 % en peso de CS (CS50) mostró una excelente absorción de agua de > 8000 %, que fue mucho mayor respecto al hidrogel CS0 (PAM puro). Este hidrogel CS50 eliminó > 85 % de azul de metileno (MB) en 50 % de MB en solución. Además, se degradó en un 80 % en 30 días, mientras que el PAM puro solo se degradó en un 22 % (Junlapong et al., 2020).

En otra investigación llevada a cabo por Chiaregato et al., (2021), se desarrollaron microesferas de almidón (CS) con diferentes micronutrientes (Cu, Fe, Mn), utilizando la técnica spray-drying con el fin de disminuir la pérdida de dichos micronutrientes. En este estudio se encontró que la liberación del micronutriente presentó una forma bifásica de ráfaga, liberando el 55 % de Mn, 70% de Cu y 91 % de Fe, con una cinética de liberación regida principalmente por el modelo Peppas-Sahlin (ajustado a todos los materiales). Además, la liberación ocurrió más lentamente cuando tuvo lugar el hinchamiento por relajación de la cadena polimérica. Así, las microesferas elaboradas permitieron reducir la pérdida de micronutrientes (Chiaregato & Faez, 2021).

Asimismo, Zafar et al., (2021) preparó muestras de urea encapsulada mediante un recubridor/granulador de lecho fluidizado. Para tal recubrimiento de los gránulos de urea, se utilizó el almidón y alcohol polivinílico (PVA) en combinación con ácido acrílico (AA), ácido cítrico (CA) y ácido maleico (MA). Dentro de los resultados obtenidos en este estudio, se encontró que tanto el análisis morfológico (SEM) como la técnica XRD indicaron que se produjo un nuevo recubrimiento uniforme sin nueva transformación de fase. Además, todas las muestras de urea recubiertas mejoraron el rendimiento del follaje de las plantas de espinaca, el contenido de clorofila, la absorción de N y la recuperación aparente de nitrógeno (ANR) respecto a la urea no recubierta y las plantas de control. Sin embargo, USP-A2 y USP-C2 mostraron resultados muy satisfactorios respecto a las demás ya que obtuvieron mayores resistencias de trituración: 12.08 y 13.67 N con una eficiencia de liberación de nitrógeno de 70.10 y 50.74 % respectivamente (Zafar et al., 2021).

Recientemente, Supare & Mahanwar, (2022), prepararon hidrogeles de base biológica (almidón y quitosano) cargados de herbicidas para estudiar el mecanismo de liberación.

Como resultado de este trabajo, se encontró que el análisis termogravimétrico proporcionó información valiosa acerca de la estabilidad térmica de los hidrogeles obtenidos. Asimismo, se realizó calorimetría diferencial de barrido con el fin de conocer la liberación inicial de agua atrapada en la matriz de hidrogel y relacionar las estructuras con la velocidad de liberación. Además, la morfología de los hidrogeles por SEM, permitió establecer la relación con las estructuras de hidrogel correspondientes.

Por último, se evaluó el grado de hinchazón del equilibrio, la dinámica de liberación de atrazina y el mecanismo de difusión. La hinchazón afectó significativamente el comportamiento de liberación, y los hidrogeles preparados con glioxal mostraron la tasa de liberación más baja de atrazina, alcanzando la vitalidad de liberación de 500 h (Supare & Mahanwar, 2022).

1.2. LÍQUIDO DE LA CÁSCARA DE NUEZ DEL ANACARDO

1.2.1. GENERALIDADES DEL LÍQUIDO DE LA CÁSCARA DE NUEZ DEL ANACARDO

El anacardo (*Anacardium occidentale* L.) es una de las especies más conocidas de la familia Anacardiaceae, es una planta con beneficios versátiles nativa del norte de Brasil y de la región de Guayanas; sin embargo, ahora se cultiva extensamente en India, Vietnam, Mozambique, República de Madagascar, Tanzania, Filipinas y otros países tropicales; tanto así que, se ha convertido entre los cultivos agroindustriales más importantes en India, Brasil, Vietnam y países africanos (Buono et al., 2018; Koteich Khatib et al., 2020; Kyei et al., 2019; Preethi et al., 2021; Sharma et al., 2020).

Durante el procesamiento del anacardo, se produce un aceite viscoso de color marrón rojizo llamado líquido de la cáscara del anacardo (CNSL, por sus siglas en inglés) (Preethi et al., 2021), el cual constituye alrededor de un tercio (1/3) de la masa total del anacardo. Recientemente, este subproducto renovable se ha convertido en una de las principales fuentes económicas de fenoles naturales, ya que es considerado como una materia prima versátil y valiosa para la producción de polímeros (Balgude & Sabnis, 2014; Mwakalesi & Potter, 2021).

El CNSL puede ser extraído por diferentes mecanismos como proceso de aceite caliente, extracción con solventes o mecánica, procesos con fluidos supercríticos y destilación al vacío (Nambela et al., 2022; Rwahwire et al., 2018). Dependiendo del método de extracción utilizado, la composición del CNSL se ve afectada; por ejemplo, cuando se usa la extracción con solventes (sin calentamiento), el CNSL es llamado natural (CNSLn) y este consiste en una mezcla de compuestos fenólicos a base de ácido anacárdico (ácido 6-pentadecenil salicílico), cardanol (3-pentadecenil fenol), cardol (5-pentadecenil resorcinol), y 2-metilcardol (2-metil-5-pentadecenil resorcinol), ver Figura 2, siendo el ácido anacárdico el compuesto mayoritario con un 60-65 %, aproximadamente. En cambio, cuando se utiliza extracción por calentamiento, el CNSL es considerado técnico (CNSLt) y sus componentes principales son el cardanol, cardol y 2-metilcardol, siendo el primero de ellos, el compuesto mayoritario con un 60-65 %, aproximadamente, ya que el ácido anacárdico sufre una descarboxilación, lo que conduce a la formación del cardanol (Morais et al., 2017; Sharma et al., 2020; Vasconcelos et al., 2021).

Figura 2. Estructura química de los compuestos del CNSL



Fuente: elaboración propia 2023.

En la Figura 2, se muestran las estructuras de los compuestos del CNSL, los cuales presentan largas cadenas laterales alquílicas que difieren en el grado de insaturación. Por consiguiente, pueden ser saturado (C15:0), monoinsaturado (C15:1), diinsaturado (C15:2) y triinsaturado (C15:3). Además, la presencia de estas cadenas laterales proporciona un carácter hidrofóbico a dichos compuestos. Ahora, teniendo en cuenta la estructura de estos compuestos fenólicos, se pueden generar una gran variedad de reacciones químicas, siendo algunas de ellas hidrogenación, halogenación, nitración, sulfonación, esterificación, epoxidación y eterificación; lo cual permite dar lugar a varios productos industriales (Ike et al., 2021).

Por lo anterior, el CNSL ha logrado tener auge en temas relacionados con fabricación de materiales biopoliméricos, gracias a la riqueza en sustancias fenólicas naturales, las cuales poseen ciertas propiedades que hacen del aceite una especie atractiva para la ciencia (Araujo et al., 2021; Balgude & Sabnis, 2014; Kyei et al., 2020; Mwakalesi & Potter, 2021; Philip et al., 2008; Preethi et al., 2021; V., Remya; Deepak, Patil; V., Abitha; Ajay, Rane; Raghvendra, 2016).

1.2.2. OBTENCIÓN Y RECOLECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

En el corregimiento Pisa Bonito del municipio de Chinú (Córdoba, Colombia), se encuentra una agroindustria dedicada a la producción, transformación y comercialización de productos derivados del fruto del anacardo, llamada Asociación de Productores de Maraño de la Sabana, ASOPROMARSAB. Los residuos que se originan en este lugar, no cuentan con un tratamiento adecuado, de manera que son acumulados en cierta parte del suelo, como consecuencia, provocan afecciones en la salud humana y animal, así mismo, daños indeseables en el medio ambiente, ver Figura 3.

Figura 3. Residuos de la cáscara de nuez del anacardo



Fuente: elaboración propia 2023.

Con el fin de mitigar el impacto que generan estos “residuos”, se ha logrado crear una articulación con ASOPROMARSAB en términos de recolección y aprovechamiento de la cáscara de nuez del anacardo, con el propósito de obtener el aceite y así sintetizar nuevos materiales biopoliméricos con cierto valor agregado. El término “residuo” no solo se puede interpretar como un desecho no aprovechable, por el contrario, puede utilizarse como punto de partida para la formación de nuevos materiales que probablemente logren cierto impacto en la agroindustria y en otros campos de la ciencia, este hecho está fundamentado en la economía circular.

1.3. BIODEGRADABILIDAD

La biodegradación es el proceso de descomposición de largas cadenas de biopolímeros en pequeñas unidades químicas (monómeros, dímeros y otros), las cuales son fácilmente asimilados por los microorganismos, o bien, degradados por medio de actividad enzimática (Zoungranan et al., 2020).

¿Por qué los biopolímeros se biodegradan? Esta puede deberse a la presencia de microorganismos, los cuales pueden hidrolizar el biocompuesto hasta llevarlo a azúcares de baja masa molecular como monómeros, dímeros, oligómeros, con la finalidad de metabolizarlo y aprovecharlo como fuente energética. Otra explicación puede atribuirse a factores ambientales como la humedad del suelo, pH y temperatura de entierro que, sin lugar a duda, pueden favorecer o desfavorecer este proceso. También puede ser debido a la actividad enzimas microbiana (A. L. Da Silva et al., 2016; Salimi et al., 2020; Zoungranan et al., 2020). En síntesis, la disminución de la masa durante la biodegradación puede atribuirse a la descomposición microbiana de la cadena molecular, actividad enzimática, reacciones complejas, como oxidación e hidrólisis.

Anteriormente, se había mencionado que el almidón ha participado en innumerables investigaciones, principalmente, en temas relacionados con producción de hidrogeles y en procesos de recubrimiento. Sin embargo, el carácter hidrofílico del almidón lo hace vulnerable frente a factores como la temperatura y humedad, puesto que ocasionan una baja estabilidad y aumentan el proceso de degradación a las biopelículas. Por esta razón, existe la necesidad de incorporar un nuevo componente que permita disminuir este inconveniente. Un buen candidato es el CNSL, ya que posee una serie de compuestos fenólicos, los cuales han arrojado resultados muy satisfactorios, gracias a sus propiedades.

En virtud a lo anterior, el propósito de esta investigación es estudiar el proceso de biodegradabilidad de biopolímeros a base de almidón de yuca (*Manihot esculenta crantz*) con líquido de la cáscara de nuez del anacardo, teniendo en cuenta la composición y pH del biopolímero.

2. MÉTODO

El método implementado para llevar a cabo esta investigación, está dividido en tres partes a saber.

Primero se mencionará el procedimiento de extracción de los principales componentes que integran el biopolímero sintetizado, luego se hará mención al proceso sintético de los biopolímeros a base de almidón y CNSL. Por último, se describirá el proceso de biodegradabilidad de los biopolímeros en un suelo simulado.

2.1. EXTRACCIÓN DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES DEL BIOPOLÍMERO

Los principales componentes que integran los biopolímeros sintetizados son: almidón y CNSL. Estos pueden ser extraídos por diferentes procesos, tal como se había mencionado. A continuación, se detallan los métodos utilizados para lograr la extracción de estos componentes.

2.1.1. ALMIDÓN

El almidón es un biopolímero que puede obtenerse de diversas fuentes vegetales como la yuca, ñame, papa, arroz, maíz, aguacate, trigo, entre otras. En esta investigación, se empleó un proceso convencional para la extracción del almidón de la yuca (*Manihot esculenta crantz*), el cual consiste en lo siguiente:

En primer lugar, se lavó la yuca con abundante agua para eliminar impurezas, seguidamente fueron peladas (100 g de tubérculos de yuca), fragmentadas y licuadas con 200 ml de H₂O destilada. Luego, utilizando una tela de muselina, se filtró y se obtuvo un residuo y un filtrado. Este último, se lavó con 100 ml de H₂O destilada, por triplicado y, posteriormente, se decantó por 24 h. Transcurrido este tiempo, se descartó el sobrenadante y el precipitado obtenido fue recolectado y secado a 50 °C, por 24 h. Por último, se maceraron los cristales y con la ayuda de un tamiz de malla 60 µm, se tamizó hasta obtener un polvo fino de color blanco, almidón. Cabe mencionar que dicho almidón fue caracterizado por espectroscopía infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR). La Figura 4, muestra el diagrama de flujo del proceso de extracción del almidón de yuca (A. Arrieta et al., 2022).

Figura 4. Diagrama de flujo para la extracción del almidón a partir de la yuca



Fuente: elaboración propia 2023.

2.1.2. LÍQUIDO DE LA CÁSCARA DE NUEZ DEL ANACARDO. CNSL

El CNSL puede ser extraído por diversos mecanismos, dentro de ellos tenemos la extracción mecánica o con solventes, proceso de aceite caliente, destilación al vacío y procesos de fluidos supercríticos (Edoga et al., 2006; Koteich-Khatib et al., 2019; Nambela et al., 2022; Rwahwire et al., 2018; Sharma et al., 2020). En este estudio, se utilizó el método mecánico, el cual consistió en lavar el material (1.50 kg de cáscara de nuez) con abundante H₂O, seguidamente fue secado a 30 °C por 2 h, para la eliminación de impurezas. Luego, las cáscaras secas fueron fragmentadas con la ayuda de una licuadora industrial marca JTC. El producto obtenido, se introdujo en un molino-prensa, el cual se encarga de realizar fuerza de compresión para obtener el aceite.

La Figura 5 muestra el diagrama de flujo del proceso de extracción del CNSL. Es importante hacer mención que, desafortunadamente, el aspecto de la cáscara influye al momento de extraer el aceite, puesto que un mejor proceso de extracción se logra cuando dichas cáscaras están muy frescas.

Figura 5. Diagrama de flujo para la extracción del CNSL



Fuente: elaboración propia 2023.

2.2. SÍNTESIS DE BIOPOLÍMEROS

La síntesis de las biopelículas se realizó por medio de un proceso termoquímico, el cual consistió en disolver 0.75 g de almidón en 25 ml de H₂O destilada a diferentes pH (3.0, 5.0, 7.0, 9.0, 10.0 y 12.0), manteniendo agitación constante (1500 r.p.m), hasta observar una mezcla homogénea. Luego, la mezcla anterior fue sometida a 70 °C por 15 min (proceso de gelatinización del almidón), pasado este tiempo, se dejó reposar a temperatura ambiente, para adicionar, en su respectivo orden, el resto de componentes: glicerol (Gly, 0.500 g), glutaraldehído (Glu, 0.500 g) y polietilenglicol (PEG, 0.250 g). Así mismo, se adicionó la cantidad de CNSL (0.000, 0.125, 0.250 y 0.500 g), a continuación, se aumentó la temperatura a 70 °C, manteniendo agitación constante (1500 r.p.m.), por 15 min. Las mezclas se depositaron en charolas de politetrafluoroetileno y fueron secadas a 70 °C por 48 h. Posteriormente, las biopelículas se retiraron del recipiente con las debidas precauciones, se dejó reposar a temperatura ambiente y se almacenaron en bolsas ziploc para estudios pertinentes (Arrieta et al., 2021). En la Tabla 1 se muestra el diseño experimental para la síntesis de los biopolímeros.

Tabla 1. Diseño experimental para la síntesis de los biopolímeros: almidón + CNSL

ALMIDÓN (0.75 G)					
25 ML DE AGUA					
ENSAYO	CNSL (G)	PH	GLY (G)	GLU (G)	PEG (G)
1	0.000	3.0	0.500	0.500	0.250
2	0.125	3.0	0.500	0.500	0.250
3	0.250	3.0	0.500	0.500	0.250
4	0.500	3.0	0.500	0.500	0.250
5	0.000	5.0	0.500	0.500	0.250
6	0.125	5.0	0.500	0.500	0.250
7	0.250	5.0	0.500	0.500	0.250
8	0.500	5.0	0.500	0.500	0.250
9	0.000	7.0	0.500	0.500	0.250
10	0.125	7.0	0.500	0.500	0.250
11	0.250	7.0	0.500	0.500	0.250
12	0.500	7.0	0.500	0.500	0.250
13	0.000	9.0	0.500	0.500	0.250
14	0.125	9.0	0.500	0.500	0.250
15	0.250	9.0	0.500	0.500	0.250
16	0.500	9.0	0.500	0.500	0.250
17	0.000	10.0	0.500	0.500	0.250
18	0.125	10.0	0.500	0.500	0.250
19	0.250	10.0	0.500	0.500	0.250
20	0.500	10.0	0.500	0.500	0.250
21	0.000	12.0	0.500	0.500	0.250
22	0.125	12.0	0.500	0.500	0.250
23	0.250	12.0	0.500	0.500	0.250
24	0.500	12.0	0.500	0.500	0.250

Fuente: elaboración propia 2023.

2.3. CARACTERIZACIÓN ESPECTROSCÓPICA

El almidón extraído de la yuca, el aceite extraído de la cáscara de la nuez del anacardo y los biopolímeros sintetizados fueron caracterizados por espectroscopía infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR), utilizando un Spectrum Two FT-IR Spectrometer con accesorios de reflectancia total atenuada (ATR) de la marca PerkinElmer. Los espectros se registraron en el intervalo de 450 y 4000 cm^{-1} con una resolución de 4 cm^{-1} por 100 exploraciones. Los espectros IR de las diversas muestras se registraron, normalizaron y corrigieron con el aire de fondo.

2.4. PROCESO DE BIODEGRADABILIDAD

El proceso de biodegradabilidad de los biopolímeros se estudió sometiendo las diferentes muestras a un suelo simulado. Para ello, se implementó el siguiente procedimiento: primeramente, se preparó un suelo simulado compuesto por un 23 % de materia orgánica (estiércol de vaca), 23 % limo-limoso, 23 % de arena y 31 % de agua (todos en masa/masa). Luego, cada una de las muestras fueron recubiertas con dicho suelo y empacadas en bolsas ziploc que estaban previamente agujeradas. Posterior a ello, se enterraron en el suelo a una profundidad de 10 cm a $25 \pm 3^\circ\text{C}$, aproximadamente. La biodegradación fue controlada cada 3 días, de manera que las muestras se liberaron del suelo, se lavaron con abundante agua destilada y se secaron a 30°C por 24 horas. Pasado este tiempo, se determinó la masa de las muestras, con el fin de calcular la variación de masa y con ello,

el porcentaje de degradación, utilizando la ecuación 1 (A. L. Da Silva et al., 2016; Salimi et al., 2020), así mismo, las biopelículas fueron caracterizadas por espectroscopía FTIR, y nuevamente se incorporan al suelo. Este procedimiento se llevó a cabo hasta obtener una degradación completa de dichas biopelículas. En la Figura 6, se muestra la representación esquemática del proceso de biodegradabilidad en suelo simulado.

Ecuación 1. Donde w_i y w_f son las masas de las biopelículas antes y después de la degradación, respectivamente

$$\text{Degradación (\%)} = \frac{w_i - w_f}{w_i} \times 100 \%$$

Figura 6. Representación esquemática del proceso de biodegradabilidad en suelo simulado



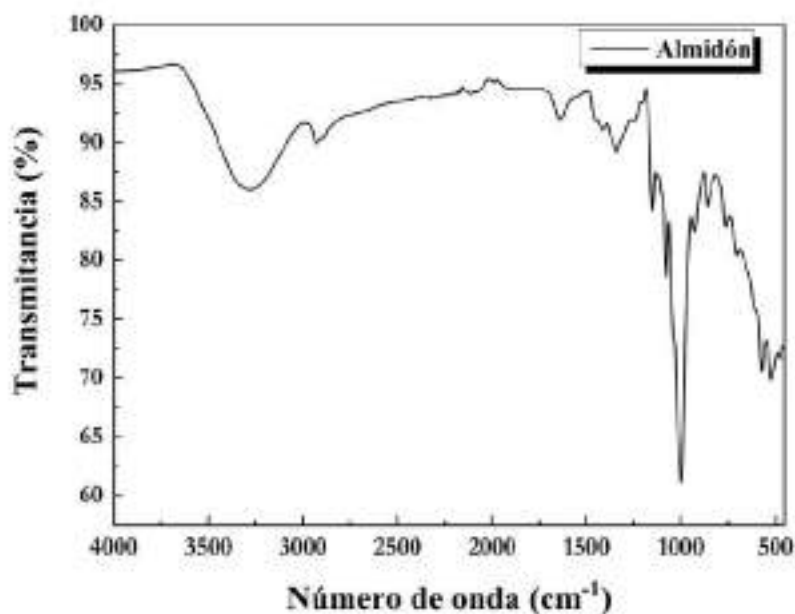
Fuente: elaboración propia 2023.

3. RESULTADOS

3.1. EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES

3.1.1. ALMIDÓN

El almidón fue sintetizado a partir de la yuca (*Manihot esculenta crantz*), utilizando el método de extracción convencional descrito en la sección 2.1.1., con el fin de fabricar nuevos biopolímeros con valor agregado. A partir de este procedimiento se obtuvo un rendimiento del 19.11 %, aproximadamente. Luego de la extracción, el almidón fue caracterizado por espectroscopía de infrarrojo con Transformada de Fourier, tal como se evidencia en la Figura 7.

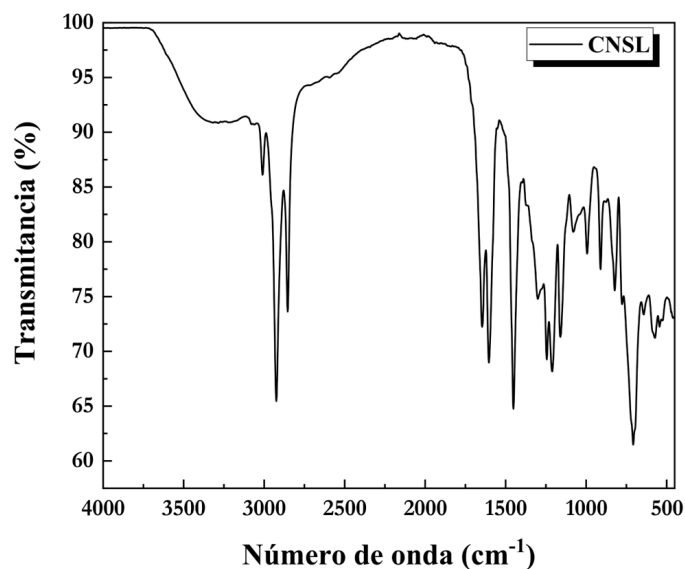
Figura 7. Espectro FTIR del almidón extraído de la yuca

Fuente: elaboración propia 2023.

3.1.2. LÍQUIDO DE LA CÁSCARA DE NUEZ DEL ANACARDO

El aceite fue sintetizado a partir de la cáscara de nuez del anacardo, utilizando el método de extracción mecánico descrito en la sección 2.1.2., con el fin de fabricar nuevos biopolímeros con el almidón previamente extraído. A partir de este procedimiento se obtuvo un rendimiento del 68.49 %, aproximadamente, puesto que a partir de 7.3 kg de cáscara triturada se obtuvo 5.0 L de aceite.

Luego de la extracción, el CNSL fue caracterizado por espectroscopía de infrarrojo con Transformada de Fourier, tal como se evidencia en la Figura 8.

Figura 8. Espectro FTIR del CNSL extraído de la cáscara de la nuez del anacardo.

Fuente: elaboración propia 2023.

3.2. SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE BIOPOLÍMEROS

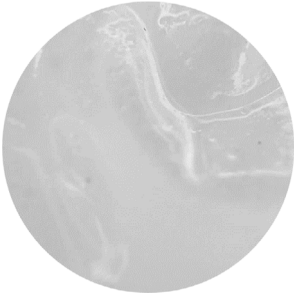
Los biopolímeros a base de almidón de yuca (*Manihot Esculenta Crantz*) con líquido de la cáscara de nuez del anacardo fueron sintetizados por medio del procedimiento descrito en la sección 2.2.

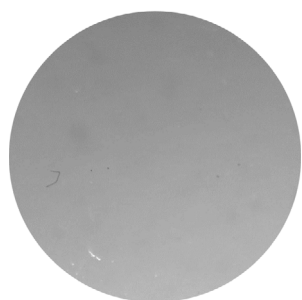
En la Tabla 2, se muestran los biopolímeros elaborados con almidón y CNSL a diferentes pH y concentración del aceite. En esta se observa que con el aumento de la concentración del CNSL en el biopolímero, este adquiere una tonalidad más oscura y aceitosa. Además, mejora la consistencia de la biopelícula. Ahora, con el aumento del pH, no se logra observar diferencias en cuanto a la apariencia del biopolímero, no obstante, este hecho sí influye en el proceso de biodegradabilidad que se discutirá en la sección 4.1.3.

En la Figura 9, se muestra un esquema de las posibles interacciones químicas entre las moléculas del almidón con los derivados del CNSL, recordar que este aceite es una mezcla de cuatro compuestos fenólicos.

A partir de esta figura se observa la formación de enlaces de hidrógeno, puesto que el átomo de hidrógeno está enlazado a un átomo fuertemente electronegativo como el oxígeno. Este hecho provee la fuerza intermolecular que mantiene unidas ambas moléculas, dando así, una estabilidad estructural al biopolímero formado (A. A. Arrieta et al., 2022).

Tabla 2. Biopolímeros de almidón con CNSL, a varias concentraciones del aceite y a diferentes pH

 Almidón + CNSL (0.000 g), pH 3.0	 Almidón + CNSL (0.125 g), pH 3.0	 Almidón + CNSL (0.250 g), pH 3.0
 Almidón + CNSL (0.500 g), pH 3.0	 Almidón + CNSL (0.000 g), pH 5.0	 Almidón + CNSL (0.125 g), pH 5.0
 Almidón + CNSL (0.250 g), pH 5.0	 Almidón + CNSL (0.500 g), pH 5.0	 Almidón + CNSL (0.000 g), pH 7.0
 Almidón + CNSL (0.125 g), pH 7.0	 Almidón + CNSL (0.250 g), pH 7.0	 Almidón + CNSL (0.500 g), pH 7.0



Almidón + CNSL
(0.000 g),
pH 9.0



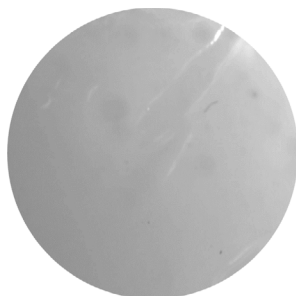
Almidón + CNSL
(0.125 g),
pH 9.0



Almidón + CNSL
(0.250 g),
pH 9.0



Almidón + CNSL
(0.500 g),
pH 9.0



Almidón + CNSL
(0.000 g),
pH 10.0



Almidón + CNSL
(0.125 g),
pH 10.0



Almidón + CNSL
(0.250 g),
pH 10.0



Almidón + CNSL
(0.500 g),
pH 10.0



Almidón + CNSL
(0.000 g),
pH 12.0



Almidón + CNSL
(0.125 g),
pH 12.0

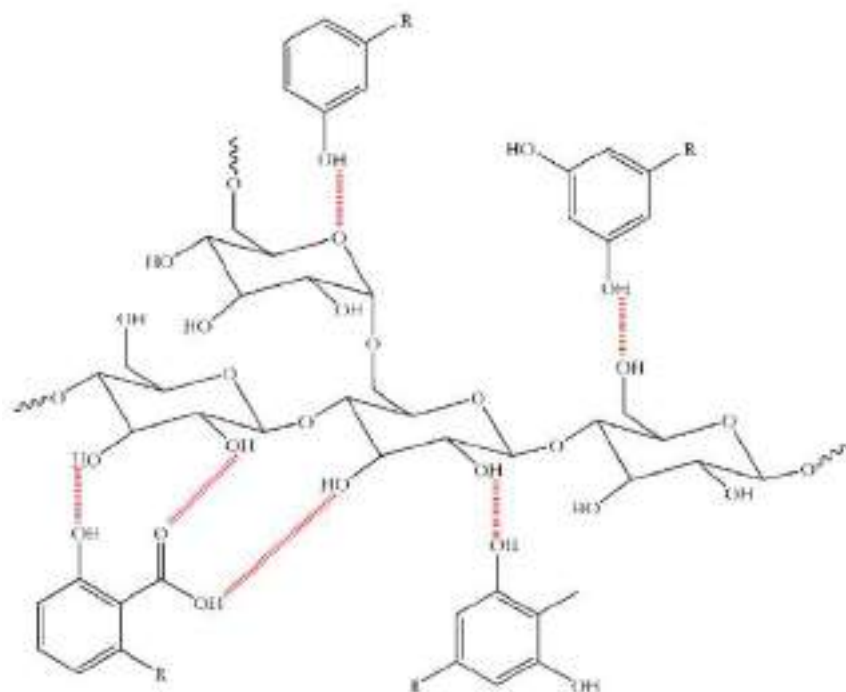


Almidón + CNSL
(0.250 g),
pH 12.0



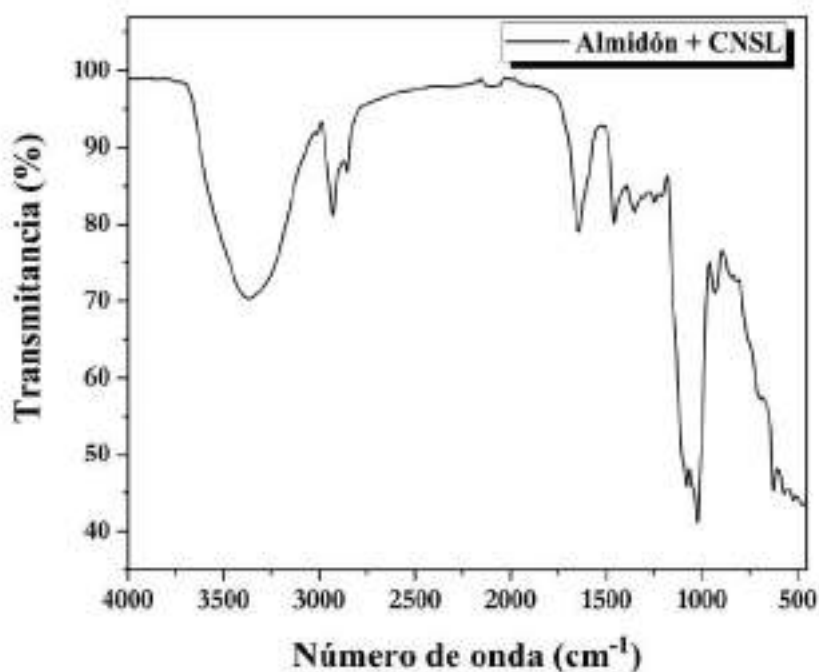
Almidón + CNSL
(0.500 g),
pH 12.0

Fuente: elaboración propia 2023.

Figura 9. Representación esquemática de los enlaces de hidrógeno formados entre el almidón y derivados del CNSL

Fuente: elaboración propia 2023.

Por otro lado, los biopolímeros sintetizados con almidón y CNSL pueden ser caracterizado por diferentes técnicas espectroscópicas como la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), resonancia magnética nuclear protónica y de carbono 13 (RMN ^1H y RMN ^{13}C), espectroscopía ultravioleta-visible (UV-Vis), entre otras. En este trabajo, los biopolímeros fueron caracterizados por espectroscopía FTIR, la cual permite determinar las posibles interacciones y vibraciones moleculares entre el almidón y CNSL. Por tanto, en la Figura 10, se muestra el espectro FTIR del biopolímero almidón + CNSL (0.500 g) a pH 7.0.

Figura 10. Espectro FTIR del biopolímero almidón + CNSL (0.500 g) a pH 7.0

Fuente: elaboración propia 2023.

3.3. PROCESO DE BIODEGRADABILIDAD

Se desarrolló el proceso de biodegradabilidad a los biopolímeros sintetizados a base de almidón y CNSL, tal como se describió en la sección 2.4. En las Tabla 3 y 4 se muestran los resultados obtenidos en el proceso de biodegradabilidad y el porcentaje de degradación, calculado por medio de la ecuación 1, de los biopolímeros formados por almidón y CNSL, a partir de ellas se observa la disminución de la masa de dichos biopolímeros durante el proceso. Por ejemplo, al sexto día, los materiales biopoliméricos formados por almidón + CNSL (0.000 g) a pH 5, almidón + CNSL (0.125 g) a pH 3 y 5, almidón + CNSL (0.250 g) a pH 5, y almidón + CNSL (0.500 g) a pH 7, mostraron un proceso de biodegradación muy acelerado, a tal punto de degradarse por completo. En cambio, los biopolímeros a base de almidón + CNSL (0.000 g) a pH 7 y 9, almidón + CNSL (0.125 g) a pH 10, almidón + CNSL (0.250 g) a pH 3 y 7, y almidón + CNSL (0.500 g) a pH 3, revelaron un proceso de biodegradación moderado, puesto que se degradaron por completo al noveno día. El resto de biopolímeros se degradaron aún más lento respecto a los mencionados, esto es, al doceavo día, con excepción del biopolímero compuesto de almidón + CNSL (0.500 g) a pH 12, ya que este último se degradó al quinceavo día. Es importante anotar que a medida que aumenta la cantidad de CNSL en el biopolímero, el tiempo de degradación es más prolongado, o bien, existe una mejora significativa de la biodegradabilidad del biocompuesto respecto a aquellos en donde el CNSL está ausente. De esta manera, las propiedades fenólicas del CNSL son aceptables al momento de elaborar dichos polímeros, tal como se había pronosticado.

Tabla 3. Proceso de biodegradabilidad del biopolímero a base de almidón con CNSL

BIOPOLÍMERO DE ALMIDÓN + CNSL							
CNSL EN EL BIOPOLÍMERO (G)	PROCESO DE BIODEGRADABILIDAD (DÍAS)						
	PH	0	3	6	9	12	15
		MASA DEL BIOPOLÍMERO (G)					
0.000	3	0.9800	0.2650	0.0900	0.0180	B	
	5	0.9500	0.4700	B			
	7	0.8600	0.3100	0.0212	B		
	9	0.8100	0.3700	0.0320	B		
	10	0.9900	0.5000	0.0960	0.0040	B	
	12	0.8800	0.7000	0.0840	0.0180	B	
0.125	3	0.8800	0.6500	B			
	5	0.8800	0.5700	B			
	7	1.1800	0.3600	0.0630	0.0064	B	
	9	1.2500	0.6100	0.2650	0.1292	B	
	10	0.8800	0.2100	0.0630	B		
	12	1.2100	0.4500	0.1470	0.0670	B	
0.250	3	1.0200	0.4400	0.0530	B		
	5	0.8400	0.4700	B			
	7	0.8600	0.5700	0.0300	B		
	9	1.0800	0.5500	0.2250	0.0522	B	
	10	1.0000	0.3000	0.0700	0.0160	B	
	12	1.4500	0.6500	0.2630	0.1070	B	
0.500	3	0.9900	0.4400	0.0470	B		
	5	0.9900	0.6600	0.0350	0.0020	B	
	7	0.9100	0.4800	B			
	9	1.0300	0.4200	0.0920	0.0091	B	
	10	1.4200	0.6900	0.1800	0.0254	B	
	12	1.6500	0.8200	0.3960	0.3440	0.1770	B

Fuente: elaboración propia 2023.

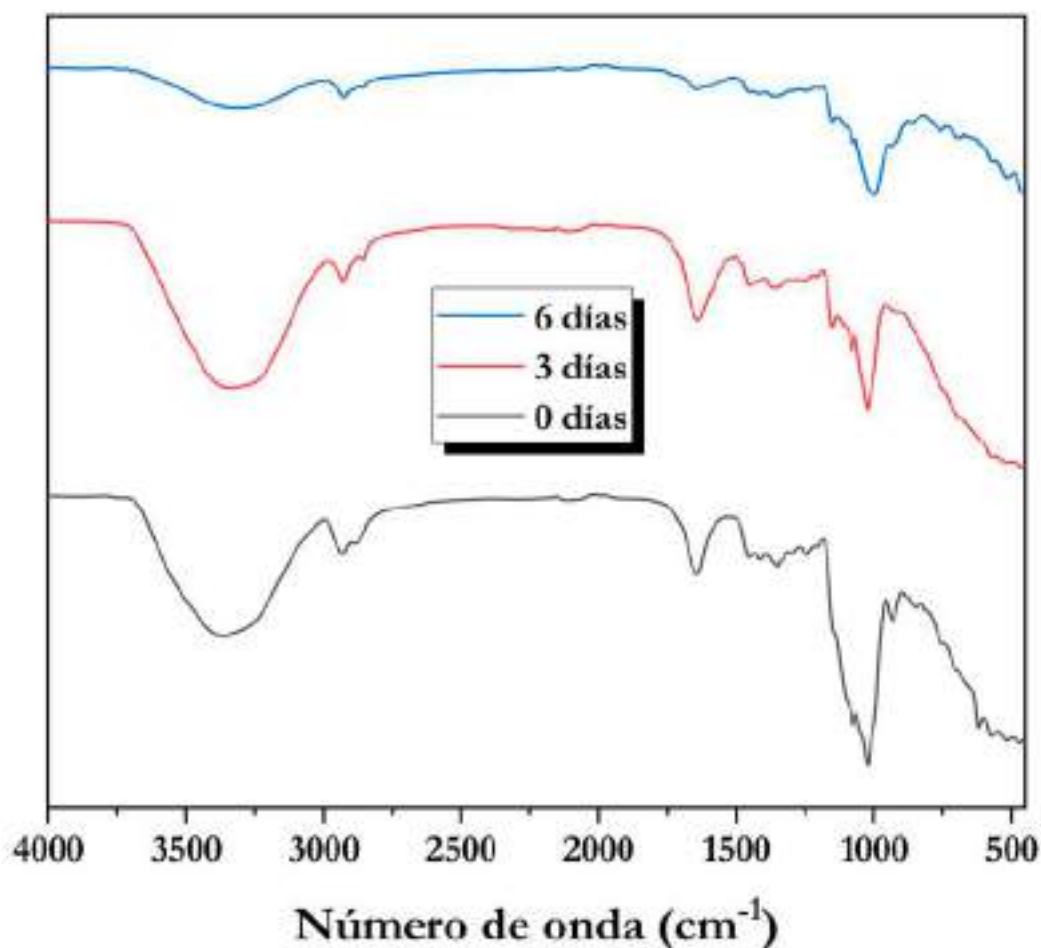
Tabla 4. Porcentaje de degradación del biopolímero a base de almidón con CNSL

BIOPOLÍMERO DE ALMIDÓN + CNSL							
CNSL EN EL BIOPOLÍMERO (G)	PROCESO DE BIODEGRADABILIDAD (DÍAS)						
	PH	0	3	6	9	12	15
		PORCENTAJE DE DEGRADACIÓN (%)					
0.000	3	0.0	73.0	90.8	98.2	100.0	
	5	0.0	50.5	100.0			
	7	0.0	64.0	97.5	100.0		
	9	0.0	54.3	96.0	100.0		
	10	0.0	49.5	90.3	99.6	100.0	
	12	0.0	20.5	90.5	98.0	100.0	
0.125	3	0.0	26.1	100.0			
	5	0.0	35.2	100.0			
	7	0.0	69.5	94.7	99.5	100.0	
	9	0.0	51.2	78.8	89.7	100.0	
	10	0.0	76.1	92.8	100.0		
	12	0.0	62.8	87.9	94.5	100.0	
0.250	3	0.0	56.9	94.8	100.0		
	5	0.0	44.0	100.0			
	7	0.0	33.7	96.5	100.0		
	9	0.0	49.1	79.2	95.2	100.0	
	10	0.0	70.0	93.0	98.4	100.0	
	12	0.0	55.2	81.9	92.6	100.0	
0.500	3	0.0	55.6	95.3	100.0		
	5	0.0	33.3	96.5	99.8	100.0	
	7	0.0	47.3	100.0			
	9	0.0	59.2	91.1	99.1	100.0	
	10	0.0	51.4	87.3	98.2	100.0	
	12	0.0	50.3	76.0	79.2	89.3	100.0

Fuente: elaboración propia 2023.

En adición, en la Figura 11 se evidencia el proceso biodegradable para el biopolímero almidón + CNSL (0.250 g) a pH 7.0, a partir de esta se observa una disminución en las bandas producto de la pérdida de masa del biocompuesto.

Figura 11. Espectro FTIR del proceso de biodegradabilidad para el biopolímero almidón + CNSL (0.250 g) a pH 7.0.



Fuente: elaboración propia 2023.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. DISCUSIÓN

4.1.1. EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES

4.1.1.1. ALMIDÓN

En la Figura 7, se muestra el espectro FTIR del almidón extraído de la yuca. Para lograr una mejor interpretación y caracterización de los principales picos, resulta conveniente dividir la región del espectro en cuatro regiones fundamentales, esto es, por debajo de 800 cm^{-1} , 800-1500 cm^{-1} (huella dactilar), 2800-3000 cm^{-1} (tensión C–H), y 3000-3600 cm^{-1} (estiramiento O–H). Por tanto, los picos inferiores a 800 cm^{-1} se deben a las vibraciones del modo esquelético de la glucopiranososa. La banda de absorción a 1149 cm^{-1} se debe a los estiramientos C–O y C–C, y los modos de flexión C–O–H se evidencia por el pico a 1086 cm^{-1} . Así mismo, las bandas vibratorias (flexión y deformación) en la región 1265-1454 cm^{-1} , están relacionadas con los átomos de carbono e hidrógeno (C–H), y el pico a 1338 cm^{-1} se atribuye a los modos de flexión de CH_2 . Por último, la caracterización de las tensiones C–H y O–H se evidencian en la región de 2861-2956 cm^{-1} y 3209-3388 cm^{-1} , respectivamente (Kizil et al., 2002).

4.1.1.2. LÍQUIDO DE LA CÁSCARA DE NUEZ DEL ANACARDO

En la Figura 8, se muestra el espectro FTIR del CNSL extraído de la cáscara de la nuez del anacardo. El espectro evidencia las bandas características del aceite, esto es, el modo vibracional del enlace O–H fenólico se observa a 3354 cm^{-1} y 1253 cm^{-1} ; el estiramiento C–H (alifático) se extiende en 2852 y 2932 cm^{-1} ; el pico en 3015 cm^{-1} corresponde al enlace C–H (aromático); la tensión a 1609 y 1450 cm^{-1} se debe al enlace C=C presente en el anillo bencénico y en las cadenas laterales; los picos en 995 y 912 cm^{-1} corresponden a las deformaciones angulares olefínicas $\text{RHC}=\text{CH}_2$; las tensiones en 776, 716 y 695 cm^{-1} hacen referencia a las deformaciones angulares aromáticas C–H fuera del plano de los anillos meta-disustituídos; y las deformaciones angulares aromáticas fuera del plano C–H de los anillos para-disustituídos en 823 y 865 cm^{-1} (Furtado et al., 2019).

4.1.2. SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE BIOPOLÍMEROS

En la Figura 10, se muestra el espectro FTIR del proceso de biodegradabilidad para el biopolímero almidón + CNSL (0.500 g) a pH 12.0. A partir de esta figura se observan los picos característicos del almidón y CNSL en el biopolímero, esto es, las vibraciones de los enlaces C–H (alifáticos) y O–H, se evidencian en la región de 2852 cm⁻¹ y 3200-3400 cm⁻¹, respectivamente. Así mismo, la señal a 3010 cm⁻¹ se debe al modo vibracional del enlace C–H presentes en el anillo aromático, los picos a 2925 cm⁻¹ y 927 cm⁻¹ representa la vibración del grupo –COOH presente en el ácido anacárdico. La tensión a 1642 cm⁻¹ se debe al enlace C=C presente en el anillo bencénico y los modos de flexión C–O–H se evidencian por los picos en 1027 y 1080 cm⁻¹ (Preethi et al., 2021).

4.1.3. PROCESO DE BIODEGRADABILIDAD

Teniendo en cuenta los resultados mostrados en las Tablas 3 y 4, la principal causa de la biodegradación de los biopolímeros a base de almidón con CNSL puede atribuirse a la actividad microbiana presente en la materia orgánica del suelo. Estos microorganismos hidrolizan el biopolímero hasta convertirlo en azúcares elementales de baja masa molecular (monómeros, dímeros u oligómeros) y metabolizarlo como fuente energética. Este hecho es más notorio a pH ácido, puesto que el pH es un factor favorable para la producción y desarrollo de los microorganismos, por tanto, aquellos biopolímeros a pH ácido presentaron una biodegradabilidad acelerada. En cambio, a pH alcalino el proceso es desfavorable, por tal motivo, la degradación es más prolongada. Otra explicación puede atribuirse a factores ambientales que, sin lugar a duda, pueden favorecer o desfavorecer dicho proceso, por ejemplo, la humedad del suelo, ya que un bajo porcentaje de humedad permite la preservación del biopolímero, en cambio, un alto contenido promueve el crecimiento microbiano y, por ende, acelera el proceso de degradación. Así mismo, la temperatura del suelo es otro factor importante durante la biodegradación, puesto que a bajas temperaturas dicho proceso es favorable, mientras que a altas temperaturas (superiores a 30 °C) provoca una baja biodegradabilidad. Este último resultado puede explicarse gracias al papel destructivo de la temperatura sobre los microorganismos. Por otro lado, el proceso de biodegradación puede ser debido a enzimas microbianas, puesto que el carácter hidrofílico del CNSL podría ocasionar un ataque fácil de las enzimas hacia los grupos oxigenados de las cadenas poliméricas, generando así, moléculas con baja masa molecular como, por ejemplo, monómeros y oligómeros (A. L. Da Silva et al., 2016; Majaron et al., 2020; Salimi et al., 2020; Zoungranan et al., 2020).

En síntesis, la pérdida de masa durante la biodegradación puede atribuirse a la descomposición microbiana de la cadena molecular, actividad enzimática, reacciones complejas, como oxidación e hidrólisis.

Por otro lado, la espectroscopía FTIR permite evidenciar el hecho descrito anteriormente. Por ejemplo, en la Figura 11 se muestra el espectro FTIR del proceso de biodegradabilidad para el biopolímero almidón + CNSL (0.250 g) a pH 7.0. A partir de esta figura, se observan los picos característicos del almidón y CNSL en el biopolímero, esto es, las vibraciones de los enlaces C–H (alifáticos) y O–H, se evidencian en la región de 2850-2940 cm⁻¹ y 3228-3400 cm⁻¹, respectivamente. Así mismo, la señal a 3008 cm⁻¹ se debe al modo vibracional del enlace C–H presentes en el anillo aromático, los picos a 2922 cm⁻¹ y 928 cm⁻¹ representa la vibración del grupo –COOH presente en el ácido anacárdico. La tensión a 1646 cm⁻¹ se debe al enlace C=C presente en el anillo bencénico y los modos de flexión C–O–H se evidencia por el pico a 1081 cm⁻¹ (Preethi et al., 2021).

Además, el proceso de degradación también puede evidenciarse por la disminución en la intensidad de los picos mostrados en la Figura 11, producto de la acción microbiana mediante enzimas que rompen los enlaces presentes en el biopolímero inicialmente, provocando así, una rápida disminución en la masa molecular del mismo.

En síntesis, se puede decir que el material biopolimérico que presentó el mejor proceso de biodegradabilidad fue aquel formado a partir de almidón con la mayor concentración de CNSL a pH 12.0, ya que dicho polímero logró biodegradarse por completo a los 15 días de haber iniciado el proceso.

4.2. CONCLUSIONES

En este estudio se logró sintetizar biopolímeros a base de almidón de yuca con CNSL extraído de la cáscara de nuez del anacardo, a diferentes pH y cantidades de este último. Se observó que la incorporación del CNSL en el biopolímero mejoró la biodegradabilidad del almidón, puesto que este último, al no estar combinado con otro material sufre un proceso de descomposición acelerado. Así mismo, el material biopolimérico que presentó el mejor proceso de biodegradabilidad fue aquel formado a partir de almidón con la mayor concentración de CNSL (0.500 g) a pH 12.0, ya que dicho polímero logró biodegradarse por completo a los 15 días de haber iniciado el proceso.

Como futuros trabajos, se espera aprovechar el biopolímero con mayor concentración de CNSL a pH 12 para encapsular fertilizantes (NPK), con el propósito de liberarlos lentamente a los cultivos para que las plantas puedan aprovecharlos al máximo.

Este capítulo es producto del proyecto de investigación “Fortalecimiento de las capacidades en CTel para la generación de biomateriales y su aplicación en sistemas de liberación lenta mediante el encapsulado de fertilizantes a partir de los productos y subproductos de la agroindustria de Córdoba y Sucre” BPIN 2020000100027, del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias).



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



- Araujo, J. T. C. de, Martín-Pastor, M., Pérez, L., Pinazo, A., & Sousa, F. F. O. de. (2021). Development of anacardic acid-loaded zein nanoparticles: Physical chemical characterization, stability and antimicrobial improvement. *Journal of Molecular Liquids*, 332. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.115808>
- Araújo, R. G., Rodríguez-Jasso, R. M., Ruiz, H. A., Govea-Salas, M., Rosas-Flores, W., Aguilar-González, M. A., Pintado, M. E., Lopez-Badillo, C., Luevanos, C., & Aguilar, C. N. (2020). Hydrothermal-microwave processing for starch extraction from Mexican avocado seeds: Operational conditions and characterization. *Processes*, 8(7). <https://doi.org/10.3390/pr8070759>
- ARRIETA, A. (2021). Thermal and Electrochemical Properties of Solid Biopolymer Electrolytes From Starch of Different Botanical Origin. *Periódico Tchê Química*, 18(38), 137–148. https://doi.org/10.52571/ptq.v18.n38.2021.10_arrieta_pgs_137_148.pdf
- Arrieta, A. A., Ducuara, J. A., & Combatt, E. M. (2022). Bio-Based Electroactive Composite Biopolymer Films From Cassava Starch / Anacardic Acid. *Rasayan Journal of Chemistry*, 2022(Special Issue), 103–109. <https://doi.org/10.31788/RJC.2022.1558189>
- Arrieta, A., Barrera, I., & Mendoza, J. (2022). Impedantometric Behavior of Solid Biopolymer Electrolyte Elaborated from Cassava Starch Synthesized in Different pH. *International Journal of Technology*, 13(4), 912–920. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v13i4.5612>
- Azmir, J., Zaidul, I. S. M., Rahman, M. M., Sharif, K. M., Mohamed, A., Sahena, F., Jahurul, M. H. A., Ghafoor, K., Norulaini, N. A. N., & Omar, A. K. M. (2013). Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *Journal of Food Engineering*, 117(4), 426–436. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014>
- Balgude, D., & Sabnis, A. S. (2014). CNSL: An environment friendly alternative for the modern coating industry. *Journal of Coatings Technology and Research*, 11(2), 169–183. <https://doi.org/10.1007/s11998-013-9521-3>
- Buono, P., Duval, A., Avérous, L., & Habibi, Y. (2018). Clicking Biobased Polyphenols: A Sustainable Platform for Aromatic Polymeric Materials. *ChemSusChem*, 11(15), 2472–2491. <https://doi.org/10.1002/cssc.201800595>
- Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A. G., Meullemiestre, A., Fabiano-Tixier, A. S., & Abert-Vian, M. (2017). Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 540–560. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.035>
- Chemat, F., Zill-E-Huma, & Khan, M. K. (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(4), 813–835. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2010.11.023>
- Chen, J., Lü, S., Zhang, Z., Zhao, X., Li, X., Ning, P., & Liu, M. (2018). Environmentally friendly fertilizers: A review of materials used and their effects on the environment. *Science of the Total Environment*, 613–614, 829–839. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.186>
- Chen, J., Wang, Y., Liu, J., & Xu, X. (2020). Preparation, characterization, physicochemical property and potential application of porous starch: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 148, 1169–1181. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.055>
- Chiaregato, C. G., & Faez, R. (2021). Micronutrients encapsulation by starch as an enhanced efficiency fertilizer. *Carbohydrate Polymers*, 271, 118419. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2021.118419>
- Correia, P. R., & Beirão-Da-Costa, M. L. (2012). Starch isolation from chestnut and acorn flours through alkaline and enzymatic methods. *Food and Bioproducts Processing*, 90(2), 309–316. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.06.005>
- Da Silva, A. L., Da Silva, L. R. R., De Andrade Camargo, I., Da Silva Agostini, D. L., Dos Santos Rosa, D., De Oliveira, D. L. V., Fachine, P. B. A., & Mazzetto, S. E. (2016). Cardanol-based thermoset plastic reinforced by sponge gourd fibers (*Luffa cylindrica*). *Polimeros*, 26(1), 21–29. <https://doi.org/10.1590/0104-1428.2276>
- da Silva, L. R., Piler de Carvalho, C. W., Velasco, J. I., & Fakhouri, F. M. (2020). Extraction and characterization of starches from pigmented rice. *International Journal of Biological Macromolecules*, 156, 485–493. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.034>



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



- Dong, G., Mu, Z., Liu, D., Shang, L., Zhang, W., Gao, Y., Zhao, M., Zhang, X., Chen, S., & Wei, M. (2021). Starch phosphate carbamate hydrogel based slow-release urea formulation with good water retentivity. *International Journal of Biological Macromolecules*, 190(May), 189–197. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.08.234>
- Edoga, M. O., Fadipe, L., & Edoga, R. N. (2006). Extraction of Polyphenols from Cashew Nut Shell. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, 9(9), 107–112.
- Falade, K. O., & Okafor, C. A. (2015). Physical, functional, and pasting properties of flours from corms of two Cocoyam (*Colocasia esculenta* and *Xanthosoma sagittifolium*) cultivars. *Journal of Food Science and Technology*, 52(6), 3440–3448. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1368-9>
- Furtado, L. B., Nascimento, R. C., Seidl, P. R., Guimarães, M. J. O. C., Costa, L. M., Rocha, J. C., & Ponciano, J. A. C. P. (2019). Eco-friendly corrosion inhibitors based on Cashew nut shell liquid (CNSL) for acidizing fluids. *Journal of Molecular Liquids*, 284, 393–404. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.02.083>
- Galanakis, C. M. (2012). Recovery of high added-value components from food wastes: Conventional, emerging technologies and commercialized applications. *Trends in Food Science and Technology*, 26(2), 68–87. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.03.003>
- Gautam, N., Garg, S., & Yadav, S. (2021). Underutilized finger millet crop for starch extraction, characterization, and utilization in the development of flexible thin film. *Journal of Food Science and Technology*, 58(11), 4411–4419. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04926-0>
- Ghobashy, M. M. (2019). The application of natural polymer-based hydrogels for agriculture. In *Hydrogels Based on Natural Polymers*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816421-1.00013-6>
- Ibrahim, K. A., Naz, M. Y., Shukrullah, S., Sulaiman, S. A., Ghaffar, A., & AbdEl-Salam, N. M. (2019). Controlling nitrogen pollution via encapsulation of urea fertilizer in cross-linked corn starch. *BioResources*, 14(4), 7775–7789. <https://doi.org/10.15376/biores.14.4.7775-7789>
- Ike, D. C., Ibezim-Ezeani, M. U., & Akaranta, O. (2021). Cashew nutshell liquid and its derivatives in oil field applications: an update. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 14(4), 618–631. <https://doi.org/10.1080/17518253.2021.1991485>
- Jiang, Q., Gao, W., Shi, Y., Li, X., Wang, H., Huang, L., & Xiao, P. (2013). Physicochemical properties and in vitro digestion of starches from different Dioscorea plants. *Food Hydrocolloids*, 32(2), 432–439. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.02.001>
- Junlapong, K., Maijan, P., Chaibundit, C., & Chantarak, S. (2020). Effective adsorption of methylene blue by biodegradable superabsorbent cassava starch-based hydrogel. *International Journal of Biological Macromolecules*, 158, 258–264. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.247>
- Kala, H. K., Mehta, R., Sen, K. K., Tandey, R., & Mandal, V. (2016). Critical analysis of research trends and issues in microwave assisted extraction of phenolics: Have we really done enough. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 85, 140–152. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2016.09.007>
- Kizil, R., Irudayaraj, J., & Seetharaman, K. (2002). Characterization of irradiated starches by using FT-Raman and FTIR spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(14), 3912–3918. <https://doi.org/10.1021/jf011652p>
- Koteich-Khatib, S., Vivas, J., Bahsas, A., Rosales-Oballos, Y., & Bullón, J. (2019). Caracterización por RMN y actividad antibacteriana de los componentes del aceite de la semilla de merey (*Anacardium occidentale* L.). *Avances En Química*, 14(1), 31–40.
- Koteich Khatib, S., Bullón, J., Vivas, J., Bahsas, A., Rosales-Oballos, Y., Marquez, R., Forgiarini, A., & Salager, J. L. (2020). Synthesis, Characterization, Evaluation of Interfacial Properties and Antibacterial Activities of Dicarboxylate Anacardic Acid Derivatives from Cashew Nut Shell Liquid of *Anacardium occidentale* L. *Journal of Surfactants and Detergents*, 23(3), 503–512. <https://doi.org/10.1002/jsde.12384>
- Kyei, S. K., Akaranta, O., Darko, G., & Chukwu, U. J. (2019). Extraction, Characterization and Application of Cashew Nut Shell Liquid from Cashew Nut Shells. *Chemical Science International Journal*, December 2019, 1–10. <https://doi.org/10.9734/csji/2019/v28i330143>
- Kyei, S. K., Darko, G., & Akaranta, O. (2020). Chemistry and application of emerging ecofriendly antifouling paints: a review. *Journal of Coatings Technology and Research*, 17(2), 315–332. <https://doi.org/10.1007/s11998-019-00294-3>



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



- Lara-Flores, A. A., Araújo, R. G., Rodríguez-Jasso, R. M., Aguedo, M., Aguilar, C. N., Trajano, H. L., & Ruiz, H. A. (2018). Bioeconomy and Biorefinery: Valorization of Hemicellulose from Lignocellulosic Biomass and Potential Use of Avocado Residues as a Promising Resource of Bioproducts. *Energy, Environment, and Sustainability*, 141–170. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7431-8_8
- Majaron, V. F., da Silva, M. G., Bortoletto-Santos, R., Klaic, R., Giroto, A., Guimarães, G. G. F., Polito, W. L., Farinas, C. S., & Ribeiro, C. (2020). Synergy between castor oil polyurethane/starch polymer coating and local acidification by *A. niger* for increasing the efficiency of nitrogen fertilization using urea granules. *Industrial Crops and Products*, 154(November 2019), 112717. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112717>
- Moraes, S. M., Silva, K. A., Araújo, H., Vieira, I. G. P., Alves, D. R., Fontenelle, R. O. S., & Silva, A. M. S. (2017). Anacardic acid constituents from cashew nut shell liquid: NMR characterization and the effect of unsaturation on its biological activities. *Pharmaceuticals*, 10(1), 1–10. <https://doi.org/10.3390/ph10010031>
- Mwakalesi, A. J., & Potter, I. D. (2021). Targeting of cationic organic pesticide residues using polymer inclusion membranes containing anacardic acid from cashew nut shell liquid as a green carrier. *Journal of Water Process Engineering*, 43(March), 102222. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102222>
- Nambela, L., Haule, L. V., & Mgani, Q. A. (2022). Anacardic acid isolated from cashew nut shells liquid: A potential precursor for the synthesis of anthraquinone dyes. *Cleaner Chemical Engineering*, 3(May), 100056. <https://doi.org/10.1016/j.clce.2022.100056>
- Philip, J. Y. N., Francisco, J. D. C., Dey, E. S., Buchweishaija, J., Mkayula, L. L., & Ye, L. (2008). Isolation of anacardic acid from natural cashew nut shell liquid (CNSL) using supercritical carbon dioxide. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(20), 9350–9354. <https://doi.org/10.1021/jf801532a>
- Pires, M. B., Amante, E. R., Lucia de Oliveira Petkowicz, C., Esmerino, E. A., Manoel da Cruz Rodrigues, A., & Meller da Silva, L. H. (2021). Impact of extraction methods and genotypes on the properties of starch from peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) fruits. *Lwt*, 150(May), 111983. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111983>
- Preethi, R., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2021). Development of anacardic acid incorporated biopolymeric film for active packaging applications. *Food Packaging and Shelf Life*, 28 (September 2020), 100656. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100656>
- Qamruzzaman, M., Ahmed, F., & Mondal, M. I. H. (2022). An Overview on Starch-Based Sustainable Hydrogels: Potential Applications and Aspects. In *Journal of Polymers and the Environment* (Vol. 30, Issue 1). Springer US. <https://doi.org/10.1007/s10924-021-02180-9>
- Qiao, D., Liu, H., Yu, L., Bao, X., Simon, G. P., Petinakis, E., & Chen, L. (2016). Preparation and characterization of slow-release fertilizer encapsulated by starch-based superabsorbent polymer. *Carbohydrate Polymers*, 147, 146–154. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2016.04.010>
- Qiao, D., Tu, W., Wang, Z., Yu, L., Zhang, B., Bao, X., Jiang, F., & Lin, Q. (2019). Influence of crosslinker amount on the microstructure and properties of starch-based superabsorbent polymers by one-step preparation at high starch concentration. *International Journal of Biological Macromolecules*, 129, 679–685. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.02.019>
- Rwahwire, S., Tomkova, B., Periyasamy, A. P., & Kale, B. M. (2018). Green thermoset reinforced biocomposites. In *Green Composites for Automotive Applications*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102177-4.00003-3>
- Salgado-Ordosgoitia, R. D., Rodríguez-Manrique, J. A., Cohen-Manrique, C. S., & Mendoza-Ortega, G. P. (2018). Characterization of the technological properties of starch from purple yam (*Dioscorea alata*), Hawthorn yam (*Dioscorea rotundata*) and Diamante 22-type yam. *DYNA (Colombia)*, 85(207), 143–152. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n207.72869>
- Salimi, M., Motamedi, E., Motesharezedeh, B., Hosseini, H. M., & Alikhani, H. A. (2020). Starch-g-poly(acrylic acid-co-acrylamide) composites reinforced with natural char nanoparticles toward environmentally benign slow-release urea fertilizers. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(3), 103765. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103765>
- Sarkar, A., Biswas, D. R., Datta, S. C., Dwivedi, B. S., Bhattacharyya, R., Kumar, R., Bandyopadhyay, K. K., Saha, M., Chawla, G., Saha, J. K., & Patra, A. K. (2021). Preparation of novel biodegradable starch/poly(vinyl alcohol)/bentonite grafted polymeric films for fertilizer encapsulation. *Carbohydrate Polymers*, 259(December 2020), 117679. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117679>



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



- Savitri, E., Purwanto, E., Kodrat, A. N., & Yonathan, E. (2019). Controlled release fertilizer based on starch chitosan encapsulation. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 703(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/703/1/012019>
- Setyaningsih, W., Karmila, Fathimah, R. N., & Cahyanto, M. N. (2021). Process optimization for ultrasound-assisted starch production from cassava (*manihot esculenta crantz*) using response surface methodology. *Agronomy*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/agronomy11010117>
- Sharma, P., Gaur, V. K., Sirohi, R., Larroche, C., Kim, S. H., & Pandey, A. (2020). Valorization of cashew nut processing residues for industrial applications. *Industrial Crops and Products*, 152(January), 112550. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112550>
- Silva, G. M. de S., Veloso, C. M., Santos, L. S., Melo Neto, B. A. de, Fontan, R. da C. I., & Bonomo, R. C. F. (2020). Extraction and characterization of native starch obtained from the inhambu tuber. *Journal of Food Science and Technology*, 57(5), 1830–1839. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04216-4>
- Supare, K., & Mahanwar, P. (2022). Starch-chitosan hydrogels for the controlled-release of herbicide in agricultural applications: a study on the effect of the concentration of raw materials and crosslinkers. *Journal of Polymers and the Environment*, 30(6), 2448–2461. <https://doi.org/10.1007/s10924-022-02379-4>
- Supare, K., & Mahanwar, P. A. (2022). Starch-derived superabsorbent polymers in agriculture applications: an overview. *Polymer Bulletin*, 79(8), 5795–5824. <https://doi.org/10.1007/s00289-021-03842-3>
- Torres, M. D., Fradinho, P., Rodríguez, P., Falqué, E., Santos, V., & Domínguez, H. (2020). Biorefinery concept for discarded potatoes: Recovery of starch and bioactive compounds. *Journal of Food Engineering*, 275(December 2019). <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109886>
- V., Remya; Deepak, Patil; V., Abitha; Ajay, Rane; Raghvendra, M. (2016). Biobased materials for polyurethane dispersions. *Chemistry International*, 2(3), 158–167. https://scholar.google.co.in/citations?view_op=view_citation&continue=/scholar%3Fhl%3Den%26as_sdt%3D0,5%26scilib%3D1&citilm=1&citation_for_view=r6opFNQAAAAJ:UxriW0iASnsC&hl=en&oi=p%0Ahttps://www.researchgate.net/profile/Raghvendra_Mishra3/publication/2871
- Vasconcelos, L., de Souza, M., de Oliveira, J., Filho, E. S., Silva, A., Mazzetto, S. E., Pereira, E. S., Oliveira, R. L., & Bezerra, L. (2021). Elaboration and characterization of bioactive films obtained from the incorporation of cashew nut shell liquid into a matrix of sodium alginate. *Antioxidants*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/antiox10091378>
- Vilpoux, O. F., Brito, V. H., & Cereda, M. P. (2018). Starch extracted from corms, roots, rhizomes, and tubers for food application. In *Starches for Food Application: Chemical, Technological and Health Properties*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809440-2.00004-6>
- Vudjung, C., & Saengsuwan, S. (2018). Biodegradable IPN Hydrogels Based on Pre-vulcanized Natural Rubber and Cassava Starch as Coating Membrane for Environment-Friendly Slow-Release Urea Fertilizer. *Journal of Polymers and the Environment*, 26(9), 3967–3980. <https://doi.org/10.1007/s10924-018-1274-8>
- Zafar, N., Niazi, M. B. K., Sher, F., Khalid, U., Jahan, Z., Shah, G. A., & Zia, M. (2021). Starch and polyvinyl alcohol encapsulated biodegradable nanocomposites for environment friendly slow release of urea fertilizer. *Chemical Engineering Journal Advances*, 7, 100123. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.100123>
- Zhang, W., Mu, Z., Dong, G., Wei, L., Bai, L., Fu, M., Zhao, X., Han, S., & Wang, S. (2020). Esterification modified starch by phosphates and urea via alcohol solvothermal route for its potential utilization for urea slow-releasing. *International Journal of Biological Macromolecules*, 163, 2448–2456. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.186>
- Zoungranan, Y., Lynda, E., Dobi-Brice, K. K., Tchirioua, E., Bakary, C., & Yannick, D. D. (2020). Influence of natural factors on the biodegradation of simple and composite bioplastics based on cassava starch and corn starch. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5), 104396. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104396>
- Zukryandry, Hidayat, B., & Muslihudin. (2021). Timing of Extraction with Ultrasonic Bath System to Improve the Yield and Chemical Characteristics of Cassava Starch. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1012(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1012/1/012016>



DESARROLLO DE PELÍCULAS CONDUCTORAS BIOPOLIMÉRICAS A PARTIR DE ALMIDÓN DE YUCA (MANIHOT ESCULENTA CRANTZ) Y ÓXIDO DE GRAFENO OBTENIDO DEL MESOCARPO DEL COCO (COCONUCIFERA)

DEVELOPMENT OF BIOPOLYMERIC CONDUCTIVE FILMS FROM CASSAVA STARCH (MANIHOT ESCULENTA CRANTZ) AND GRAPHENE OXIDE OBTAINED FROM THE MESOCARP OF COCONUT (COCONUCIFERA)

Yair Alfonso Vega Vega¹
Universidad de Sucre (UDS)

Álvaro Ángel Arrieta Almario²
Universidad de Sucre (UDS)

Sergio Luis Flórez Seña³
Liceo Panamericano Campestre

RESUMEN

Se elaboró un biopolímero conductor a base de almidón de yuca obtenido del tubérculo de la yuca, óxido de grafeno derivado del mesocarpo del coco y plastificantes. El almidón de yuca fue obtenido a partir del pelado, rayado, tamizado y secado del tubérculo de la yuca, mientras el óxido de grafeno se obtuvo a partir de la incineración del mesocarpo del coco, obtención de carbón, y posterior oxidación química empleando ácido sulfúrico y permanganato de potasio, además de la adición de perclorato de Litio y plastificantes, glicerol, glutaraldehído y polietilenglicol. La capacidad conductora del biopolímero se evaluó mediante la fabricación de biopelículas elaboradas a pH 5 y 9, y a concentraciones de óxido de grafeno de 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.25%, 1.50% y 1.75%, se emplearon 2 biopelículas por concentración de óxido de grafeno y pH, las biopelículas fueron analizadas mediante voltametría cíclica en Potenciostato/Galvanostato PARSTAT 2263 Power Suite Software. La caracterización del almidón y el óxido de grafeno se realizó mediante FTIR y Espectroscopía Raman respectivamente. A pH 5 se favoreció el proceso de reducción en las biopelículas y una disminución de la corriente eléctrica con el aumento de la concentración de óxido de grafeno, mientras que a pH 9 se favoreció el proceso de oxidación y un aumento de la corriente eléctrica con el aumento de la concentración de óxido de grafeno. La densidad de carga propia del óxido de grafeno, pH de elaboración e interacciones iónicas presentes en las biopelículas elaboradas, determinaron la capacidad de donación o atrapamiento electrónico de las biopelículas.

PALABRAS CLAVE: almidón; biopolímero; grafeno; mesocarpo; tubérculo.

¹Profesor de Catedra del Departamento de Biología y Química - Universidad de Sucre, UDS, Colombia - yair.vega@unisucrevirtual.edu.co

²Profesor de Planta del Departamento de Biología y Química - Universidad de Sucre, UDS, Colombia - alvaro.arrieta@unisucru.edu.co

³Profesor del Liceo Panamericano Campestre - Departamento de Sucre, Colombia - docentesergio@gmail.com

ABSTRACT

A conductive biopolymer was produced using cassava starch obtained from cassava tuber, graphene oxide derived from coconut mesocarp, and plasticizers. Cassava starch was obtained by peeling, grating, sieving, and drying cassava tuber, while graphene oxide was obtained by incinerating coconut mesocarp to obtain charcoal and subsequently chemically oxidizing it using sulfuric acid and potassium permanganate, in addition to the addition of lithium perchlorate and plasticizers such as glycerol, glutaraldehyde, and polyethylene glycol. The conductive capacity of the biopolymer was evaluated by manufacturing biofilms prepared at pH 5 and 9, and at graphene oxide concentrations of 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.25%, 1.50% and 1.75%, 2 biofilms were used per graphene oxide concentration and pH, the biofilms were analyzed by cyclic voltammetry in a Potentiostat / Galvanostat PARSTAT 2263 Power Suite Software. The characterization of starch and graphene oxide was carried out by FTIR and Raman Spectroscopy respectively. At pH 5, the reduction process in biofilms was favored, and the electric current decreased with increasing graphene oxide concentration, while at pH 9, the oxidation process was favored, and the electric current increased with increasing graphene oxide concentration. The charge density of graphene oxide, the pH of the preparation, and the ionic interactions present in the prepared biofilms determined the electron donating or trapping capacity of the biofilms.

KEYWORDS: biopolymer; graphene; mesocarp; starch; tuber.

1. INTRODUCCIÓN

El almidón de yuca es materia prima en la presente investigación, capaz de producir materiales poliméricos y, dada su constitución, puede ser transformado en material termoplástico mediante la ruptura de su estructura granular empleando plastificantes (Qiao et al., 2017; Matignon et al., 2017). Las biopelículas formadas por dicho material no son conductoras de electricidad; sin embargo, investigaciones recientes se han enfocado en la capacidad de conducción de bioplásticos y sales iónicas en matrices constituidas por biopelículas de almidón, produciendo nuevos enfoques investigativos y aplicaciones. El almidón basa su aprovechamiento en su abundancia, siendo el segundo polímero más abundante en el planeta después de la celulosa, altamente renovable, económico y biodegradable (Arrieta et al., 2018). Las propiedades químicas y eléctricas de las biopelículas pueden modificarse mediante adición de compuestos o de sus propiedades físicas, favoreciendo la transmisión de energía eléctrica, tal es el caso del perclorato de litio (LiClO_4) y el óxido de grafeno reducido (OGr) (Marcano et al., 2010; Chaparro et al., 2014). El grafeno es una estructura bidimensional finísima, aproximadamente $3.35 \text{ \AA}$ ($3.35 \times 10^{-11} \text{ m}$), 1000 veces más delgado que el cabello de menor grosor que pueda encontrarse, con una resistividad de $0.96 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$, menor que la del cobre ($1.7 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$), y menor que la resistividad de la plata ($1.5 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$), con una facilidad de transporte de carga mayor que los materiales anteriormente mencionados (Ren et al., 2018). Actualmente, los polímeros son amplia y extensamente empleados debido a su facilidad de ser moldeados, impermeables, baja densidad, resistencia a la corrosión y bajo costo, sin embargo, su alta estabilidad y baja biodegradabilidad los convierten en contaminantes y es un serio problema ambiental. Su degradación puede tardar hasta 500 años, no siendo real, debido a la formación de microplásticos que, no siendo evidentes, se acumulan en los ecosistemas afectando a todos los organismos que allí habiten (Segura et al., 2007), incluido el hombre (Hahladakis et al., 2018). La Organización de las Naciones Unidas (ONU) advierte que millones de teléfonos móviles, cámaras digitales, ordenadores, tabletas y otros dispositivos electrónicos elaborados con plásticos terminan cada año en la basura

y, que para el año 2018, se produjeron unos 50 millones de toneladas de desechos plásticos, a comparación de 10 millones de toneladas producidas en el año 2000, con una media de 7 kg producidos por persona por año en todo el planeta. Los cálculos prevén un aumento de un tercio del valor enunciado para el año 2018 durante los siguientes 3 años, asimismo, muchos aparatos electrónicos contienen metales pesados altamente bioacumulables en la cadena trófica y potencialmente tóxicos, metales como el plomo, mercurio, cadmio y zinc, significativos como fuentes de contaminación a largo plazo. Por otro lado, la producción de polímeros de origen petroquímico, conductores y semiconductores, dejan una huella contaminante latente desde su extracción hasta su disposición final, con una cantidad reciclada diminuta a comparación de la cantidad desechada (Casey et al., 2019). El presente estudio tuvo como objetivo el desarrollo de biopelículas conductoras empleando almidón de yuca (AY), óxido de grafeno (OG) obtenido a partir del mesocarpio del coco, y plastificantes, fomentando el uso de biopolímeros degradables, rentables, económicos y asequibles, como posibles alternativas al uso de materiales contaminantes y de residuos sólidos.

2. MÉTODOS

2.1. ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS

El presente estudio es de tipo experimental, dada la manipulación de una o más variables independientes, medición del efecto de la variable independiente sobre la(s) variable(s) dependiente(s) y validación interna de la situación experimental.

2.1.1. POBLACIÓN Y MUESTRA

Material vegetal, tubérculos específicamente, raíces frescas obtenidas en el mercado local de la ciudad de Sincelejo de la especie *Manihot esculenta* Crantz. El mesocarpio de coco fue obtenido de cocos frescos (*Cocos nucifera*) adquiridos

en el mercado local de la misma ciudad. Los plastificantes empleados fueron provistos por el laboratorio del Grupo de Investigación en Conservación del Recurso Hídrico y Aguas (CHRIA) de la Universidad de Sucre.

2.1.2. INSTRUMENTOS DE RECOGIDA DE INFORMACIÓN

Se empleó un espectrofotómetro SPECTRUM 100 de Reflectancia Total Atenuada (ATR) para la caracterización del AY obtenido, y un espectrómetro MicroRaman Horriba Jobin Yvon para la obtención del espectro Raman empleado en la caracterización del OG. Además, se utilizó un potencióstato/galvanostato PARSTAT 2263 Power Suite Software durante el proceso de voltametría cíclica y posterior obtención de espectros oxido-reducción (redox) para su análisis.

2.1.3. PROCEDIMIENTO

2.1.3.1. EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA

Se partió de 1 kg de tubérculo de yuca (raíz fresca), la corteza fue retirada mediante pelado, para posterior rallado y lavado empleando 1.5 L de agua bidestilada, luego se filtró en tela muselina, permitiendo la sedimentación del almidón, dejándola en reposo durante 24 h. El sedimento fue lavado 5 veces empleando 150 mL de agua bidestilada por lavado, posteriormente se introdujo en horno a 75 °C durante 24 h y se tamizó a 150 µm (Arrieta et al., 2014). Se determinó el rendimiento de extracción del almidón con la ecuación.

Ecuación 2. Rendimiento de extracción del almidón de yuca

$$\%R_{almidón} = 100 \left(\frac{m_{almidón}}{m_{raíz}} \right)$$

2.1.3.2. EXTRACCIÓN DE ÓXIDO DE GRAFENO A PARTIR DEL MESOCARPO DEL COCO

Inicialmente, se fragmentaron 130 g de mesocarpo de coco a partículas de 1 mm, estas fueron tamizadas y depositadas en recipiente de teflón e introducidas en mufla a 1200 °C durante 4 h para obtención de carbón. Posterior de la obtención de carbón, este se tamizó a 160 µm. El proceso de oxidación empleado fue el planteado por Hummers con modificaciones (Rodríguez, 2008); para ello se pesaron 5 g de carbón y fueron disueltos en 70 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 10%, se le adicionaron 10 g de permanganato de potasio (KMnO₄), y se sometió a calentamiento a 35±5 °C y agitación constante a 2000 rpm durante 2 h. Se agregaron, gota a gota, 140 mL de agua bidestilada con aumento progresivo de la temperatura hasta 84 °C, luego, se suspendió el calentamiento dejando la solución en agitación constante durante 15 min. Seguidamente, se adicionaron 10 mL de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) a 30% dejándola en reposo durante 40 min; transcurrido este tiempo, la mezcla fue lavada y centrifugada a 1500 rpm durante 3 min. La muestra obtenida se disolvió en 140 mL de H₂SO₄ concentrado más 18 g de KMnO₄ en agitación constante por 2 h. Al finalizar, se agregaron 275 mL de agua bidestilada y agitación constante durante 15 min, luego, 20 mL de H₂O₂ y se dejó en reposo. El sólido obtenido se lavó y centrifugó con 1 L de solución acuosa 1:10 de ácido clorhídrico (HCl) durante 5 min, y, finalmente, se secó en horno a 60 °C por 24 h. El rendimiento de OG (%ROG) se calculó como

Ecuación 3. Rendimiento de OG

$$\%R_{OG} = 100 \left(\frac{m_{OG}}{m_{mesocarpo}} \right)$$

2.1.3.3. ELABORACIÓN DE BIOPELÍCULAS CON ALMIDÓN DE YUCA, ÓXIDO DE GRAFENO Y PLASTIFICANTES

Se fabricaron un total de 32 biopelículas, 16 a pH 5 y 16 a pH 9, el ajuste del pH fue realizado empleando alícuotas de agua ultra pura, HCl e hidróxido de sodio (NaOH), para pH ácido y básico respectivamente. Para la fabricación de las biopelículas se ajustó un volumen de 500 mL de agua ultra pura, empleando 15 mL por biopelícula. A cada preparación se le adicionaron 1 g de AY y se sometió a calentamiento a 75±5 °C durante 15 min, luego, se le añadió OG resultando en concentraciones de 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.25%, 1.50% y 1.75% (2 biopelículas por concentración de OG y pH). Posteriormente se adicionó 1 g de LiClO₄, al llegar a 30 °C se añadieron los plastificantes, glicerol (1 mL), glutaraldehído (1.5 mL), y polietilenglicol (0.5 mL). La mezcla se calentó a 75 °C con agitación constante durante 15 min, al finalizar, se depositó en recipientes de teflón, e introducidos en horno a 75 °C por 48 h. Posteriormente fueron extraídas y caracterizadas (Arrieta et al., 2014).

2.1.3.4. CARACTERIZACIÓN ESPECTROSCÓPICA DEL ALMIDÓN DE YUCA Y ÓXIDO DE GRAFENO, Y CARACTERIZACIÓN ELECTROQUÍMICA DE LAS BIOPELÍCULAS FABRICADAS

El AY se caracterizó mediante Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier empleando el método oficial de la Association of Official Analytical Chemist (AOAC) (Arrieta et al., 2014), mientras el OG fue caracterizado mediante Espectroscopía Raman (Aguirre, 2015). La caracterización del AY empleó un espectrofotómetro SPECTRUM 100 ATR, se utilizó 1 cm² del polímero colocándolo en el portamuestra, los espectros fueron obtenidos a 25 °C entre 4000 – 700 cm⁻¹, resolución espectral de 4 cm⁻¹ y se promediaron sobre 100 barridos (Arrieta et al., 2018). La Espectroscopía Raman se realizó en espectrómetro MicroRaman Horriba Jobin Yvon, con fuente de excitación láser y detector de 1024 píxeles, CCDe de alta sensibilidad, acoplado a un microscopio Olympus BX41TF de resolución espectral < 1 µm. El análisis Raman se realizó en el Grupo de Investigaciones Interdisciplinar de Nanotecnología Aplicada de la Universidad de Concepción, Chile. La caracterización electroquímica de las biopelículas empleó un potencióstato/galvanostato PARSTAT 2263 Power Suite Software. Se utilizó una celda para medidas en sólidos, consistía en dos electrodos de acero inoxidable adheridos a placas de acrílico, las muestras se recortaron en cuadrados de 1×1 cm y dispuestas en la celda en forma de Sándwich. Los potenciales se midieron usando como referencial el electrodo de circuito abierto. Se empleó voltametría cíclica, con un rango de barrido de -2 a 2 V, y velocidad de barrido de 50 mV s⁻¹ rms.

2.1.3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se determinaron los coeficientes de variación (CV) de los promedios de valores de corriente obtenidos (2 valores

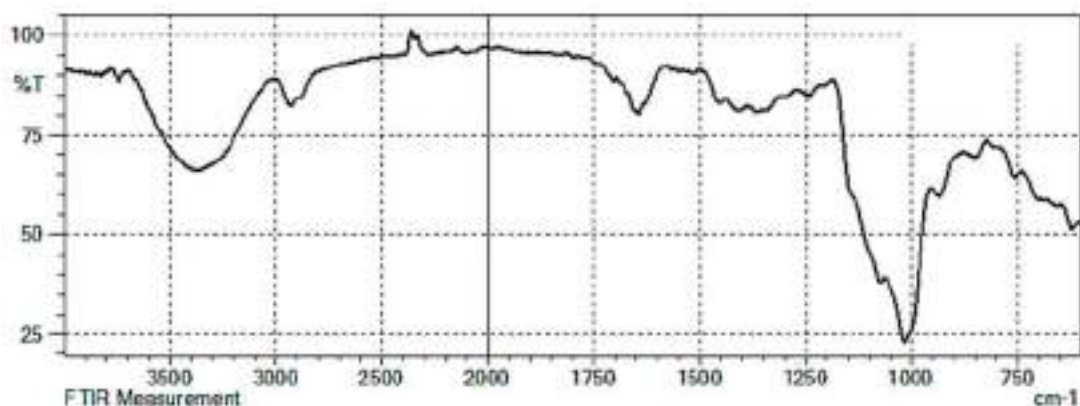
de corriente, anódica y catódica, por biopelícula, pH y concentración de OG), asumiendo como representativos aquellos CV menores al 18% (Lara, 2015).

3. RESULTADOS

Los rendimientos de extracción obtenidos fueron de 10.1% y 3.10% para el AY y el OG respectivamente. El rendimiento de extracción del OG se considera bajo, aun así, el mesocarpio de coco puede emplearse como abono y fertilizante para especies vegetales y degradadores de materia orgánica.

3.1. CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE YUCA MEDIANTE FTIR

Figura 12. Espectro FTIR de AY

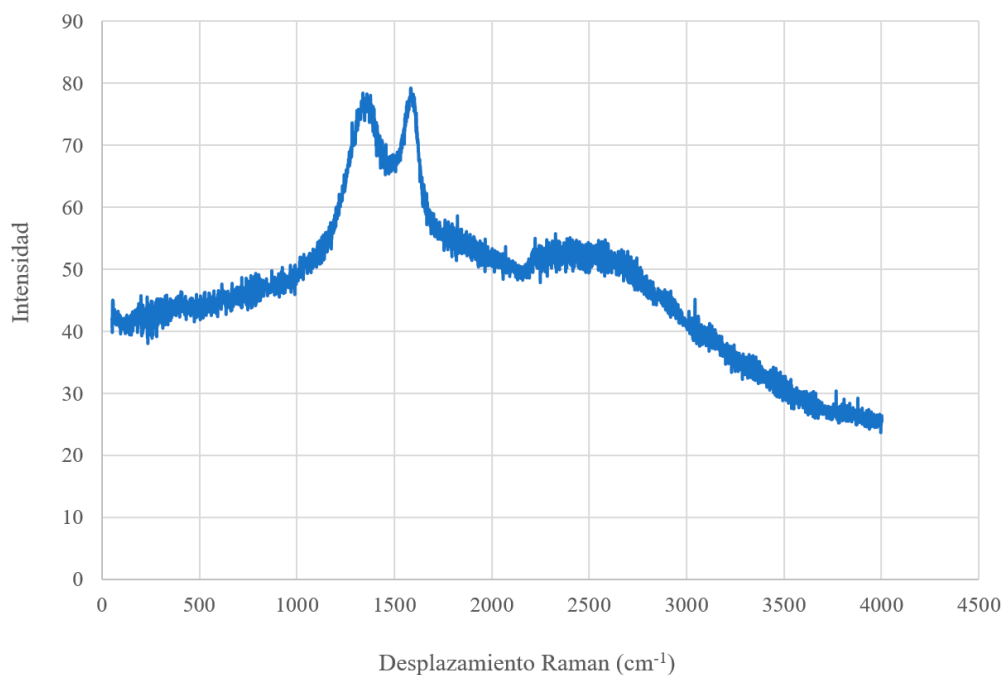


Fuente: adaptado por el autor.

En el espectro obtenido (ver Figura 12), se observaron las bandas características del almidón, bandas entre los rangos 1020 – 1030 cm^{-1} correspondientes a vibraciones de C-O del anillo de anhidroglucosa (C-O-C), y vibraciones del grupo C-O de grupos C-O-H. Bandas entre los 1400 – 1450 cm^{-1} del enlace O-H, banda en 1646 cm^{-1} de moléculas de agua residuales en la biopelícula, 2840 – 3000 cm^{-1} vibraciones de enlaces C-H, y entre 3300 – 3500 cm^{-1} del grupo hidroxilo.

3.2. CARACTERIZACIÓN DE ÓXIDO DE GRAFENO MEDIANTE ESPECTROSCOPIA RAMAN

Figura 13. Espectro Raman de OG



Fuente: elaboración propia 2019.

En el espectro Raman (ver Figura 13) de OG, se evidenciaron las bandas: D a 1320 cm^{-1} , G a 1584 cm^{-1} , ambas características de la estructura del OG obtenido a partir de grafito (éste obtenido en la fabricación de carbón).

3.3. BIOPELÍCULAS FABRICADAS A PARTIR DE ALMIDÓN DE YUCA, ÓXIDO DE GRAFENO Y PLASTIFICANTES

Figura 14. Biopelículas fabricadas a pH 5, de izquierda a derecha, a concentraciones de OG de 0%, 1.00%, y 1.50%

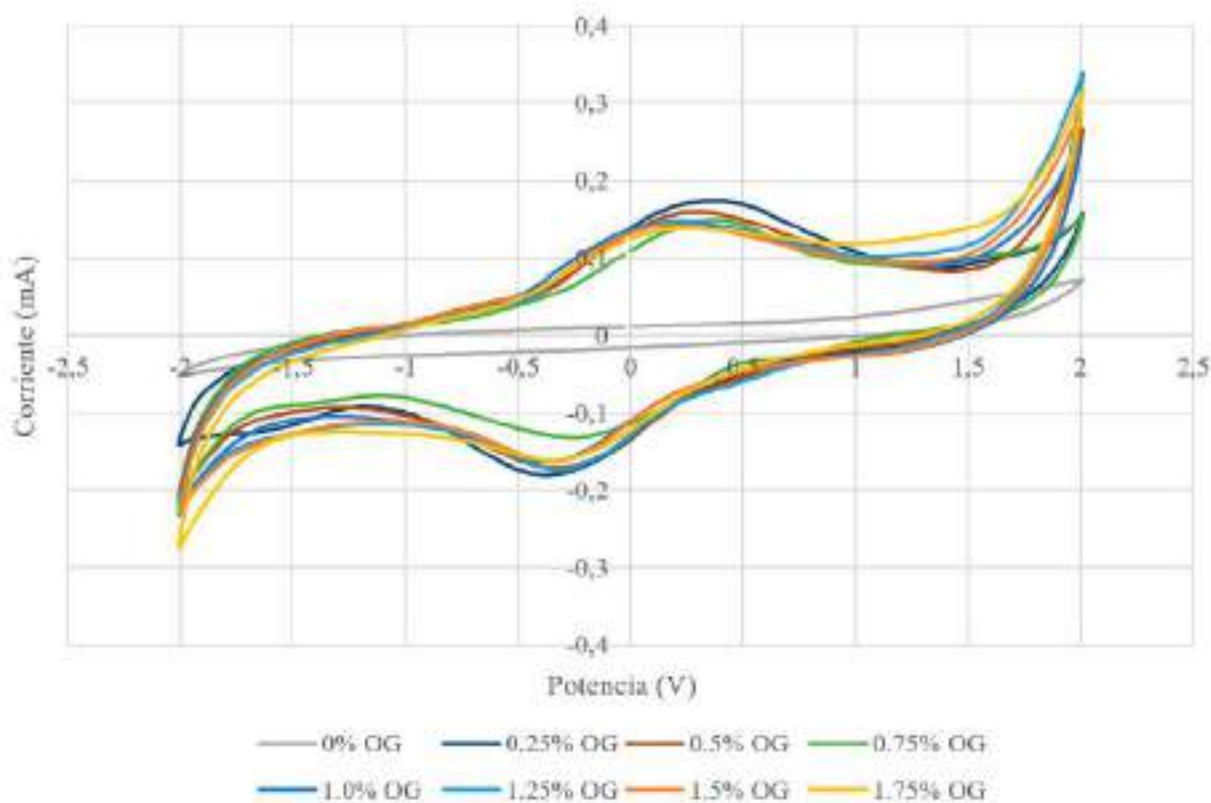


Fuente: elaboración propia 2019.

Las biopelículas se tornaron más oscuras con el aumento de la concentración de OG. Fueron resistentes a la tracción manual, movimiento, de textura consistente y suave, su apariencia inicial fue traslúcida, con el paso de los días se tornó amarillenta y opaca con exudados acuoso y viscoso.

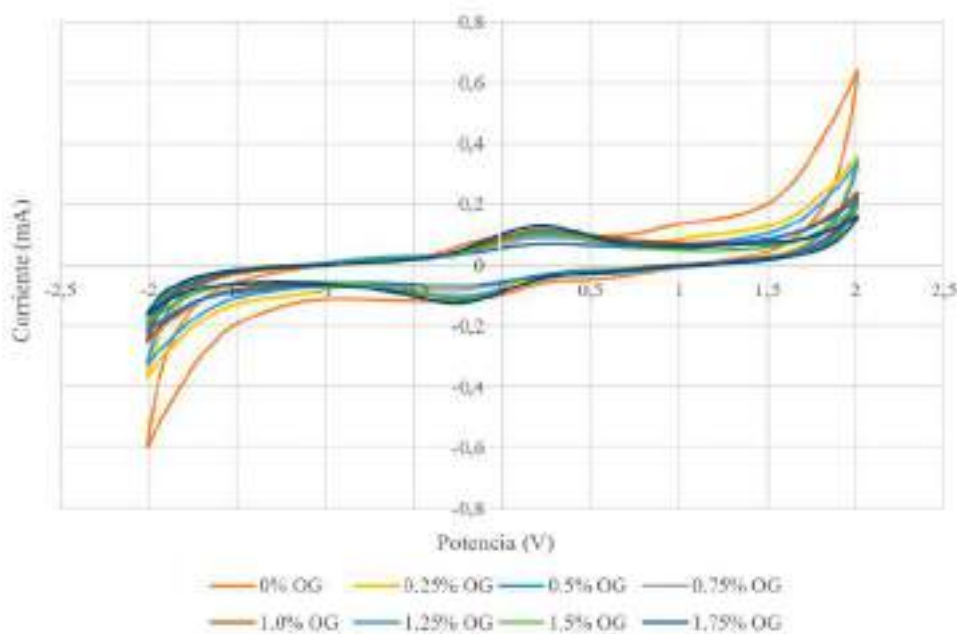
3.4. ESPECTROS DE VOLTAMETRÍA CÍCLICA DE LAS BIOPELÍCULAS FABRICADAS

Figura 15. Espectros de voltametría cíclica de biopelículas de AY y OG a concentraciones de 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.25%, 1.50% y 1.75%, fabricadas a pH 5



Fuente: elaboración propia.

Figura 16. Espectros de voltametría cíclica de biopelículas de AY y OG a concentraciones de 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.25%, 1.50% y 1.75%, fabricadas a pH 9



Fuente: elaboración propia.

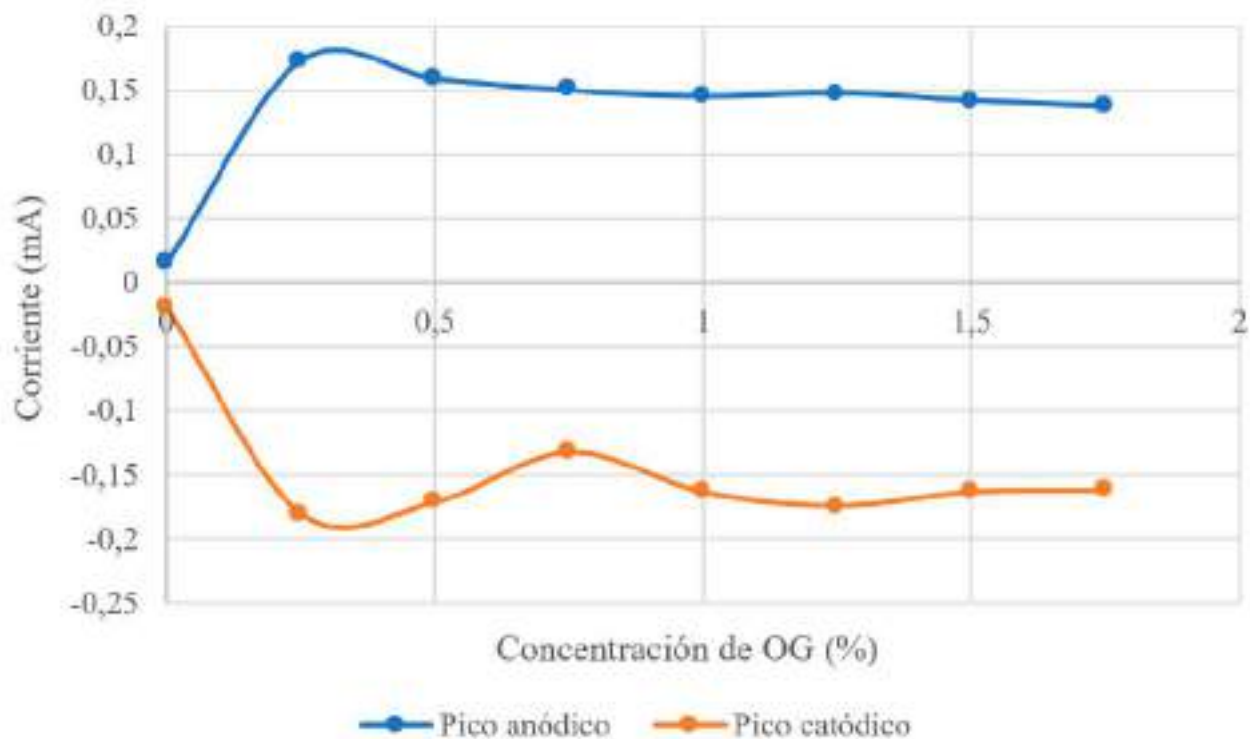
Tabla 5. Valores De Corriente De Picos Anódicos (I_{pa}) Y Catódicos (I_{pc}), Relaciones De Corriente De Picos Anódicos Y Catódicos (I_{pa}/I_{pc}), Y, Potenciales De Picos Anódicos (E_{pa}) Y Catódicos (E_{pc}), Según Concentración De OG A pH 5 Y

%OG	I_{pa}	I_{pc}	I_a / I_c	E_{pa}	E_{pc}
PH 5					
0	0.016	- 0.020	0.800	0.48	- 0.48
0.25	0.173	- 0.180	0.961	0.33	- 0.39
0.50	0.159	- 0.171	0.930	0.30	- 0.30
0.75	0.150	- 0.132	1.136	0.36	- 0.24
1.00	0.145	- 0.163	0.890	0.20	- 0.36
1.25	0.148	- 0.174	0.851	0.21	- 0.33
1.50	0.142	- 0.163	0.871	0.20	- 0.32
1.75	0.138	- 0.162	0.852	0.24	- 0.33
%OG	I_{pa}	I_{pc}	I_a / I_c	E_{pa}	E_{pc}
PH 9					
0	0.097	- 0.120	0.808	0.27	- 0.33
0.25	0.071	- 0.069	1.029	0.27	- 0.24
0.50	0.101	- 0.103	0.981	0.24	- 0.24
0.75	0.089	- 0.086	1.035	0.24	- 0.27
1.00	0.113	- 0.122	0.926	0.24	- 0.27
1.25	0.071	- 0.067	1.060	0.30	- 0.24
1.50	0.107	- 0.112	0.955	0.24	- 0.21
1.75	0.128	- 0.125	1.024	0.21	- 0.24

Fuente: elaboración propia 2019.

Nota: Todos Los Promedios De Valores De Corriente De Pico Anódica Y Catódica Obtuvieron CV <15%.

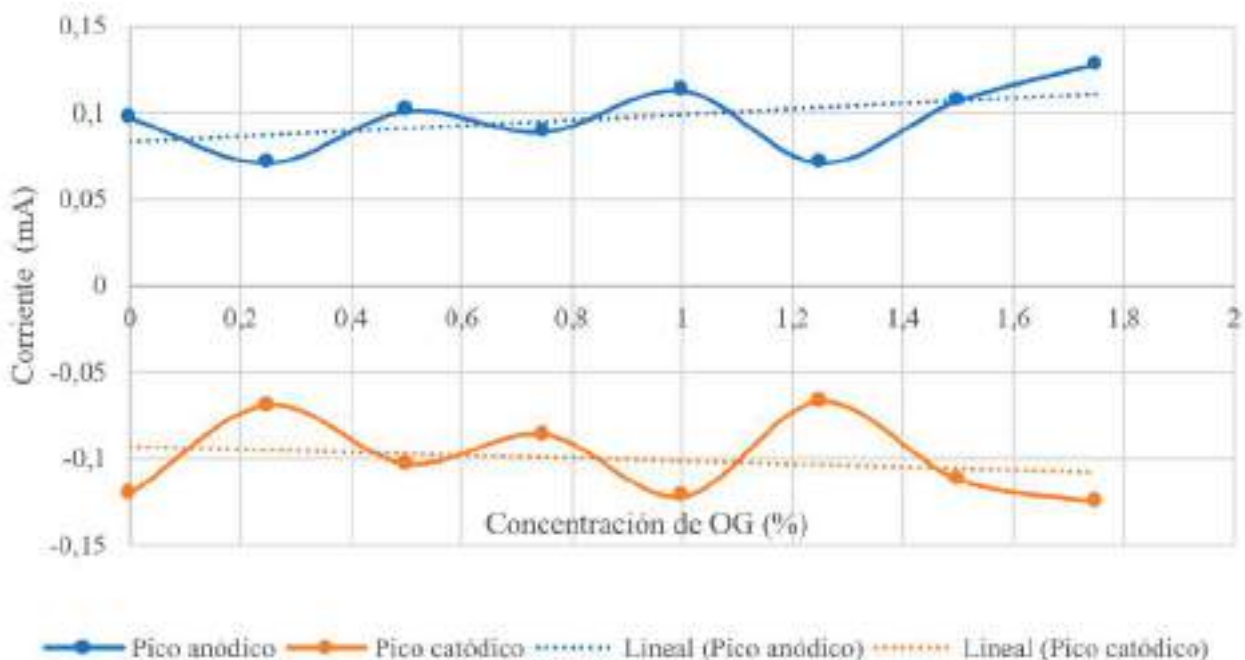
Figura 17. Valores de corriente de picos anódicos y catódicos según concentración de OG a pH 5



Fuente: elaboración propia.

En la Figura 17, a pH 5, se observó un máximo de corriente anódica de 0,173 mA a 0,25% de OG con una disminución de la corriente proporcional a la concentración de OG, hasta de un 80%, tal es el caso de 1,75% de OG con 0,138 mA. El menor valor de corriente anódica se observó a 0% de OG y corriente de -0,016 mA. Los valores de corriente catódica obtuvieron un mínimo de -0,180 mA a 0,25% de OG, y un aumento de corriente proporcional a la concentración del aditivo. Las ecuaciones lineales de valores de corriente de picos anódicos y catódicos fueron $y = -0,014x + 0,0163$ ($R^2 = 0,859$), e $y = 0,004x - 0,168$ ($R^2 = 0,020$), respectivamente.

Figura 18. Valores de corriente de picos anódicos y catódicos según concentración de OG a pH 9



Fuente: elaboración propia.

Se evidenció un máximo de corriente en el pico anódico de 0.128 mA y un mínimo de corriente catódica de -0.125 mA. Además, el comportamiento de la corriente eléctrica de picos anódicos y catódicos fue de tipo senoidal que, con ayuda de líneas de tendencia, pudo establecerse un comportamiento más evidente de la corriente anódica y catódica con el aumento de la concentración de OG. Se denotó un aumento de la corriente de picos anódicos y una disminución en los catódicos con el aumento de la concentración de OG. Las ecuaciones de tendencia lineal fueron, para picos anódicos de $y=0.016x+0.083$, y para los catódicos $y=-0.009x-0.093$, ambas ecuaciones con valores R^2 cercanos a 0.200.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A pH 5 se denotaron valores de corriente a 0% de OG en el pico anódico de 0.016 y catódico de -0.02 mA, el valor de corriente de mayor valor absoluto fue la del pico catódico, y una diferencia entre éstos de 4 milésimas, favoreciendo al proceso de reducción en la biopelícula de forma muy tenue. A concentraciones de OG mayores a 0.50%, la pendiente de valores de corriente picos anódicos fue de 0.014 y de -0.004 para los picos catódicos, indicando una disminución más notable de corriente anódica que aumento de la catódica con el aumento de la concentración de OG; lo anterior evidencia favorecimiento del proceso de reducción en la biopelícula. Esto puede denotarse en los cocientes de valores de corriente de picos anódicos y catódicos, valores menores a 1, con corrientes anódicas hasta un 20% menores que los valores de corriente catódica. La cercanía a 1 de los cocientes también denotó reversibilidad de los procesos redox analizados en la biopelícula.

A pH 9 se denotó una disminución de los valores de corriente anódica y disminución de la catódica con el aumento de la concentración de OG, comportamiento contrario al de pH 5. Los valores de corriente anódica fueron hasta un 60% mayores que los valores de corriente catódica. A 0% de OG, los valores de corriente de pico anódico y catódico fueron de 0.097 mA y de -0.120 mA respectivamente, favoreciendo en un 10.17% al proceso de reducción. Los valores de corriente anódica y catódica a pH 9 y 0% de OG, fueron 2.21 y 6 veces los valores obtenidos a pH 5 y 0% de OG, respectivamente, mostrando una mayor actividad electroquímica a pH 9. En el mismo pH se evidenció una alternancia en el favorecimiento de procesos de oxidación-reducción, el de oxidación en las concentraciones de 0.25%, 0.75%, 1.25% y 1.75% de OG, mientras el proceso de reducción se vio favorecido a 0%, 0.50%, 1.00% y 1.50% de OG. Aun así, los valores de corriente de picos catódicos obtuvieron una pendiente de tendencia lineal ~ 1.8 veces el valor de la pendiente de picos anódicos, favoreciendo al proceso de oxidación. Igualmente, los cocientes de valores de corriente de picos anódicos y catódicos, fueron cercanos a 1, indicando reversibilidad en el proceso redox.

Por ende, se plantea, que el pH juega un rol importante en el movimiento de especies iónicas y en el conjunto de transportadores de carga del sistema, también puede regular el estado de ionización del OG dada su conformación física-química (Chaparro et al., 2014), y el de los compuestos que conforman la matriz de la biopelícula (AY y plastificantes). Altos valores de pH favorecen la desprotonación de los grupos funcionales del OG, aumentando su densidad de carga negativa y el número de especies reductoras, además de los valores de corriente de picos anódicos sobre los catódicos con el aumento de la concentración de OG. A bajos valores de pH los iones H^+ pueden competir con otros cationes en la matriz del biopolímero, como grupos hidroxilados de los plastificantes y del AY, además, el OG posee abundantes hidrógenos de la forma (OG)-H aumentando la densidad de carga positiva de la biopelícula y favoreciendo el proceso de reducción, adquisición de electrones. Claramente la fabricación de las biopelículas a pH 5 tiene un efecto negativo sobre la transmisión de corriente, nótese los cocientes entre valores de corriente de picos anódicos y catódicos a 0% de OG entre pH 5 y 9, donde este último alcanza valores de corriente de hasta 6 veces los valores de corriente en picos anódicos y catódicos a pH 5. El OG está cargado negativamente, la fabricación de las biopelículas a pH 5 puede producir una neutralización de las cargas negativas del OG debido a la abundancia de las cargas positivas adicionadas en la fabricación y establecimiento del pH de las biopelículas. Además, la interacción iónica dada por los iones H^+ a pH 5 y la densidad de carga negativa del OG, puede aumentar conforme aumenta la concentración de OG, dejando menores especies oxidantes disponibles para reducirse.

Este capítulo es resultado del trabajo de grado, realizado como requerimiento para la obtención del título de Biólogo otorgado por la Universidad de Sucre (pregrado), que contó con la participación y financiación del Grupo de Investigación CHRIA, y personal.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, F. (2015). Síntesis y caracterización de capas conductoras de Óxido de grafeno (GO): propiedades vibracionales bajo condiciones extremas de presión y temperatura. Trabajo final de Máster: Facultad de Ciencias de la Universidad de Cantabria, pp. 50.
- Arrieta, A., Jaramillo, A. (2014). Bioplásticos eléctricamente conductores de almidón de yuca. *Revista Colombiana de Materiales*, (5):42-49.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



- Arrieta, Á., Durango, L., Arizal, E. (2018). Estudio de las propiedades absorbentes de un biopolímero a base de almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Espacios*, 39 (53): 1-15.

- Casey, K., Lichrou, M., Fitzpatrick, C. (2019). Treasured trash? A consumer perspective on small Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) divestment in Ireland. *Resources, Conservation and Recycling*, 145:179-189.

- Chaparro, C., Cabanzo, R., Mejía, E. (2014). Estudio de la absorción de azul de metileno sobre óxido de grafeno. *Revista Colombiana de Materiales*, 5:131-139.

- Hahladakis, J., Velis, C., Weber, R., Lacovidou, E., Purnell, P. (2018). An overview of chemical additives presents in plastics: migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. *Journal of hazardous materials*, 344(2018):179-199.

- Lara, A. (2015). Evaluación de la residualidad de plaguicidas en papa (*Solanum tuberosum*) cultivada en Ventaquemada (Boyacá). Trabajo final de Máster: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-UTPC, pp. 105.

- Marcano, D., Kosynkin, D., Berlin, J., Sinitskii, A., Sun, Z., Slesarev, A., Tour, J. (2010). Improved Synthesis of Graphene Oxide. *American Chemical Society*, 4(8):4806-4814.

- Matignon, A., Tecante, A. (2017). Starch retrogradation: From starch components to cereal products. *Food Hydrocolloids*, 68:43-52.

- Qiao, D., Yu, L., Bao, X., Zhang, B., Jiang, F. (2017). Understanding the microstructure and absorption rate of starch-based superabsorbent polymers prepared under high starch concentration. *Carbohydrate polymers*, 175:141-148.

- Ren, S., Rong, P., Yu, Q. (2018). Preparations, properties and applications of graphene in functional devices: A concise review. *Ceramics International*, 44(11):11940-11955.

- Rodríguez, C., Kharissova, O. (2008). Propiedades y aplicaciones del grafeno. *Ingenierías*, 11(38):17-23.

- Segura, D., Noguez, R., Espín, G. (2007). Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos biodegradables. *Biotecnología*, 14(23):361-371.



ESTUDIO DE CASOS DE APLICACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN EMPRESAS DE MANUFACTURA EN COLOMBIA

CASE STUDY OF THE APPLICATION OF THE CLEANER PRODUCTION STRATEGY IN MANUFACTURING COMPANIES IN COLOMBIA

Johanna Mildred Méndez Sayago¹

Fundación Universitaria del Área Andina

James Mauricio Enríquez Rodríguez²

Corporación Universitaria Iberoamericana, (Ibero)

Angela Tatiana Martínez Chaves³

Fundación Universitaria del Área Andina

Laura Vanessa Ramírez Payares⁴

Fundación Universitaria del Área Andina

Bianet Yuliet Restrepo Vélez⁵

Fundación Universitaria del Área Andina

RESUMEN

Este estudio analiza la implementación de la estrategia de producción más limpia (P+L) en empresas manufactureras de Colombia. Se lleva a cabo una revisión de literatura del concepto y herramientas y metodologías de P+L utilizadas por las organizaciones en Colombia. Además, se realiza un análisis comparativo de casos en diferentes sectores industriales para evaluar cómo estas prácticas han impactado la eficiencia operativa y la reducción de residuos en las empresas.

PALABRAS CLAVE: eficiencia; empresas de manufactura; herramientas de P+L; problemática ambiental; procesos productivos; producción más limpia.

¹PhD en Economía, Magistra en Economía e Ingeniera de Producción Industrial. Docente de la Facultad de Ingeniería de la carrera de Ingeniería Industrial - Fundación Universitaria del Área Andina, Colombia - Jmendez97@areandina.edu.co Jmms1318@gmail.com

²Ingeniero Agrícola – Magister en Ingeniería Industrial- Profesor Facultad de Ingeniería Corporación Universitaria Iberoamericana, (Ibero), Colombia. james.enriquez@ibero.edu.co

³Estudiante investigador - Fundación Universitaria del Área Andina, Colombia - amartinez310@estudiantes.areandina.edu.co

⁴Estudiante investigador - Fundación universitaria del Área Andina, Colombia - lramirez1180@estudiantes.areandina.edu.co

⁵Estudiante investigador - Fundación universitaria del Área Andina, Colombia - brestrepo14@estudiantes.areandina.edu.co

ABSTRACT

This study analyzes the implementation of the Cleaner Production (CP) strategy in manufacturing companies in Colombia. A literature review is conducted on the concept and tools and methodologies of CP used by organizations in Colombia. Additionally, a comparative case analysis is carried out across different industrial sectors to assess how these practices have influenced operational efficiency and waste reduction in companies.

KEYWORDS: cleaner; CP tools; efficiency; environmental issue; manufacturing companies; production processes.

1. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda y el aumento constante en la población, ha impulsado al sector manufacturero a implementar en sus procesos la automatización en la producción en masa. El énfasis en la producción y el gran consumo, que se caracteriza por un modelo económico lineal junto con la obsolescencia programada y la generación de grandes cantidades de desechos y residuos contaminantes, ha dado como resultado desafíos ambientales y económicos globales de gran escala. Esta forma inestable de producción y consumo ejerce presión sobre los recursos naturales, resultando en agotamiento de recursos, degradación del ecosistema y cambio climático.

Los desechos generados por las prácticas industriales de manufactura representan un problema importante de contaminación ambiental. Los gases emitidos al aire durante estos procesos industriales causan efectos como el calentamiento global, la lluvia ácida y el adelgazamiento de la capa de ozono. La contaminación del agua también se ve afectada, tanto en fuentes superficiales como subterráneas, debido al inadecuado almacenamiento y eliminación de materias primas, sustancias químicas, desechos industriales y efluentes contaminantes. Además, se desperdician valiosos recursos y materiales que se adquieren a alto costo y que no llegan a transformarse en productos finales o en materias primas que puedan reutilizarse. Estas emisiones y desechos incluyen toda clase de sólidos, líquidos y gases emitidos al aire, al agua o al suelo, así como ruido y calor residual generado durante los procesos industriales.

El proceso de producción incluye actividades que a menudo se pasan por alto en cuanto a su impacto ambiental, como las labores de mantenimiento, reparación, limpieza, así como las operaciones administrativas de oficina. Estas actividades pueden generar contaminación del suelo y de las aguas subterráneas a través de lixiviados tóxicos. Dichos lixiviados son invisibles y sus efectos suelen ignorarse, provocando un aumento en la mortalidad de los ecosistemas y la degradación paulatina del medio ambiente.

Por consiguiente, minimizar los desechos y las emisiones también significa aumentar el grado de utilización de los materiales y energía usados para la producción (aumentando la eficiencia ecológica) hasta, y este es el caso ideal, una utilización que garantice un procedimiento libre de desechos y emisiones. El estudio de casos de aplicación de la técnica de producción más limpia en empresas de manufactura en Colombia. Así, para la industria, la minimización de desechos es no solo una meta ambiental sino más aún, y principalmente, un programa orientado comercialmente para aumentar el

grado de utilización de materiales para beneficiarse de las ventajas comerciales.

En conclusión, el propósito de esta investigación es indagar, por medio de un estudio de casos, la integración de estrategias de producción más limpia en empresas manufactureras de Colombia. Se pretende examinar el aporte de herramientas y metodologías específicas de producción más limpia a la mitigación de impactos ambientales y mejora de eficiencia operativa. Para ellos se hace necesario el estudio de los fundamentos conceptuales que sustentan estas estrategias, comparar su aplicación entre diversas compañías, y explorar los principales desafíos enfrentados durante su implementación.

La finalidad de recopilar información y experiencias que permitan entregar recomendaciones concretas para impulsar modelos de producción sostenible en el sector industrial del país. Los hallazgos de este estudio apoyarían la adopción de buenas prácticas ambientales en consonancia con el desarrollo económico.

2. MÉTODO

Con el propósito de alcanzar los objetivos de esta investigación, se adoptó un enfoque cualitativo que implicó la realización de una revisión bibliográfica y un análisis comparativo de estudios de casos relacionados con la aplicación de herramientas de producción más limpia en empresas de manufactura en Colombia.

La información necesaria para este análisis se recopiló a través de la consulta de diversas fuentes, como bases de datos académicas, reportes, libros y artículos periodísticos, entre otros.

Este enfoque cualitativo y la revisión bibliográfica permitieron obtener una comprensión profunda de la temática y analizar de manera detallada la aplicación de las herramientas de producción más limpia en el contexto colombiano.

La inclusión de publicaciones enriquece la investigación al proporcionar ejemplos concretos y prácticos de cómo estas herramientas se aplican en empresas de manufactura en el país.

La diversidad de fuentes consultadas garantizó una base sólida de datos y conocimientos para llevar a cabo un análisis exhaustivo y fundamentado en los resultados de la investigación.

2.1. ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS

Esta investigación adoptará un enfoque cualitativo de investigación descriptiva con el objetivo general de identificar las principales herramientas y metodologías de Producción Más Limpia (P+L) utilizadas en diversos sectores industriales en Colombia.

El diseño de la investigación se estructura de la siguiente manera:

En primer lugar, se llevará a cabo una revisión de la literatura para recopilar información sobre los conceptos y estrategias asociadas con la producción más limpia. Posteriormente, se realizará un análisis comparativo detallado de las prácticas y actividades de producción más limpia implementadas por las empresas de manufactura en Colombia. Por último, se profundizará en la identificación y evaluación de los desafíos y barreras que enfrentan estas organizaciones al considerar la implementación de prácticas de producción más limpia. Este enfoque metodológico permitirá obtener una comprensión integral de la aplicación de la P+L en el contexto industrial colombiano.

La siguiente tabla describe los tipos de investigación por objetivo propuesto:

Tabla 6. Estrategias metodológicas aplicadas según el objetivo específico propuesto

ETAPA DE LA INVESTIGACIÓN	OBJETIVO ESPECÍFICO	ACTIVIDADES PLANIFICADAS	TIPO DE INVESTIGACIÓN
Revisión de la Literatura	Identificar el concepto y estrategias y metodologías de P+L	1. Revisión de la literatura científica y técnica sobre P+L en bases de datos especializadas. 2. Identificación y extracción de conceptos clave y estrategias aplicadas en la producción más limpia.	Exploratoria y Descriptiva
Análisis Comparativo	Realizar un comparativo de prácticas de P+L en empresas de manufactura en Colombia	1. Identificación de los impactos ambientales y de las estrategias de producción más limpia implementadas en los documentos consultados. 2. Establecimiento de criterios de comparación, tales como procesos, tecnologías utilizadas y resultados obtenidos. 3. Análisis comparativo de prácticas y actividades de P+L en distintos sectores manufactureros.	Exploratoria y Descriptiva
Análisis de Barreras y Retos	Analizar barreras y retos en la aplicación de P+L	1. Identificación de barreras y retos a través del análisis de la matriz comparativa. 2. Evaluación cualitativa de los obstáculos enfrentados por las empresas en la implementación de P+L.	Exploratoria y Descriptiva

Fuente: Elaboración propia

2.2. INSTRUMENTOS DE RECOGIDA DE INFORMACIÓN

La recolección de información para esta investigación se realizará mediante la búsqueda en bases de datos especializadas, así como en repositorios institucionales de universidades de renombre en Colombia. Específicamente, se consultaron tesis, trabajos de grado e investigaciones que contenían información relevante sobre prácticas de Producción Más Limpia en el sector industrial colombiano. La información obtenida a través de estas fuentes secundarias permitirá identificar conceptos, estrategias, impactos, barreras y retos en la implementación de metodologías de Producción Más Limpia. Este proceso de revisión documental facilitará el análisis comparativo y la evaluación integral planteados como objetivos de la investigación.

3. RESULTADOS

3.1. BASES TEÓRICAS

3.1.1. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

Las empresas desempeñan un papel fundamental en la problemática ambiental, tanto desde una perspectiva económica como ambiental. Actúan como intermediarias entre los mercados de bienes y servicios y los mercados de insumos productivos, organizando el proceso de producción y distribución en función de las demandas de consumidores y productores. Además, utilizan recursos naturales y ambientales, los valorizan económicamente y los introducen en el mercado. Sin embargo, también tienen la responsabilidad de gestionar adecuadamente los residuos y la entropía resultante de su actividad, evitando así el deterioro de los sistemas naturales. Por tanto, es fundamental promover modelos de economía circular en lugar de lineales, como lo es la producción más limpia, donde las empresas adopten prácticas que favorezcan de optimización de procesos operativos a través las buenas prácticas y tecnologías limpias. Su esencia reconoce los residuos, vertimientos y otros impactos ambientales negativos, como indicadores de ineficiencia de procesos y productos, y propone la prevención de los impactos a través de la optimización de procesos, el aprovechamiento de residuos y el rediseño de productos, enfatizando en la eficiencia de los procesos (van Hoof, 2013; van Hoof et al., 2015). De esta manera, se busca que las empresas sean más respetuosas con el medio ambiente, ya que su comportamiento tiene un impacto directo en los recursos naturales, la calidad de vida y el bienestar de las personas. Mejorado de (Azqueta, 2002).

La ilustración siguiente resume los impactos ambientales derivados de los procesos industriales:

Figura 19. Problemática ambiental generada por los procesos industriales



Fuente: elaboración propia 2023.

Es esencial encontrar un equilibrio entre la competitividad empresarial, la responsabilidad social y la sostenibilidad ambiental, adoptando enfoques que fomenten la producción y el consumo responsables. El avance tecnológico, especialmente en la tercera revolución industrial, ha generado un modelo de desarrollo cada vez más dependiente del consumo y uso de los recursos naturales, lo cual ha creado un panorama insostenible que pone en riesgo la existencia y el bienestar de la humanidad. En este contexto surge la denominada sociedad del riesgo, donde los eventos tecnológicos y el enfoque consumista plantean preocupaciones para la preservación de la vida en el planeta y la sostenibilidad ambiental (Garrido, 2007). Por tanto, resulta fundamental adoptar estrategias que promuevan un desarrollo equilibrado y respetuoso con los límites y capacidades de los recursos naturales disponibles. En las siguientes figuras, se proporciona información estadística sobre el comportamiento de diversos agentes económicos en relación con el uso de recursos y su disposición en Colombia.

Figura 20. Participación porcentual del uso de agua distribuida por actividad económica

Total nacional 2018^P



Fuente: Tomado de DANE - Cuenta ambiental y económica

Figura 21. Toneladas de residuos dispuestos por la Industria manufacturera

Total nacional 2018

Tipo de residuo	Residuos dispuestos	
	Total en toneladas	Participación %
Orgánicos	656.465	45,6
Construcción y demolición	542.142	37,6
Mezclados	188.729	13,1
Papel y cartón	22.135	1,5
Madera	14.067	1,0
Plásticos	9.008	0,6
Metálicos	3.030	0,2
Caucho	1.565	0,1
Textiles	1.887	0,1
Vidrio	1.056	0,1
Total	1.440.085	

Fuente: Tomado de DANE - Cuenta ambiental y económica

Figura 22. Participación de la generación de emisiones GEI por actividad económica

Total nacional 2018^P

Este indicador muestra la participación de cada actividad en la emisión de GEI, medido por el volumen de Gigagramos (Gg) de CO₂-eq, que produce cada sector.

Las actividades más intensivas en la generación de GEI en el 2018^P fueron: las industrias manufactureras y la actividad de suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado.



- Industrias manufactureras
- Construcción y demolición
- Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado
- Explotación de minas y canchales
- Comercio al por mayor y al por menor
- Transporte terrestre
- Actividades financieras y de seguros
- Administración pública y defensa
- Actividades inmobiliarias
- Actividades profesionales, científicas y técnicas

Fuente: Tomado de DANE - Cuenta ambiental y económica

Figura 23. Intensidad de emisiones GEI por actividad económica – Gigagramos (Gg) de CO₂-eq.Total nacional 2017-2018^P

Actividades económicas	2017	2018 ^P
	1000 Gg de CO ₂ -eq / mil millones de pesos	
Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca	13,7	26,1
Explotación de minas y canchales	245,2	285,9
Industrias manufactureras	495,5	473,5
Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado	572,1	693,7
Construcción	6,8	11,3
Comercio al por mayor y al por menor	46,4	65,7
Información y comunicaciones	3,7	5,3
Actividades financieras y de seguros	3,1	4,3
Actividades inmobiliarias	0,8	6,5
Actividades profesionales, científicas y técnicas	3,0	5,2
Administración pública y defensa	57,9	48,9
Actividades artísticas, de entretenimiento y recreación y otras actividades de servicios	1,5	2,8

Fuente: Tomado de DANE - Cuenta ambiental y económica

3.1.2. PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA

Las tendencias actuales, y desde principios del siglo por parte de las autoridades competentes, es exigir a las empresas de manufactura y servicios el uso de herramientas y estrategias que permitan la implementación de actividades de producción limpia. Cuando se habla de producción más limpia, se refiere a la iniciativa para la implementación de una gestión ambiental la cual se basa en la búsqueda de soluciones a los retos de lograr un equilibrio en el desarrollo industrial de la mano del cumplimiento normativo de saneamiento básico establecido bajo los lineamientos de salud pública.

En contraposición del modelo de producción lineal, la producción más limpia permite abordar los diferentes retos presentes en los diferentes procesos de transformación; donde la investigación juega un papel muy importante a la hora de buscar nuevas tecnologías que permitan la práctica en la búsqueda de métodos de innovación. Desde el punto de vista metodológico en el desarrollo de la investigación considerando las herramientas de producción más limpia que afectarán los productos. No obstante, la producción más limpia permite una gestión ambiental, la cual encierra varios aspectos como la minimización de residuos para la prevención de la contaminación ambiental, la productividad verde a través de estrategias preventivas en la producción que permitan una innovación en la productividad y a su vez la conservación del medio ambiente y el crecimiento económico a nivel global.

El PNUMA define la producción más limpia, como la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada, en los procesos productivos, los productos y los servicios, para reducir los riesgos relevantes a los humanos y al medio ambiente. (Fajardo, 2017) En el caso de los procesos productivos se orienta hacia la conservación de materias primas y energía, la eliminación de materias primas tóxicas, y la reducción de la cantidad y toxicidad de todas las emisiones contaminantes y los desechos. En el caso de los productos se orienta hacia la reducción de los impactos negativos que acompañan el ciclo de vida del producto, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final. En los servicios se orienta hacia la incorporación de la dimensión ambiental, tanto en el diseño como en la prestación de los mismos. (PNUMA, 1999).

Figura 24. La P+L Estrategia ambiental preventiva e integrada



Fuente: elaboración propia 2023.

De acuerdo con esta conceptualización, la producción más limpia es el uso continuo de una estrategia ambiental y organizacional, de precaución, preventiva, integral y continua. La Producción más Limpia requiere actitudes distintas por parte de las organizaciones a las actuales para una Gestión Ambiental responsable en la creación de políticas nacionales adecuadas y en la evaluación de opciones tecnológicas (Sonnemann, 2000).

En este contexto, es fundamental destacar que cada empresa posee un conocimiento de sus operaciones, siendo este conocimiento especializado de vital importancia. Por ende, el éxito de la P+L dependerá en gran medida del compromiso y la promoción activa por parte de la empresa. La incorporación de conocimientos externos será útil para identificar soluciones

efectivas. Desde esta perspectiva, la Producción Más Limpia se presenta como un estímulo para nuevas ideas a través de la aportación externa. La asistencia para la autoayuda en la empresa implica seguir una metodología específica que comprende elementos clave, como se detalla en un proyecto de Producción Más Limpia, que incluye aspectos como flujo de masa, flujo de energía, costos y seguridad, entre otros. La siguiente Figura muestra los elementos que se deben considerar en un proyecto de producción más limpia:

Figura 25. Elementos de un proyecto de producción más limpia

Elementos de un Proyecto de P+L

➤ Colección de datos



➤ flujo de masa
➤ flujo de energía
➤ costos y seguridad

➤ Reflexión:

¿Dónde y por qué generamos desechos?



➤ Generación de opciones



➤ Viabilidad



➤ Implementación



➤ Control, continuación, SGA



Fuente: Tomado de PNUMA. "Manual de Producción más Limpia Un Paquete de Recursos de Capacitación". Unidad de Industria y Medio Ambiente del PNUMA en Francia. 1999.

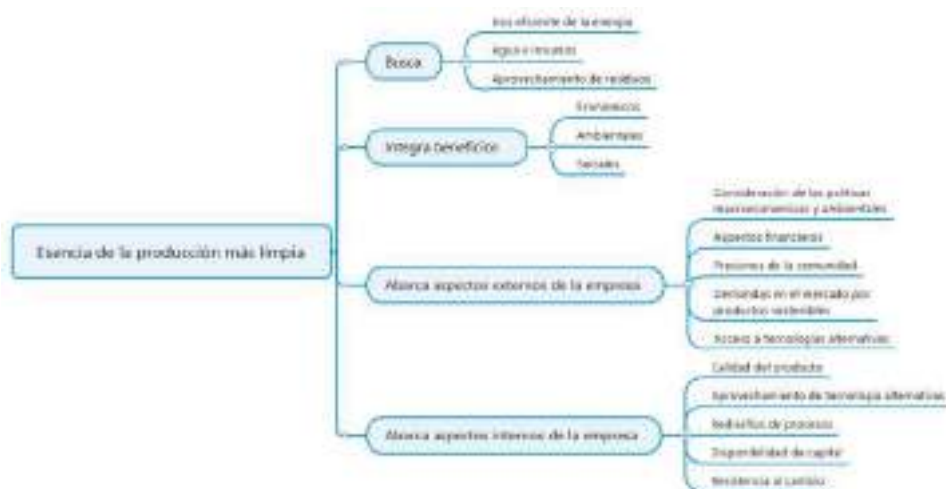
La propensión en el mundo es asumir las filosofías, conceptos, herramientas e instrumentos de Gestión Ambiental que se enfocan en el Design for Environmental (DFE), Ecology Industry (EI) y Cleaner Production (P+L) (Granada, 2005). De tal modo que el énfasis de la P+L toma un enfoque del ciclo de vida de los productos, al igual que involucra la reclasificación de los programas existentes en la industria bajo la práctica de un mejoramiento continuo.

La Producción más Limpia no se limita simplemente a la combinación de ideas, técnicas y recursos, sino que representa un enfoque completo que integra estos elementos para la concepción y ejecución de proyectos exitosos. Su objetivo primordial es mejorar la eficiencia económica, de los procesos de producción, y productos en empresas de distintos sectores, generando así ventajas tanto económicas como medioambientales para dichas organizaciones.

En el contexto de las empresas de manufactura, la producción de bienes implica la transformación de la materia prima, un proceso que conlleva la generación de residuos industriales, ruido, emisiones, consumo de electricidad, consumo de agua, vertimientos e impactos en el suelo, en el agua, atmosféricos, afectación a la biodiversidad. Esto no solo representa un uso ineficiente de los recursos, sino que también se traduce en costos de producción más elevados. Además, la gestión inadecuada de estos residuos tiene repercusiones socioeconómicas negativas, debido a los costos asociados con su tratamiento y disposición final, así como a los efectos ambientales que afectan la calidad de vida de las comunidades y su entorno (Sandoval, 2006).

La implementación de la P+L no debe considerarse un gasto, sino una inversión que genera eficiencia, productividad y ahorros económicos. Cuando se aplica de manera adecuada, la P+L conduce a la optimización de procesos, la reducción de costos, la mejora de la eficiencia operativa, la mayor calidad de los productos y la reducción de residuos (Tamayo y Vicente, 2007).

Figura 26. Esencia de la producción más limpia



Fuente: Adaptado de Autor a partir de Van Hoof, B., Monroy, N., & Saer, A. (2007). Producción más limpia: paradigma de gestión ambiental, 2023

La producción más limpia se centra en el uso eficiente de materias primas y energía, eliminando el uso de sustancias tóxicas y reduciendo la toxicidad de desechos y emisiones. En el desarrollo y diseño de productos, busca minimizar los impactos negativos durante la producción. Además, en la prestación de servicios, incorpora estrategias de diseño y entrega sostenibles. La P+L se basa en la aplicación continua de nuevas metodologías y estrategias, lo que conduce a la eficiencia operativa, ahorros de costos y mejoras ambientales, permitiendo a las empresas alcanzar sus objetivos económicos mientras reducen su huella ambiental. (Cotes, 2022).

Entre los beneficios que esta estrategia abarca se encuentran (Van Hoof et al, 2008):

- Reducción de la contaminación proveniente de la industria.
- Optimización del proceso productivo.
- Ahorro de los costos de producción mediante la reducción y uso eficiente de las materias primas e insumos.
- Mejoramiento de la eficiencia operativa.
- Mejoramiento de la calidad y consistencia de los productos debido a un mejor control de las operaciones.
- Reducción de los residuos.
- Reducción de los costos asociados a su correcta disposición.

A diferencia de los sistemas de tratamiento a final del tubo, la prevención en el origen de la contaminación puede aplicarse a las diferentes etapas del proceso productivo de la mayoría de los procesos industriales.

Además, la P+L se alinea con los objetivos de sostenibilidad al reducir el riesgo ambiental para la salud y los accidentes laborales, ahorrar materias primas, agua y energía, mejorar la imagen pública de las empresas y facilitar el cumplimiento de los requisitos ambientales (CPRAC, s/f). También contribuye a la reducción de productos fuera de especificaciones y a la optimización de los procesos y recursos (Flórez, 2002).

Figura 27. El desarrollo sostenible se materializa por medio de aspectos económicos, sociales ambientales



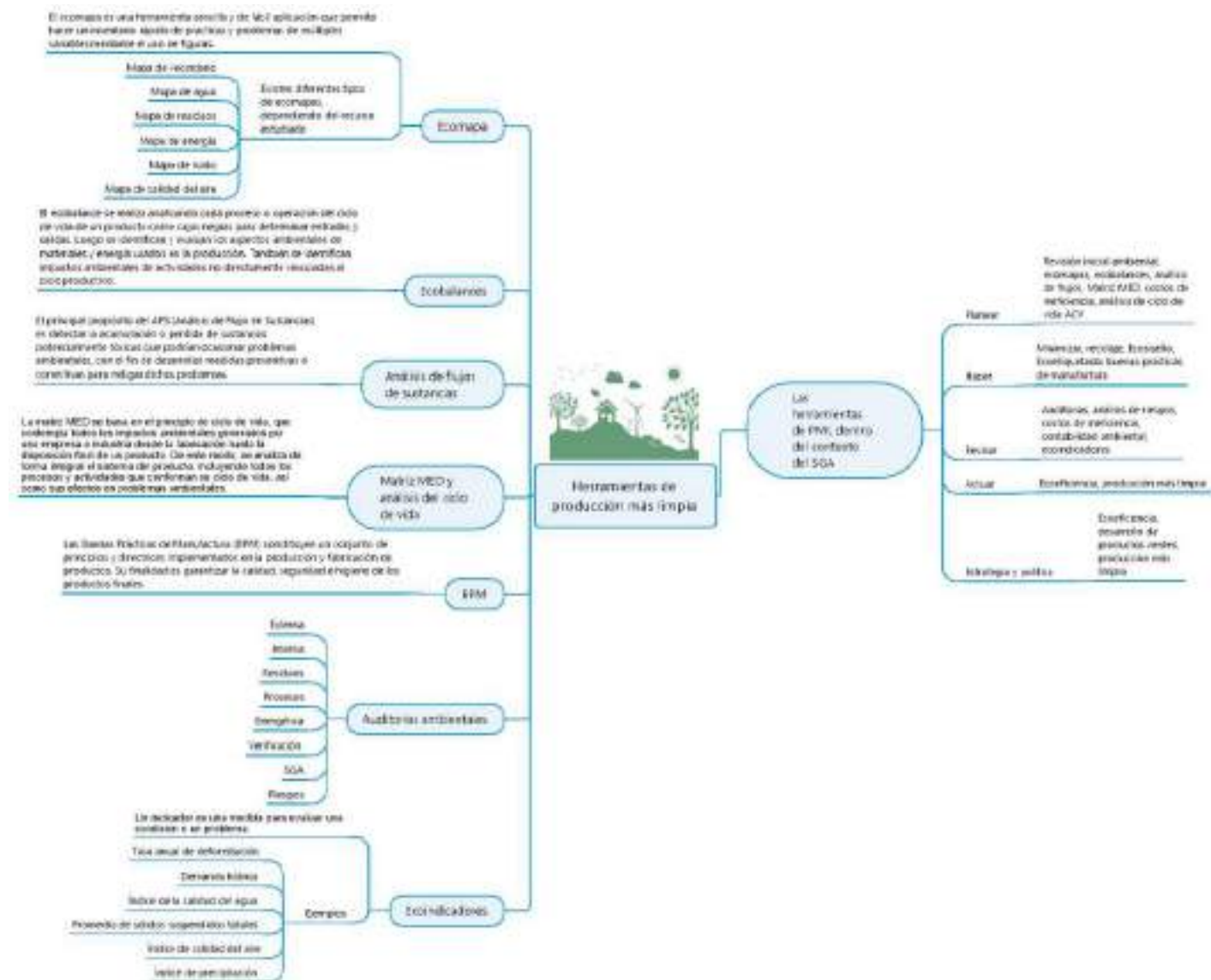
Fuente: Adaptado de Autor a partir de Van Hoof, B., Monroy, N., & Saer, A. (2007). Producción más limpia: paradigma de gestión ambiental, 2023

Finalmente, tal como lo propone Gamboa (2017) la tendencia de la eco innovación y la P+ML se puede considerar como una fuente de generación de nuevas fuentes de empleo y es planteada, principalmente, por los países que hacen parte de la OCDE como una estrategia para minimizar el impacto sobre los recursos naturales y disminuir el cambio climático.

3.1.3. HERRAMIENTAS DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA

Las herramientas de Producción más Limpia son instrumentos que permiten determinar la situación ambiental y económica de un producto o proceso, ya sea administrativo o de fabricación. A partir de su aplicación, se pueden establecer los objetivos de las medidas preventivas alternativas a implementar. Las herramientas más utilizadas son:

Figura 28. Descripción de las herramientas de P+L y posible aplicación en el SGA (Sistema de Gestión ambiental)



Fuente: Adaptado de Autor a partir de de Van Hoof, B., Monroy, N., & Saer, A. (2007). Producción más limpia: paradigma de gestión ambiental y Bernal Figueroa, A. A., Beltrán Parada, C. J., y Márquez, A. F. (2017). Producción Más Limpia: una revisión de aspectos generales.

3.2. MATRIZ COMPARATIVA

A continuación, se presenta la matriz de comparativa de las estrategias y metodologías de producción más limpia desarrolladas por las empresas.

Tabla 7. Estrategias metodológicas aplicadas según el objetivo específico propuesto

TÍTULO	RESUMEN	IMPACTOS AMBIENTALES	PROPUESTA DE P+L	INVERSIÓN
Aplicación de la metodología de producción más limpia en establecimientos del sector de preparación de alimentos: caso de estudio municipio de Soatá, Boyacá.	Este proyecto se enfoca en la aplicación de herramientas P+L en establecimientos de preparación de alimentos del municipio de Soatá, especialmente restaurantes y restaurantes de comida rápida, con el fin de lograr ahorro de energía, agua potable, minimización de residuos generados a través de buenas prácticas ambientales y educación ambiental.	En cuanto al recurso hídrico, se destacan problemas en el uso inadecuado del agua potable y la falta de manejo de aguas residuales. En el recurso terrestre, la generación de residuos sólidos, incluyendo desperdicios de comida, envases y artículos desechables, es notable. Por último, en el recurso aéreo, se señalan emisiones a la atmósfera derivadas del uso de estufas, hornos y electrodomésticos que generan calor, vapor y sustancias.	Las prácticas operativas de Producción Más Limpia (P+L) para establecimientos se centran en conservar el agua al cerrar llaves al finalizar la jornada y evitar su uso para descongelar alimentos. Se destaca la importancia de identificar y reportar fugas, limpiar con trapos secos para reducir químicos y usar agua caliente para eliminar grasa. Se recomienda utilizar cantidades recomendadas de detergentes, reportar fugas al personal de mantenimiento y proporcionar información a los clientes sobre el uso eficiente del agua. Estas medidas promueven prácticas sostenibles y eficientes en el uso del recurso hídrico.	Se llevó a cabo un diagnóstico ambiental y sanitario, incorporando datos de consumo, costos y áreas de generación de residuos en cada establecimiento. Se evaluó la viabilidad de alternativas de Producción Más Limpia (P+L) mediante el monitoreo de establecimientos de preparación de alimentos. El objetivo principal consistió en mejorar el entorno y las condiciones sanitarias, buscando una reducción porcentual en los costos de energía y agua potable mediante estrategias personalizadas para cada establecimiento. El resultado incluyó el desarrollo de directrices específicas de P+L para el sector de preparación de alimentos.
Estrategias para la Producción Más Limpia en el Sector de Cacao y Caña Panelera en el Valle del Cauca Bajo el Marco del Plan Nacional de Negocios Verdes en Colombia	El informe proporciona detalles sobre la producción más limpia en Colombia, resaltando su papel crucial en fomentar prácticas ambientales sostenibles en diversos sectores productivos. Se subraya la conexión de la producción más limpia con el Plan Nacional de Negocios Verdes, orientado a desarrollar actividades económicas respetuosas con el medio ambiente y contribuir a la conservación ambiental. El documento se centra en la importancia de la producción más limpia en Colombia, su vínculo con el Plan Nacional de Negocios Verdes y su aplicación específica en los sectores del cacao y la caña de azúcar en el Valle del Cauca.	Identifica impactos ambientales: pérdida de biodiversidad, contaminación por actividades antropogénicas, limitaciones en materias primas, disminución de productividad. Necesidad de prácticas de producción más limpia, destacando impactos en fumigación y fertilización. Cumplimiento de lineamientos para negocios verdes, sensibilización y capacitación para mejorar desempeño ambiental en asociaciones. Estos factores requieren revisar y proponer estrategias de producción más limpia en cada sector.	Implementar buenas prácticas de gestión: evitar pérdida de materias primas, minimizar residuos, ahorrar agua y energía, mejorar condiciones de trabajo y seguridad laboral. Sustituir materias primas contaminantes por alternativas menos peligrosas para reducir volumen y toxicidad de residuos. Reutilizar y reciclar subproductos para obtener valor añadido y minimizar generación de residuos. Fomentar educación ambiental y conciencia sobre producción más limpia, tanto entre empleados como en la comunidad.	Mencionan inversiones en producción más limpia, como la de Comercializadora de Maní, S.A. (Comasa) en Posoltega, Nicaragua, donde se invirtieron 9 mil dólares para sustituir luminarias por luces LED, logrando un ahorro energético del 8% anual.
Implementación de la producción más limpia como estrategia ambiental para la minimización de residuos peligrosos en la industria de empaques plásticos flexibles	Detalla la aplicación de producción más limpia en envases plásticos flexibles, buscando minimizar residuos peligrosos. Sigue un enfoque Planificar-Hacer-Verificar-Actuar, abordando seis pasos con matrices de análisis. Busca cumplir políticas ambientales, reducir impactos por segregación de materiales y recortar costos al planificar recursos. Se enfoca en prácticas operativas y técnicas de minimización, abordando coordinación interdepartamental, control de inventarios, prevención de fugas y manuales de operación. Estos esfuerzos apuntan a corregir problemas ambientales, promoviendo procesos más eficientes y sostenibles.	Menciona impactos ambientales vinculados a la generación y gestión de residuos peligrosos (RESPEL), los cuales pueden ser corrosivos, reactivos, explosivos, tóxicos, inflamables, infecciosos o radiactivos, presentando riesgos para la salud humana y el ambiente. Hace hincapié en regular las cantidades de estos residuos y en la necesidad de una gestión integral que abarque manipulación, transporte, tratamiento y disposición final.	Asegura el éxito en la implementación de la estrategia P+L mediante un diagnóstico ambiental que señala oportunidades de mejora en procedimientos industriales. Utiliza herramientas como Ecomap para visualizar riesgos de contaminación en la industria de envases de plástico flexible. Ecomaps, al determinar la situación empresarial, facilitan identificación y priorización de problemas, comunicación con partes interesadas y capacitación. Además, la Matriz FODA consolida debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas basándose en aspectos ambientales previamente descubiertos. Estos enfoques buscan optimizar procesos y minimizar consumos para lograr una implementación exitosa de la estrategia P+L.	La gestión deficiente de recursos en términos industriales, sin planificación efectiva de procesos productivos alineados con políticas ambientales, genera la producción de residuos peligrosos. Esto resulta en desafíos tanto en costos de procesamiento como en la complejidad del manejo necesario para operaciones de carga, descarga y transporte. La falta de control diferenciado en los procesos productivos agrava la situación, contribuyendo a la problemática integral.

Propuesta para obtener una ventaja competitiva en la empresa bibeq en el proceso de deshidratación de fruta mediante una estrategia de producción más limpia Caso de estudio: piña	Resalta la importancia de la producción más limpia en la actividad industrial, abordando factores tecnológicos, legales y sociales. Se centra en desarrollar procesos limpios para mitigar el impacto ambiental y mejorar la economía, productividad y seguridad en BIBEQ S.A.S. Subraya la necesidad de alternativas de procesos sin agotar recursos ni generar residuos, especialmente en la industria alimentaria. La implementación de la producción más limpia no solo mejora los procesos y la competitividad de la empresa, sino que también demuestra su compromiso continuo con la sostenibilidad ambiental.	Identifica impactos ambientales en deshidratación de frutas en BIBEQ, abarcando efluentes, residuos y emisiones. Zonas críticas como descargue, desinfección y empaque son foco para mejoras. Herramientas de Ingeniería Industrial y Ambiental impulsan un plan de acción. Destaca fuerte impacto ambiental en demanda de oxígeno y vertimientos, generando desafíos en agua y suelo.	Propone mejoras en deshidratación de frutas en BIBEQ con prácticas de producción más limpia. Incluye medidas normativas como gestión ambiental y preventivas como buenas prácticas y optimización de recursos. Recomendación evaluación económica con ROI, TIR y ROA, utilizando herramientas de Ingeniería Económica y Financiera.	El artículo no detalla inversiones específicas para las propuestas de producción más limpia en BIBEQ. Se destaca la evaluación económica, incluyendo costos y análisis de ROI, TIR y ROA. Se aplicaron herramientas de Ingeniería Económica y Financiera, y la Preparación y Evaluación de Proyectos para determinar la viabilidad de la estrategia.
Diseño de un plan de producción más limpia en la empresa Plastificamos S.A.A, Bogotá-Colombia	Aborda el impacto ambiental en la producción de Plastificamos S.A.S., una PYME de artes gráficas, por avances tecnológicos y crecimiento poblacional. Destaca la falta de medidas ambientales y propone la producción más limpia como estrategia. El estudio ambiental formuló planes de gestión para reducir impactos y mejorar el uso de recursos y residuos.	La industria gráfica enfrenta impactos ambientales como ruido, residuos y emisiones. La pre-impresión genera residuos peligrosos, y la impresión y post-impresión contribuyen con residuos de tintas, papel y emisiones. Destaca la necesidad de estrategias de producción más limpia para mitigar efectos negativos. La implementación de prácticas sostenibles es esencial.	El documento propone opciones de producción más limpia para Plastificamos S.A.S., buscando reducir impactos ambientales y mejorar desempeño, productividad y competitividad. Propuestas incluyen implementar un sistema de gestión ambiental ISO 14001, evaluación de ciclo de vida, optimización de materias primas, mejora de eficiencia energética, reducción de generación de residuos y promoción de cultura ambiental. Estas opciones buscan mejorar el desempeño ambiental y la competitividad de la empresa.	El documento no especifica inversiones de Plastificamos S.A.S. para las propuestas de producción más limpia. Destaca que las pymes enfrentan dificultades de financiamiento, limitando mejoras en desempeño ambiental. Se subraya que la inversión en gestión ambiental se percibe como gasto, destacando oportunidades de optimización y eficiencia para mejorar competitividad sin grandes inversiones. Se presentan estrategias y herramientas que pueden generar ahorros económicos y mejorar el desempeño ambiental sin grandes inversiones.
Relación entre las prácticas de producción más limpia y manufactura esbelta sobre los impactos en la gestión de operaciones.	Este documento investigativo se enfoca en la relación entre la producción más limpia y la manufactura esbelta, y su impacto en la gestión de operaciones. Se realiza una revisión bibliográfica para establecer una relación entre estas prácticas y se comparan diferentes autores encontrados en el estado del arte y en otras fuentes de información. Además, se presenta una matriz con las respuestas de tres empresas certificadas de la ciudad de Montería. El documento también destaca la importancia de implementar estas prácticas en una empresa y los beneficios que se pueden obtener al combinarlas en la gestión de operaciones. En general, el documento es una guía útil para aquellos interesados en mejorar sus habilidades en ingeniería industrial.	El documento destaca que este sector industrial causa los mayores impactos ambientales directos, incluyendo emisiones y uso excesivo de recursos, y problemas en la eliminación total de productos. Se señala que la manufactura esbelta puede tener dificultades para reducir las emisiones de CO ₂ y COV, pero las prácticas de producción más limpia pueden ser efectivas en este aspecto.	Se presenta revisión bibliográfica sobre producción más limpia y manufactura esbelta, destacando su importancia para reducir impactos ambientales. Se describen los cinco pasos de la producción más limpia, enmarcados en el ciclo PHVA, aplicables a procesos, productos y servicios en cualquier industria. La producción más limpia se considera una estrategia de competitividad al fortalecer la posición de la empresa mediante diferenciación, control de costos y eficiencia en procesos.	Este documento resalta la relación entre producción más limpia y manufactura esbelta, destacando su impacto en la gestión de operaciones y la eficiencia. Se detallan los cinco pasos de la producción más limpia y se presenta una matriz con respuestas de empresas certificadas en Montería. Su enfoque principal es proporcionar una guía útil para mejorar habilidades en ingeniería industrial, sin ofrecer información específica sobre inversiones.
Estrategias de aprovechamiento de residuos sólidos producidos por las celdas fotovoltaicas en el aprovechamiento de la energía solar en proyectos de producción más limpia en Colombia	El documento aborda estrategias para aprovechar los residuos sólidos generados por celdas fotovoltaicas en proyectos de energía solar y producción más limpia en Colombia. Comienza destacando la importancia de la energía renovable y la gestión ambiental en el país. Los objetivos incluyen describir los residuos sólidos de paneles fotovoltaicos, identificar estrategias de aprovechamiento y proponer	El documento aborda impactos ambientales de paneles solares, incluyendo residuos tóxicos, alto consumo de agua y energía, emisiones de gases de efecto invernadero y problemas sociales. Se destaca la necesidad de estrategias como producción más limpia y gestión adecuada de residuos para mitigar estos impactos.	El documento sugiere estrategias de producción más limpia para paneles solares, como eficiencia en el uso del agua, energía renovable, gestión de residuos y diseño para reciclaje. Estas medidas buscan reducir impactos ambientales y sociales en la producción y uso de paneles solares.	El documento destaca inversiones notables, como parques solares por el Grupo Ecopetrol con \$1,3 billones en 2021. Aunque no detalla inversiones en proyectos solares, se centra en estrategias para aprovechar residuos de paneles y promover prácticas más limpias.

	alternativas viables para implementar en proyectos colombianos. Se detalla la composición de los paneles solares, tipos y componentes, así como la clasificación de los residuos. Además, se sugieren estrategias basadas en principios de producción más limpia. El texto concluye analizando el impacto de estas estrategias en la gestión ambiental y la energía renovable en Colombia, proporcionando recomendaciones para futuras investigaciones y proyectos en este ámbito.			
Joyería artesanal en oro. Producción más limpia	El documento examina los aspectos e impactos de la producción de joyas de oro en Colombia, centrándose en la joyería artesanal. A través de una revisión de literatura y una indagación, los autores exploran los procesos desde la extracción del metal hasta la fabricación de los productos, destacando las consecuencias ambientales a lo largo de la cadena productiva. A pesar de la disminución en la demanda debido a los altos precios, el artículo resalta el alto valor económico del oro como joyería. Los autores subrayan la importancia de comprender y abordar los aspectos e impactos ambientales asociados con la producción de joyas de oro.	El documento destaca impactos ambientales en la producción de joyas de oro, enfocándose en riesgos asociados al proceso de refinación con ácido nítrico y peligros de lesiones por exposición al calor. Aboga por investigar el ciclo de vida completo y desarrollar estrategias para eliminar sustancias tóxicas.	El documento sugiere estrategias para una producción más limpia en la fabricación de joyas de oro: uso de oro reciclado para reducir la explotación de recursos, certificación Fairmined para trazabilidad y pagos justos, prácticas de producción más limpia, educación y concientización, y colaboración e investigación para innovar tecnologías sostenibles.	El documento no detalla inversiones específicas para abordar los impactos ambientales en la producción de joyas de oro. Aunque destaca el uso de oro reciclado y prácticas de comercio justo, no proporciona información detallada sobre inversiones o iniciativas específicas para mitigar los impactos ambientales en este sector.
Estrategias de Mejoramiento Ambiental con Énfasis en Producción más Limpia (PML) para los Procesos Priorizados por la Empresa Coldsivos SAS	Este documento es un informe que se enfoca en estrategias de mejora ambiental, específicamente en la implementación de la producción más limpia, para la empresa COLDENSIVOS S.A.S. El estudio establece objetivos para identificar y cuantificar los residuos no aprovechables generados por la empresa, realizando un diagnóstico ambiental de los procesos de elaboración de adhesivos. Se proponen estrategias de mejora con el objetivo de elevar el rendimiento ambiental de la compañía. La metodología empleada combina enfoques cuantitativos y cualitativos para proporcionar una visión integral. El informe concluye que, aunque la empresa demuestra un buen manejo ambiental en general, se requiere atención a los detalles para lograr mejoras y una implementación más efectiva de prácticas de producción más limpia en toda la organización. Se destaca que, a pesar de que la cantidad de residuos generados es considerable, la mayoría de estos se encuentra en buenas condiciones, aunque no cumplen con los estándares de calidad establecidos.	El documento destaca que en COLDENSIVOS S.A.S., la generación de residuos sólidos, emisiones contaminantes y el uso ineficiente del agua son impactos ambientales clave. Resalta la necesidad de implementar prácticas de producción más limpia para equilibrar la preservación ambiental con el desarrollo económico de la empresa.	El informe destaca estrategias de producción más limpia para COLDENSIVOS S.A.S., como la clasificación de residuos, sistema de gestión ambiental, reducción de agua y energía, reutilización y reciclaje, elección de materiales ecológicos y capacitación del personal. Enfatiza la necesidad de seguimiento y evaluación continuos para medir la eficacia y realizar ajustes.	El informe no detalla inversiones específicas para las estrategias de producción más limpia en COLDENSIVOS S.A.S. Se destaca que la implementación no requiere grandes inversiones y puede lograrse mediante ajustes en procesos existentes. Además, resalta ahorros potenciales y la reducción de riesgos ambientales y de salud.
Estrategias para el manejo de subproductos derivados de la producción de panela bajo un enfoque de producción	Este estudio investigativo se centra en la gestión de subproductos derivados de la producción de panela en la vereda Aguacatal, municipio de Neira, Caldas. Su objetivo es desarrollar estrategias orientadas a la conservación	El texto destaca que la producción de panela genera subproductos desafiantes como aguas mieles y cenizas, que requieren una gestión adecuada para evitar la contaminación. Examina los impactos	El documento propone estrategias de producción más limpia en la vereda Aguacatal para gestionar subproductos de la producción de panela. Incluye prácticas eficientes, optimización de recursos,	El documento no especifica las inversiones para la producción más limpia en la vereda Aguacatal. Sin embargo, resalta beneficios como optimización de recursos, eficiencia operativa, mejora de la calidad de

más limpia en la vereda Aguacatal municipio Neira Caldas.	ambiental a través de un plan de manejo ambiental para estos subproductos, utilizando enfoques de producción limpia. El trabajo se estructura en tres fases: caracterización de subproductos, diseño del plan de manejo ambiental e implementación de las estrategias sugeridas. Se anticipa que las estrategias propuestas contribuirán positivamente a la sostenibilidad ambiental y económica de la producción de panela en la región.	ambientales asociados con la transformación de la caña de azúcar, focalizándose en la contaminación de ecosistemas acuáticos y suelo. Incluye una tabla de evaluación basada en Producción Más Limpia (P+L) para medir los impactos.	mejora operativa, control adecuado y reducción de subproductos, como aguas mieles y cenizas. Destaca la caracterización de subproductos en trapiches, proponiendo alternativas para mitigar impactos ambientales y crear oportunidades de sostenibilidad mediante la reintegración en cultivos. En resumen, promueve la producción más limpia y la economía circular para un manejo ambiental adecuado.	productos y reducción de subproductos. La implementación de buenas prácticas podría reducir un 40-50% de subproductos, ofreciendo sostenibilidad al reintegrarlos en cultivos. En resumen, se anticipa un impacto positivo en la sostenibilidad ambiental y económica de la producción de panela en la región.
Estudio de caso de producción más limpia de la Empresa Concentrados Cauca, ubicada en El Tambo, Colombia	Este artículo se enfoca en mejorar los procesos de producción en la empresa Concentrados Cauca, situada en El Tambo, Colombia. El propósito principal es aplicar estrategias de Producción Más Limpia para lograr un desarrollo sostenible tanto para la organización como para el municipio y la comunidad en general. La Producción Más Limpia consiste en implementar prácticas ambientales en los procesos de producción con el objetivo de aumentar la eficiencia y reducir los riesgos para la salud humana y el medio ambiente. El documento resalta la importancia de gestionar adecuadamente los residuos, capacitar a los empleados en su manejo y utilizar eficientemente recursos como el agua y la energía. Además, se subraya la necesidad de cumplir con las normativas sanitarias para evitar el cierre de las instalaciones de Concentrados Cauca.	El artículo destaca la urgencia de reducir la contaminación generada por las operaciones de Concentrados Cauca. Además, resalta la importancia de analizar y gestionar de manera efectiva los residuos sólidos y líquidos, así como la necesidad de abordar los posibles efectos adversos en los sistemas ambientales.	El Plan de Producción más Limpia para Concentrados Cauca busca optimizar procesos y procedimientos. Incluye acciones como el uso eficiente de recursos, apagar maquinaria para ahorrar energía y capacitar a los trabajadores en la clasificación de residuos. Se propone la instalación de canecas clasificadas para cumplir con la normativa colombiana sobre reciclaje.	Concentrados Cauca tiene la opción de invertir capital en mejoras ambientales, gestión de residuos y formación del personal. Se espera que esta inversión genere beneficios a largo plazo, aunque el documento no detalla las inversiones específicas realizadas por la empresa.
Diseño de un plan de producción más limpia para mejorar los procesos de fabricación de ladrillo en la Empresa Cerámicos Cajamarca	El documento propone un plan destinado a mejorar de manera sostenible los procesos de fabricación de ladrillos, con el objetivo de reducir el impacto ambiental de la empresa. Este plan se fundamenta en la producción más limpia, una estrategia que busca minimizar los residuos y aumentar la eficiencia en la producción. Se destaca la relevancia de la producción más limpia en la actualidad, considerando la creciente preocupación por el medio ambiente y el cambio climático. El documento detalla el proceso de investigación utilizado para concebir el plan de producción más limpia, describiendo los métodos y técnicas aplicados. Además, se presentan los resultados de la investigación, que incluyen la identificación de los principales problemas ambientales en la empresa y las recomendaciones para mejorar los procesos de producción.	Cerámicos Cajamarca S.R.L. enfrenta impactos ambientales negativos, incluyendo el excesivo uso de recursos y la generación de residuos y emisiones contaminantes. El documento destaca la urgencia de adoptar prácticas más sostenibles para mitigar estos impactos y mejorar el rendimiento ambiental de la empresa.	Cerámicos Cajamarca S.R.L. busca mejorar sus procesos de fabricación de ladrillos mediante estrategias de producción más limpia. Las propuestas incluyen la implementación de un sistema de gestión ambiental, la optimización del uso de recursos y la reducción de residuos y emisiones, siguiendo la metodología de producción más limpia para minimizar impactos ambientales.	El documento no proporciona detalles sobre inversiones específicas en la implementación de estrategias de producción más limpia en Cerámicos Cajamarca S.R.L. No obstante, destaca medidas como la optimización de recursos y la minimización de residuos para reducir costos y mejorar la eficiencia en la producción, promoviendo prácticas sostenibles.
Análisis de producción sustentable para la empresa lácteos Buena Vista	El documento constituye un análisis de producción sostenible centrado en mejorar la producción de cuajada en la empresa Lácteos Buena Vista. Se abordan aspectos cruciales como la importancia	El informe destaca diversos impactos ambientales en la producción de queso, como el excesivo consumo de agua, elevados consumos de energía debido a deficiencias operativas, emisiones atmosféricas y generación de	El documento propone medidas de producción más limpia para mejorar la eficiencia energética en la fabricación de cuajada. Incluye ajuste y control de equipos, actualización tecnológica de compresores,	El texto no proporciona detalles sobre inversiones específicas para la producción más limpia en Lácteos Buena Vista. Aunque destaca que no se requieren inversiones elevadas, menciona medidas

	de utilizar de manera responsable los recursos naturales y preservar el medio ambiente en el sector alimentario, así como la creciente conciencia ecológica entre los consumidores. Se emplean normas y regulaciones específicas para realizar un análisis eléctrico, identificando oportunidades de mejora en el proceso de producción de cuajada. Estas mejoras incluyen el control y ajuste de los equipos de refrigeración y generación de vapor, la actualización tecnológica de los compresores del sistema de refrigeración, y la implementación de sistemas de control. El objetivo principal es alcanzar una producción más limpia, sostenible y eficiente en términos energéticos, así como reducir la generación de residuos.	residuos líquidos. Además, se señala la utilización inadecuada del suero de leche, generando impactos negativos en el entorno y las comunidades locales.	sistemas de supervisión de consumo de energía y agua, prácticas preventivas de limpieza y mantenimiento, y aprovechamiento del suero de leche. Además, sugiere implementar prácticas de gestión ambiental para establecer procesos más sostenibles.	de bajo costo como el ajuste de equipos, prácticas de limpieza y sistemas de control para lograr ahorros significativos en energía y agua.
Implementación del programa de producción más limpia, orden y aseo en CALZADO KONDOR LTDA Antioquia – Colombia	El documento aborda un programa de producción más limpia aplicado en la empresa de Calzado Kongor Ltda, la cual adopta un enfoque en cumplir las normativas ambientales, introdujeron planes integrales para la gestión de residuos y conservación del agua. Estas iniciativas resultaron en reducciones notables en el consumo de energía y agua por par de zapatos. La empresa ha fortalecido su compromiso ambiental a nivel operativo y organizacional, incorporando aspectos ambientales en las actividades diarias y adoptando tecnologías para una producción más limpia. Además, han lanzado un programa de “Producción más Limpia” que ha generado resultados positivos. La compañía también ha lanzado un plan específico para la conservación del agua, considerando las medidas de salud de los empleados. En resumen, Calzado Kongor Ltda busca mejorar la seguridad y el bienestar de los trabajadores, al mismo tiempo que minimiza su impacto ambiental.	El artículo describe la implementación exitosa del programa de producción más limpia en Calzado Kongor Ltda. Destaca la reducción significativa del consumo de energía y agua por par de zapatos, con reducciones del 6,72% y 13,17%, respectivamente, comparado con 2009. Además, se optimizaron materias primas mediante ajustes en el proceso, disminuyendo residuos peligrosos, y se mejoró la gestión de residuos químicos para un impacto ambiental positivo.	El artículo analiza propuestas de producción más limpia y eficiente, como la instalación de tejas traslúcidas, el uso de lámparas eficientes, accesorios ahorradores de agua, un plan de gestión de residuos y la selección de proveedores basada en criterios económicos y ambientales. Estas medidas buscan reducir el impacto ambiental y mejorar la eficiencia, logrando notables reducciones en el consumo de energía y agua por par de zapatos.	El artículo destaca inversiones clave, como el Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos (PMIRS), la instalación de tejas traslúcidas para aprovechar la luz natural, el reemplazo de lámparas fluorescentes T-12 por opciones más eficientes (T-8 y T-5), y la incorporación de accesorios ahorradores de agua en las instalaciones de fontanería.
Estrategias de producción más limpia –PML: caso aplicado a la industria de curtiembre	El documento aborda las estrategias de producción más limpia, resaltando su relevancia en la industria. Se exploran los beneficios tanto ambientales como económicos asociados con la implementación de estas prácticas, además de abordar los desafíos que las empresas enfrentan al adoptarlas. Se incluyen estudios de casos y se analizan las implicaciones de la tecnología utilizada en los procesos de producción. En términos generales, el documento enfatiza la importancia de la producción más limpia como una vía para mitigar el impacto ambiental de la industria y mejorar su eficiencia económica.	El artículo destaca impactos ambientales en la industria, incluyendo emisiones de gases de efecto invernadero, contaminación del aire y agua, generación de residuos peligrosos y degradación del suelo. Se resalta la significativa huella ambiental del proceso de curtido en la producción de cuero, enfatizando la necesidad de adoptar la producción más limpia como estrategia para mitigar estos impactos y avanzar hacia la sostenibilidad en la industria.	El documento propone diversas estrategias para reducir el impacto ambiental industrial, como la eficiencia en el uso de energía y agua, la elección de materiales menos tóxicos, sistemas de gestión ambiental y tecnologías más limpias. Se resalta la implementación exitosa de estas estrategias a través de estudios de casos, evidenciando beneficios económicos y ambientales derivados de su adopción.	El documento no especifica las inversiones concretas en prácticas de producción más limpia. No obstante, subraya la importancia de evaluar costos y beneficios económicos al invertir en estas prácticas. Se destaca que, aunque puede haber costos iniciales, a largo plazo, estas inversiones pueden generar ahorros significativos y mejorar la eficiencia. Además, se resalta cómo estas prácticas pueden elevar la reputación y competitividad de la empresa.

Priorización de oportunidades de producción más limpia enfocadas en aumentar la eficiencia del proceso productivo en una Empresa del sector metalmeccánico, ubicada en Tocancipá, Cundinamarca para mejorar su desempeño ambiental.	Este trabajo se centra en desarrollar una propuesta de Producción más Limpia adaptada a las necesidades de una empresa metalmeccánica específica. A través de una metodología paso a paso, se evaluaron la viabilidad técnica, económica y ambiental de la propuesta, proporcionando la información necesaria para su posible implementación. Los resultados destacan que el proceso de bandas para freno es el punto más crítico de la empresa, con una eficiencia del 79%. Se propone la adopción de un nuevo sistema de rectificado para mejorar la eficiencia al simplificar dos etapas del proceso en una, lo que resulta en una reducción del 8% en todos los consumos de agua, energía, materia prima y otros recursos asociados con el proceso.	Aunque no detalla riesgos ambientales específicos, el documento destaca la preocupación por la excesiva utilización de recursos naturales en la industria, generando contaminación y residuos. Se enfatiza la necesidad de reducir estos impactos y mejorar la eficiencia del proceso productivo para preservar el medio ambiente.	El documento presenta propuestas específicas de producción más limpia para mejorar la eficiencia de un proceso en el área de producción. Se sugiere adoptar tecnología de rectificado más eficiente, implementar un sistema de recirculación y filtración en el enjuague, instalar turbinas mejoradas para el proceso de granallado y adoptar un sistema cerrado de desengrase con bomba de microfiltración y separador de gases. Estas propuestas buscan minimizar impactos ambientales y promover la sostenibilidad operativa.	El documento no proporciona detalles específicos sobre las inversiones realizadas por la empresa metalmeccánica, pero destaca que la propuesta de producción más limpia busca reducir costos. Se llevaron a cabo evaluaciones de alternativas para mejorar la eficiencia del proceso productivo, considerando la tasa de retorno de la inversión y el valor presente neto (VPN). La inversión necesaria es de 19.292.932 millones de pesos colombianos, y la empresa recupera dicha inversión en un periodo de 4 años, considerado relativamente corto. En resumen, se enfatiza la importancia de la viabilidad financiera de la propuesta, incluyendo la inversión y el periodo de recuperación.
Alternativas de producción más limpia en calidad del aire para el sector alfarero, Sogamoso (Boyacá)	Este artículo aborda las alternativas de producción más limpia para el sector alfarero en la Vereda Pantanitos, Sogamoso, Boyacá. A través de entrevistas y encuestas a propietarios de 56 hornos, se recopiló información sobre diversos aspectos del proceso productivo y se identificaron estrategias de producción más limpia. Las estrategias incluyen gestión tecnológica, autogestión ambiental, beneficios tributarios y líneas de financiamiento. Se priorizaron estas estrategias mediante un método participativo. En resumen, se destaca que la implementación de estas alternativas puede reducir los riesgos ambientales y para la salud en la producción alfarera.	El artículo destaca que la producción alfarera en la Vereda Pantanitos, Sogamoso, Boyacá, ocasiona emisiones contaminantes durante la combustión, como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOX), partículas sólidas (PM10) y compuestos orgánicos volátiles (VOC), los cuales contribuyen al efecto invernadero y al cambio climático. Además, se señala que los residuos industriales pueden causar perjuicios en organismos. En resumen, la producción alfarera en esta área tiene impactos negativos en la calidad del aire y representa riesgos ambientales.	El artículo presenta estrategias de producción más limpia para el sector alfarero en Sogamoso, Boyacá. Incluye propuestas como la adopción de tecnologías eficientes, autogestión ambiental con la adecuada disposición de residuos y medidas de seguridad, beneficios tributarios para empresas sostenibles, y la creación de líneas de financiamiento. Además, se evalúan ventajas y desventajas de cada estrategia, priorizándolas mediante una matriz de análisis.	El artículo no detalla inversiones específicas en el sector alfarero de la Vereda Pantanitos en Sogamoso, Boyacá. En su lugar, presenta propuestas de estrategias y opciones de producción más limpia para el sector, abordando aspectos como la gestión tecnológica, la autogestión ambiental, beneficios tributarios y líneas de financiamiento que podrían ser aplicadas.
Diseñar estrategias de producción más limpia a partir de la guía ambiental de la industria láctea para la Empresa Lácteos San Angel, ubicada en el municipio de Cumbal - Nariño.	El proyecto se enfoca en la adecuación y aplicación de la guía ambiental para la empresa Lácteos San Angel en Cumbal, Nariño, con el objetivo de mitigar los impactos ambientales asociados a los procesos industriales del sector lácteo. Se realizó un diagnóstico detallado de la empresa, evaluando licencias, permisos, manejo de recursos y residuos, así como los impactos ambientales generados. La empresa procesa 4000 litros diarios de leche para obtener queso y mantequilla, contando con permisos y una planta de tratamiento de aguas residuales. Se analizaron estrategias de producción más limpia basadas en la Guía Ambiental para el Sector Lácteo, y se diseñó un plan de acción para fomentar prácticas ambientales preventivas y procesos de producción más limpios, con un enfoque en el uso eficiente del agua y la energía.	El estudio en Lácteos San Angel identificó impactos ambientales significativos, como residuos sólidos, residuos industriales, emisiones atmosféricas y aguas residuales derivados del proceso de elaboración de queso. Los procesos de pasteurización, lavado, almacenamiento y estandarización se identificaron como los más perjudiciales. Además, se señalan riesgos para la salud y seguridad de los empleados. El estudio recomienda la implementación de prácticas de producción más limpia para mitigar estos impactos y mejorar la gestión ambiental de la empresa.	El estudio propone diversas estrategias para implementar prácticas de producción más limpia en Lácteos San Angel, incluyendo la reducción del consumo de agua y energía, el establecimiento de un sistema de gestión ambiental, la utilización de tecnologías más eficientes, el reciclaje de residuos y la formación del personal. Estas medidas buscan disminuir los impactos ambientales de la empresa y mejorar su desempeño en términos ambientales.	En lo que respecta a las inversiones realizadas, el informe no detalla específicamente las inversiones específicas llevadas a cabo por Lácteos San Angel para adoptar prácticas de producción más limpia. No obstante, se señala que la ejecución de un programa destinado al ahorro y uso eficiente del agua implica un costo total de \$10.800.000. Asimismo, se resalta la posibilidad de que la implementación de prácticas más sostenibles tenga el potencial de reducir los costos operativos de la empresa y fortalecer su posición competitiva.

Diseño de un Programa de Producción más Limpia Para Mitigar el Impacto Ambiental en la Empresa JD Cueros Bucaramanga, Santander	En este trabajo, se busca crear un programa de producción más sostenible para JD Cueros en Bucaramanga, Santander, utilizando una metodología cualitativa y cuantitativa que implica observación, verificación de hipótesis y análisis de datos. El objetivo es reducir el impacto ambiental de la empresa. Los resultados incluyen un análisis de ciclo de vida que destaca el alto consumo de agua en las cortinas y la presencia de químicos perjudiciales en los efluentes líquidos. Se proponen indicadores de seguimiento y estrategias para mitigar el impacto ambiental y reducir costos, sujetos a evaluación y mejora continua.	El documento identifica diversos impactos ambientales en JD Cueros, como la emisión de sulfuros y compuestos orgánicos volátiles causantes de malos olores, la liberación de amoníaco y vapores de solventes, y las descargas líquidas que afectan la calidad del agua. También resalta el alto consumo de agua y energía en la etapa de curtido, la generación de residuos tóxicos y la emisión de gases de efecto invernadero.	El documento propone diversas estrategias para hacer más sostenibles las operaciones de curtiembre en JD Cueros, incluyendo la instalación de un sistema de tratamiento de aguas residuales, la adopción de tecnologías más limpias, la reducción del consumo de agua y energía, la reutilización de residuos orgánicos para la generación de biogás, y la implementación de un sistema de gestión ambiental. Estas propuestas buscan disminuir el impacto ambiental asociado con la producción de cuero.	El documento indica que la estimación de la inversión requerida para llevar a cabo las estrategias de producción más sostenible se encuentra incorporada en los indicadores de “Gastos de administración” y “Gastos de venta”. No obstante, no se detalla un monto específico para dicha proyección de inversión.
Planteamiento de estrategias de sostenibilidad para mitigar el impacto ambiental de la industria textil en Colombia	Este trabajo se enfoca en la implementación de buenas prácticas de manufactura, específicamente en los procesos de prelavado, por parte de las empresas textiles en Colombia, siguiendo las directrices de producción más limpia de FUNDES. El objetivo principal es proponer acciones sostenibles para mitigar el impacto ambiental de la industria textil en el país. La investigación aborda la descripción de los programas de control ambiental existentes en la industria textil colombiana y examina los antecedentes relacionados con el reciclaje textil. Los resultados destacan la complejidad de la industria textil, que utiliza mezclas de fibras naturales y sintéticas, dificultando la separación y reciclaje al finalizar la vida útil de las prendas y generando grandes cantidades de residuos sólidos. Ante estos impactos significativos, se proponen estrategias como la implementación de programas integrales de manejo de residuos sólidos, prácticas de uso eficiente de agua y energía en el ámbito textil del país, y la adhesión a las acciones de control ambiental conforme a la normativa vigente.	La industria textil enfrenta problemas ambientales, como descargas de aguas residuales, emisiones atmosféricas, contaminación acústica y residuos sólidos. La utilización de productos químicos, especialmente tintes sintéticos con metales pesados tóxicos, contribuye significativamente a estos impactos. Se sugiere que la adopción de estrategias sostenibles podría mitigar los efectos negativos al reducir el consumo de agua, energía y la generación de residuos sólidos, destacando estos como impactos ambientales generados por la industria textil.	El informe destaca estrategias para mejorar el rendimiento ambiental de la industria textil en Colombia, como identificación de aspectos ambientales, optimización del uso del agua y eficiencia energética. Destaca el uso generalizado de prácticas de producción más limpia, especialmente en pymes, logrando reducciones significativas en consumo de recursos sin comprometer la calidad del producto.	El informe no ofrece detalles sobre inversiones específicas para la producción más limpia en la industria textil colombiana. Destaca la importancia de políticas para reducir consumo de recursos y respaldar innovaciones tecnológicas. Aunque menciona la adopción de prácticas sostenibles en prelavado, no especifica inversiones.
Estrategias didácticas para mitigar el impacto ambiental generado por la quema de llantas en desuso como combustible fósil en los trapiches paneleros de la vereda San Isidro del municipio de Ricaurte-Nariño Colombia	El documento destaca que la producción de panela en la vereda San Isidro, municipio de Ricaurte, Colombia, ha generado impactos ambientales negativos debido a la quema de llantas, leña y plástico en los trapiches paneleros. Estos materiales se utilizan como combustible para evaporar el jugo de caña, y la combustión produce humo negro, conocido como hollín, que contribuye a la contaminación ambiental. El trabajo actual busca reducir estos impactos mediante estrategias de producción más limpia, como la creación de un manual de buenas prácticas de manufactura (MBPM), según lo propuesto por Vanegas C (2016). Este manual aborda la producción de panela, los materiales	El uso inadecuado de combustibles fósiles en los trapiches paneleros de la vereda San Isidro en Ricaurte, como la quema de llantas, genera emisiones de humo que afectan la calidad del aire y la salud. El proceso de producción de panela también puede provocar contaminación del suelo y del agua.	Una estrategia propuesta para abordar el impacto ambiental de la quema de llantas en los trapiches paneleros es la creación de un Manual de Buenas Prácticas de Manufactura (MBPM), que abarca aspectos del desarrollo sostenible. Incluye información sobre la elaboración de la panela, materiales de combustión, normas sanitarias y bioseguridad para mejorar la seguridad, reducir la contaminación y preservar la salud. Además, se sugiere la capacitación de propietarios y productores sobre los efectos negativos y la construcción de un cerco ambiental con llantas.	Aunque el documento no detalla inversiones específicas, resalta que la infraestructura térmica en trapiches paneleros es ambientalmente deficiente, sugiriendo posibles necesidades de inversión para mejorar la eficiencia y reducir el impacto ambiental. Se indica que consideraciones económicas podrían influir en la elección de materiales y prácticas, como el uso de llantas, caucho y plástico, en el proceso de evaporación del jugo de caña.

	utilizados en la combustión, normas de bioseguridad y sanitarias, con el objetivo de garantizar la seguridad de los operarios, reducir la contaminación ambiental y salvaguardar la salud de la comunidad local. El enfoque es implementar prácticas más limpias y sostenibles en el proceso de producción de panela.			
Análisis de la utilización de estrategias de producción más limpia y adaptación de un sistema de indicadores de manejo ambiental en las empresas del clúster textil confecciones del Tolima	La investigación se enfocó en analizar la implementación de estrategias de producción más limpia y adaptar un sistema de indicadores ambientales en las empresas del Clúster Textil Confecciones del Tolima, Colombia. La metodología utilizada fue descriptiva cuantitativa, a 135 empresas, con cuatro dedicadas a tintorería y estampado. Tras el análisis estadístico, se trabajó con una muestra de 91 empresas, recopilando datos mediante encuestas para evaluar la aplicación de prácticas de producción más limpia. Se diseñó un sistema de indicadores con una escala de valoración para medir el conocimiento y aplicación de la producción más limpia, la gestión de residuos sólidos, el uso del agua, el control del aire y la integración del sistema en cada empresa. Las conclusiones principales resaltan el desconocimiento por parte de las empresas sobre los conceptos y la importancia de la producción limpia en sus lugares de trabajo, además de un bajo uso del agua en los procesos industriales analizados.	La investigación revela que las empresas textiles en Colombia carecen de conocimiento sobre la producción más limpia. Se destaca la limitada utilización del agua en los procesos industriales. La gestión de residuos sólidos es percibida como el principal problema ambiental (91%), seguido por el ruido, la contaminación del agua, el manejo de aguas residuales y la contaminación del aire. El documento aboga por medidas para reducir el impacto ambiental en la industria textil colombiana.	La implementación de prácticas de producción limpia en el sector textil se enfoca en la gestión responsable de recursos como agua, insumos y energía. Se destaca la reutilización y reciclaje de materiales en el lugar de generación de residuos para garantizar un proceso eficiente y sostenible. El compromiso con la sostenibilidad implica asumir costos adicionales para mejorar continuamente. Estrategias incluyen mantener bajos niveles de contaminación del agua y del aire, reflejando un claro compromiso con el respeto al medio ambiente. Este enfoque profundo impulsa a las empresas a contribuir positivamente al entorno.	La investigación señala que el 63% de los empresarios encuestados se muestra dispuesto a adoptar procesos de producción más limpia, incluso mediante la inversión de recursos propios. Sin embargo, la falta de información detallada en el documento deja sin claridad las inversiones específicas que se están llevando a cabo en el sector textil colombiano con el propósito de implementar prácticas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.
Estrategias de producción limpia para las empresas cerámicas con tecnología Horno Túnel en el área metropolitana de Cúcuta	Esta investigación se centra en analizar la implementación de la estrategia preventiva de Producción Más Limpia como una opción para el desarrollo sostenible de empresas cerámicas que utilizan la tecnología de Horno Túnel en el área metropolitana de Cúcuta, Norte de Santander, específicamente Tejar los Vados y Zuligres. Se reconoce la preocupación por el deterioro de la vegetación, la disminución de los recursos hídricos, la contaminación del aire y la devaluación de la tierra en las zonas circundantes a estas empresas. El proyecto implica la observación detallada del proceso de producción y la evaluación de los residuos generados. Posteriormente, se llevará a cabo la implementación de la producción más limpia para estructurar un plan de mejora. El objetivo final es medir los ahorros y mejoras de las empresas a lo largo del tiempo, buscando contribuir tanto a la sostenibilidad ambiental como al cumplimiento de las regulaciones ambientales establecidas en la ciudad y el país.	La Producción Más Limpia (P+L) busca reducir los riesgos ambientales y para la salud en la industria cerámica de Norte de Santander. El estudio destaca la necesidad de implementar P+L, especialmente en la cocción de arcilla, donde hay limitaciones normativas. La emisión de sonido y gases de efecto invernadero durante la conversión de arcilla genera considerables impactos ambientales. Aunque la extracción y procesamiento de arcilla y la cocción en hornos afectan el paisaje, la implementación de técnicas de P+L puede mitigar estos impactos y mejorar la gestión ambiental.	El proyecto se enfoca en proponer estrategias de Producción Más Limpia para Tejar Arcillas Zuligres y Tejar los Vados, empresas cerámicas en Cúcuta. Se evalúa la contaminación generada y sus impactos en recursos hídricos, medio ambiente y personas. Las estrategias propuestas incluyen gestión de residuos sólidos, manejo eficiente del agua, uso racional de la energía y un programa de Cero Papel, buscando prácticas más sostenibles y reduciendo impactos ambientales.	La empresa ha establecido un plan estratégico de inversión para implementar nuevas tecnologías este año, demostrando su compromiso con la innovación y la actualización tecnológica. Busca mejorar la eficiencia operativa y potenciar la competitividad en un entorno empresarial dinámico. Este enfoque refleja la visión a largo plazo de la empresa, orientada al crecimiento sostenible y al éxito continuo en el mercado.

Diseño de un programa de producción más limpia para el mejoramiento de los procesos productivos de la Empresa C.V.P Ingeniería Ltda de la ciudad de Cartagena.	Este proyecto de investigación y aplicación tiene como objetivo diseñar estrategias de producción más limpia para la empresa CVP INGENIERIA LTDA, que opera en el sector de la construcción. Los desechos, en esencia, son materiales y materias primas que han sido adquiridas a costos significativos durante el proceso y que no han sido convertidos en productos finales ni en insumos para otros procesos de producción. Desde esta perspectiva, la Producción Más Limpia se define como la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integrada en los procesos, productos y servicios, con el objetivo de mejorar la eficiencia de las empresas y reducir los riesgos para el medio ambiente y las personas, dentro del marco de la ecoeficiencia. Dadas las circunstancias actuales, es crucial que las empresas, especialmente las del sector de la construcción, implementen herramientas de gestión ambiental como la Producción Más Limpia, el Análisis de Ciclo de Vida del Producto, la Auditoría Ambiental, entre otras.	Tras analizar los diagnósticos, se identifican varios impactos ambientales en CVP INGENIERIA LTDA. Estos incluyen contaminación ambiental por emisiones, afectando la salud interna y comunidades circundantes. La carencia de gestión de residuos sólidos podría afectar tanto el entorno laboral como las comunidades vecinas. La falta de control sobre agua y energía contribuye al desperdicio. La gestión tecnológica desactualizada y la falta de capacitación ambiental son preocupantes.	La empresa se propone realizar un diagnóstico del consumo energético, implementar tecnologías para un uso eficiente de la energía y reducir el consumo en un 5%. Además, se busca capacitar al 100% del personal en prácticas sostenibles y uso racional de la energía.	La implementación del modelo de Producción Más Limpia (P+L) en CVP INGENIERIA LTDA implica asignar recursos económicos para el manejo de residuos sólidos, uso eficiente del agua y energía. Se proponen actividades específicas, como la gestión de alianzas con proveedores y campañas de recolección de residuos. Se estima que el programa P+L podría generar ingresos no operacionales de \$5,852,744.00, contribuyendo a la recuperación de la inversión y al desarrollo del portafolio de servicios de la empresa.
Diseño de un programa de producción más limpia para la línea del sector porcino en la industria de alimentos balanceados Italcot S.A. Funza	Italcot SA, en su operación, genera impactos ambientales que afectan la calidad del aire, agua (con vertimientos catalogados como agua residual doméstica debido a su producción en seco) y suelo. Para evaluar estos impactos, se llevó a cabo un reconocimiento detallado de las instalaciones, que incluyó datos estadísticos de producción, uso de materias primas y descripción del proceso productivo. El diagnóstico ambiental abordó la caracterización y análisis físico-químico de los medios afectados, incluyendo ruido ocupacional, calidad del aire, generación de residuos sólidos y peligrosos, evaluación del nivel de iluminación y estrés térmico. Mediante herramientas como la Matriz MED, Matriz DOFA y Matriz de impacto ambiental de Leopold, se identifican puntos críticos de operación, como Pelletizado, Molienda y Caldera, y sus impactos ambientales asociados. Estos resultados sirvieron de base para proponer alternativas de Producción Más Limpia, evaluando sus costos. La implementación de estas alternativas se presenta como una necesidad para lograr una producción más sostenible en la industria y obtener la acreditación de la norma ISO 14001.	La empresa CVP INGENIERIA LTDA enfrenta diversos impactos ambientales, desde contaminación por emisiones hasta carencias en la gestión de residuos sólidos y control de agua y energía. La falta de actualización tecnológica y capacitación ambiental en la mano de obra agrava la situación, generando preocupaciones sobre la salud laboral y el impacto en las comunidades vecinas. Se requiere una intervención integral para abordar estos desafíos ambientales.	Italcot SA realiza un diagnóstico integral para su línea de producción porcina, identificando puntos críticos de residuos, consumo de recursos y contaminación. Las estrategias de Producción Más Limpia incluyen la optimización de la alimentación, manejo eficiente de residuos y actualización de eficiencia energética y uso del agua. Se prioriza la capacitación del personal y la promoción de una cultura ambiental, respaldadas por monitoreo constante y auditorías regulares. La colaboración con proveedores sostenibles y la comunicación transparente evidencian el compromiso continuo de la empresa con la sostenibilidad ambiental.	El conjunto de herramientas busca facilitar la gestión empresarial y realizar un diagnóstico ambiental integral. Los costos iniciales incluyen honorarios de consultores, auditorías y capacitación. Inversiones en tecnología, equipamiento y cambios en procesos para optimizar la producción y reducir el impacto ambiental son considerados. Además, se destinan recursos a la capacitación del personal y la promoción de una cultura corporativa sostenible.
Formulación de estrategias de producción más limpia, en la industria farmacéutica.	El enfoque principal de la investigación se centra en la formulación de estrategias para una producción más limpia en la industria farmacéutica, abordando diversos aspectos como la identificación del proyecto, la	El documento destaca la necesidad de evaluar los impactos ambientales en la producción farmacéutica sin proporcionar ejemplos específicos. Se mencionan residuos peligrosos y emisiones de gases de efecto	El documento se enfoca en estrategias de producción más limpia en la industria farmacéutica. Estas incluyen la reducción de consumo de energía y agua, optimización de procesos para minimizar residuos, reutilización y	En el documento se abarca el tema del costo de inversión del programa de P+L es de \$ 4'496.000 millones de pesos, lo cual la hace muy viable, si dejamos a consideración que la compañía en 6 meses podrá recuperar lo invertido

	presentación del problema, la identificación de los actores involucrados, la construcción de la matriz de marco lógico, la definición de objetivos generales y específicos, así como la delimitación del alcance del proyecto. Además, se examinan herramientas destinadas a la evaluación de impactos ambientales y se analiza cómo medir el éxito en la implementación de estas estrategias. En síntesis, este documento brinda información valiosa acerca de la aplicación de prácticas más sostenibles en la producción de medicamentos dentro del ámbito farmacéutico.	invernadero como posibles impactos. Se discuten herramientas como el Análisis del Ciclo de Vida y la Matriz de Leopold para evaluar estos impactos. En general, se resalta la importancia de adoptar prácticas más sostenibles en la producción de medicamentos.	reciclaje, uso de materiales menos tóxicos y sistemas de gestión ambiental. Se destaca la importancia de la participación de empleados y stakeholders, así como la evaluación del éxito mediante indicadores de desempeño ambiental.	y ahorrarse más del 60% de los gastos asociados a la gestión de RESPEL, consumo y tratamiento de aguas en la PTAR.
--	--	---	---	---

Fuente: elaboración propia 2023.

Nota: PML=P+L el uso de siglas varía dependiendo de la preferencia de los autores, se aclara que el termino más usado es P+L, por lo cual es el que se adopta en la extensión del documento.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La producción más limpia ha surgido como una estrategia integral para que las industrias puedan mejorar su desempeño ambiental, incrementar su productividad y fortalecer su competitividad. Como se evidencia en las diversas investigaciones analizadas en sectores como alimentos, textil, cuero y metalmecánica, la implementación de prácticas de producción más limpia genera múltiples beneficios, que van desde la optimización en el uso de recursos, como agua y energía, hasta la disminución en la generación de residuos contaminantes.

Entre las estrategias de producción más limpias y utilizadas por las empresas se encuentran la optimización en el uso de materias primas, agua y energía a través de buenas prácticas operativas y mantenimiento preventivo; la minimización, reutilización y reciclaje de residuos; la sustitución de insumos contaminantes; la implementación de sistemas de gestión ambiental; la educación y concientización ambiental de los trabajadores; la evaluación de impactos y análisis de ciclo de vida; y el aprovechamiento de subproductos y residuos en nuevos procesos productivos.

Es importante recalcar que algunas de estas estrategias han sido aplicadas con éxito en empresas de sectores como el de alimentos, textil, cuero y metalmecánica, logrando reducir de manera cuantificable el consumo de recursos, la generación de residuos y mejorar ostensiblemente la eficiencia de los procesos productivos, con los consecuentes ahorros económicos.

La empresa BIBEQ, por ejemplo, realizó inversiones en sistemas de filtración y recirculación de agua, lo que le permitió reducir su huella hídrica y mejorar sus indicadores de eficiencia en el uso de este recurso vital. Por su parte, Lácteos Buena Vista destinó recursos a la construcción de una planta de biogás utilizando los residuos orgánicos derivados del procesamiento de lácteos. Con esta iniciativa lograron disminuir los desechos enviados al relleno sanitario y además se pudo autogenerar energía a partir de una fuente renovable.

La matriz presentada muestra que existe una amplia aplicación de la P+L en diversos sectores industriales, lo que permite

optimizar procesos de manera sostenible. Los años de publicación de las referencias demuestran una evolución en las prácticas ambientales. Los objetivos planteados en las investigaciones representan áreas empresariales interesadas en implementar la P+L, demostrando interés en resolver problemas ambientales de forma competitiva y eficiente. Las metodologías cualitativo-cuantitativas generan articulación con dichos objetivos.

Se identifican barreras como recursos limitados, conocimientos escasos, cadenas de suministro complejas, aspectos normativos y dificultades en implementación.

Los principales impactos ambientales industriales son: uso inadecuado de recursos, generación de residuos, contaminación y riesgos para salud y ecosistemas.

A continuación, se destacan elementos a considerar al abordar la Producción Más Limpia (P+L) y llevar a cabo su implementación. Estos incluyen la evaluación de las cadenas de suministro, la optimización de la eficiencia de recursos, la gestión integral de residuos, la promoción de la innovación, la capacitación, el cumplimiento normativo y el fomento colaboración intersectorial. Estos enfoques proporcionan una orientación fundamental para desarrollar estrategias específicas adaptadas a cada sector industrial.

A pesar de diferencias contextuales, se identifican variaciones en estrategias propuestas, las cuales deben seguir principios de sustentabilidad y minimización de impactos.

El aspecto económico es relevante para analizar viabilidad de P+L. Se evidencian ahorros y mejoras en eficiencia a largo plazo, aunque no siempre se cuantifican inversiones. Su adopción puede fortalecer reputación empresarial.

Si bien los beneficios ambientales, sociales y económicos son evidentes, aún existen importantes barreras que dificultan la masificación de las prácticas de producción más limpia entre las empresas. Entre los principales retos se encuentran las limitaciones en acceso a financiamiento, deficiencias en recursos humanos capacitados en estos temas, ausencia de

incentivos gubernamentales, vacíos en la legislación ambiental y la percepción errónea de que estas estrategias requieren grandes inversiones de capital.

Superar estos obstáculos demanda no solo el compromiso del sector privado, sino también una activa participación del Estado en regular apropiadamente la gestión de residuos industriales, promover beneficios tributarios e incentivos financieros para aquellas compañías que demuestren buenas prácticas ambientales, e impulsar programas de capacitación técnica y transferencia tecnológica en producción más limpia, dirigidos especialmente a pequeñas y medianas empresas.

La concientización de los consumidores y su preferencia creciente por productos de empresas social y ambientalmente responsables también jugará un rol crucial, generando una presión adicional para que más empresas adopten sistemas de producción sostenibles.

Asimismo, la cooperación entre industrias, centros de investigación y universidades facilitará el desarrollo de soluciones tecnológicas limpias e innovadoras que se puedan implementar en los distintos procesos productivos.

En conclusión, los resultados muestran una orientación positiva hacia la optimización de procesos mediante P+L, generando impacto en operatividad sostenible de diversos contextos. Es necesario fomentar la educación ambiental. Las P+L son una alternativa efectiva para mejorar procesos productivos de manera sostenible cuando se planifican y ejecutan correctamente, pudiendo traer beneficios ambientales, operativos y competitivos.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta-Reyes, J. S., & Zapata-Piñeros, C. A. (2020). Priorización de oportunidades de producción más limpia enfocadas en aumentar la eficiencia del proceso productivo en una empresa del sector metalmecánico, ubicada en Tocancipá, Cundinamarca para mejorar su desempeño ambiental. <http://hdl.handle.net/20.500.12495/3849>
- Aldana Lizarazo, K. G., & Daza Rubiano, M. P. (2015). Diseño de un programa de producción más limpia para la línea del sector porcino en la industria de alimentos balanceados Itacol SA Funza. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/322
- Aparicio, I., & Patricia, J. (2020). Aplicación de la metodología de producción más limpia en establecimientos del sector de preparación de alimentos: caso de estudio municipio de Soatá, Boyacá. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/23104>
- Ashraf, M. R. (s/f). Cleaner Production technology. Textiletrendz.com. <https://www.textiletrendz.com/cleaner-production-technology-and-its-principles-for-manufacturing-manmade-fibers>
- Ázqueta, D. (2002). Introducción a la Economía ambiental. Madrid: McGraw Hill.
- Benítez L. (2010). Implementación del programa de producción más limpia, orden y aseo en CALZADO KONDOR LTDA Antioquia – Colombia. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3991610>
- Castro Bravo, J. C. (2019). Estudio de caso de producción más limpia de la empresa Concentrados Cauca, ubicada en el Tambo, Colombia (Tesis doctoral). <http://159.69.0.167/jspui/handle/20.500.12421/591>
- Chamorro Racero, R. y Tapias Peluffo, J. (2014). Diseño de un programa de producción más limpia para el mejoramiento de los procesos productivos de la empresa C.V.P. Ingeniería Ltda de la ciudad de Cartagena. Universidad de Cartagena. <https://hdl.handle.net/11227/3300>
- Chaverra Padilla, A. F. (2021). Estrategias de aprovechamiento de residuos sólidos producidos por las celdas fotovoltaicas en el aprovechamiento de la energía solar en proyectos de producción más limpia en Colombia (Trabajo de grado). Repositorio Institucional Lumieres. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/8736>
- Correa-Ramírez, V. M., & González-Monsalve, L. M. (2021). Análisis de producción sustentable para la empresa lácteos Buena Vista (Tesis de pregrado). <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/24365/L%c3%b3pez%20Tirado%2c%20Bradley%20Alexander.pdf?sequence=3&isAllowed=y>



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



- Cortes, M., & Herrera, J. (2022). Estrategias de producción limpia para las empresas cerámicas con tecnología Horno Túnel en el área metropolitana de Cúcuta. <https://hdl.handle.net/10901/23331>
- CPRAC. (s/f). Producción más limpia ¿Qué es? Cprac.org. <http://www.cprac.org/es/sostenible/produccion/mas-limpia>
- Cuartas Rodríguez, L. M., Andrea, S., & Peñuela, S. (2013). Propuesta para obtener una ventaja competitiva en la empresa BIBEQ en el proceso de deshidratación de fruta mediante una estrategia de producción más limpia caso de estudio: piña. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/10290/CuartasRodriguezClaudiaMarcela2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- DANE. (2021). Sistema de indicadores ambientales, de sostenibilidad y economía circular. Abril 2021.
- Fajardo Fonseca, H. (2017). La producción más limpia como estrategia ambiental en el marco del desarrollo sostenible. *Revista Ingeniería, Matemáticas Y Ciencias De La Información*, 4(8). <http://ojs.urepublicana.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/395>
- Flórez, M. (2002). Casos de aplicación de producción más limpia en Colombia. Medellín: Editorial clave.
- Gamboa Kassner, L. A. (2017). Análisis de la utilización de estrategias de producción más limpia y adaptación de un sistema de indicadores de manejo ambiental, en las empresas del Clúster Textil Confecciones del Tolima. <https://www-scopus-com.iberobasesdedatosezproxy.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85087068490&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=6e9d5ff687705dbc44816d0c939ddc6e&sot=b&sdt=b&s=TITLE-ABS-KEY%28producci%C3%B3n+m%C3%A1s+limpia%29&sl=39&sessionSearchId=6e9d5ff687705dbc44816d0c939ddc6e>
- Gamboa-Kassner, A., & Flórez-Yepes, G. Y. (2019). Análisis de la utilización de estrategias de producción más limpia y adaptación de un sistema de indicadores de manejo ambiental en las empresas del clúster textil confecciones del Tolima. *Revista Luna Azul*, (48), 48-69. <https://www.redalyc.org/journal/3217/321764933003/321764933003.pdf>
- Garrido F, G. d. (2007). El paradigma ecológico en las ciencias sociales.
- García, A. D. N., Rosero, W. F. V., c Nariño, R., & Abahonza, E. H. D. (2023). Estrategias didácticas para mitigar el impacto ambiental generado por la quema de llantas en desuso como combustible fósil en los trapiches paneleros de la vereda San Isidro del municipio de Ricaurte-Nariño Colombia. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(2), 1970-1987. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/9210>
- Granada Luis. (2005). *Gestión Ambiental, Filosofías, Conceptos, Instrumentos y Herramientas*. (1a ed.). Universidad Libre Seccional Cali.
- Guevara, I. C. S. (2019). Estrategias para la producción más limpia en el sector de cacao y caña panelera en el Valle del Cauca bajo el marco del Plan Nacional de Negocios Verdes en Colombia. <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/11611/T08904.pdf>
- Landazábal Sanmiguel, L. L., Rodríguez Acuña, A., Meneses Santa, J., & Restrepo Pedrosa, M. C. (2021). Joyería artesanal en oro. *Producción más limpia. Revista Intersección. Eventos, Turismo, Gastronomía y Moda*, 2(4), 20-36.
- Lozano, N. V. B. (2023). Diseño de un Programa de Producción más Limpia Para Mitigar el Impacto Ambiental. *Crítica*, 4, 8. <https://repositorio.udes.edu.co/server/api/core/bitstreams/b719e5d7-4eb7-4504-af31-bc0d2daa6591/content>
- Monroy-Ávila, E. F., Peña-Monroy, C. A., & Garzón-Cortés, G. del P. (2019). Estrategias de producción más limpia –PML: caso aplicado a la industria de curtiembre. *Producción + Limpia*, 14(1), 61-75.
- Paba P. (2011). Diseño de un plan de producción más limpia en la empresa Plastificamos S.A.A, Bogotá-Colombia Edu.co. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/12501/SanchezPabaPaulaFelisa2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pérez, A. y Galvis, E.d. (2022). Relación entre las prácticas de producción más limpia y manufactura esbelta sobre los impactos en la gestión de operaciones. <http://hdl.handle.net/20.500.11912/10944>
- Piñeros, S. A. (2016). Estudio de caso: Implementación de la producción más limpia como estrategia ambiental para la minimización de residuos peligrosos en la industria de empaques plásticos flexibles (Tesis de especialización). Universidad Militar Nueva Granada. <https://core.ac.uk/download/pdf/143452306.pdf>



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



- PNUMA. (1999). Manual de Producción más Limpia: Un Paquete de Recursos de Capacitación. Unidad de Industria y Medio Ambiente del PNUMA en Francia.
- Quintana, A., & Montgomery, W. (2006). Metodología de Investigación Científica Cualitativa. Tópicos de actualidad, 47-84. <http://www.ubiobio.cl/miweb/webfile/media/267/3634305-Metodologia-de-Investigacion-Cualitativa-A-Quintana.pdf>
- Quintero, A. M. & Marín, C. A. (2020). Estrategias para el manejo de subproductos derivados de la producción de panela bajo un enfoque de producción más limpia en la vereda Aguacatal municipio Neira Caldas. (Proyecto aplicado). Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/36819>
- Ríos, Y. F. & Getial, F. H. (2020). Diseñar estrategias de producción más limpia a partir de la guía ambiental de la industria láctea para la empresa lácteos san ángel, ubicada en el municipio de Cumbal – Nariño. (Proyecto aplicado). Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/43339>
- Rocha Gil, B. E., & Echeverri Rubio, A. (2020). Alternativas de producción más limpia en calidad del aire para el sector alfarero, Sogamoso (Boyacá). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8039074>
- Sandoval, L. (2006). Manual de Tecnologías Limpias en Pymes del Sector Residuos Sólidos. Organización de Estados Americanos (OEA). <http://goo.gl/rN1QKx>
- Silva Tabio, Y. P. (2017). Formulación de Estrategias de Producción más Limpia en la Industria Farmacéutica. <http://hdl.handle.net/11349/7817>
- Sonnemann Guido. (2000). Conceptos y herramientas de la Gestión Ambiental. Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental 5 ed. URV.
- Tamayo, U. & Vicente, A. (2007). Generación de valor mediante prácticas de producción limpia, eco-diseño y logística inversa. En Mediterráneo Económico. Nuevos enfoques del marketing y la creación de valor. (11), 147-164.
- Tirado, L., & Alexander, B. (2020). diseño de un plan de producción más limpia para mejorar los procesos de fabricación de ladrillo en la empresa CERAMICOS CAJAMARCA S.R.L. <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/24365/L%c3%b3pez%20Tirado%2c%20Bradley%20Alexander.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Urrego Pedraza, K. L. (2023) Planteamiento de estrategias de sostenibilidad para mitigar el impacto ambiental de la industria textil en Colombia (Trabajo de grado). Repositorio Institucional Lumieres. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/9210>
- Van Hoof, B. (2008). Evolución y Futuro de la Producción Más Limpia en Colombia. Revista de Ingeniería. (26).
- Van Hoof, B. (2013). Supply networks for cleaner production; framework for improvement of environmental performance of SMEs in emerging markets, doctoral thesis.
- Van Hoof, B., Gomez, H., Duque, J., Saer, A. (2015). Advanced Small and Medium Sized Enterprises, motors for development in Latin America, Bogotá (H. Gómez, Ed.). Uniandes-ECLAC.
- Van Hoof, B., Monroy, N., & Saer, A. (2007). Producción más limpia: paradigma de gestión ambiental.
- Vergara I. (2020). Estrategias de mejoramiento ambiental con énfasis en producción más limpia (PML) para los procesos priorizados por la empresa COLDESIVOS S.A.S. <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/12244/T09106.pdf?sequence=5>



ANÁLISIS ESTRATÉGICO DE LA PRODUCCIÓN DE LA PANELA EN UN MUNICIPIO DE CUNDINAMARCA, COLOMBIA: UNA MIRADA AMBIENTAL

STRATEGIC ANALYSIS OF PANELA PRODUCTION IN A MUNICIPALITY OF CUNDINAMARCA, COLOMBIA: AN ENVIRONMENTAL PERSPECTIVE

Johanna Mildred Méndez Sayago¹
Fundación Universitaria del Área Andina

Juan Carlos Acosta Quevedo²
Fundación Universitaria del Área Andina

Carlos Alberto Bravo Ibarra³
Fundación Universitaria del Área Andina

RESUMEN

La producción de panela es una actividad vital para el Departamento de Cundinamarca y la economía de esta zona gira en torno a la fabricación de este alimento tradicional de la canasta familiar de los colombianos. El presente estudio realiza un análisis de las estrategias ambientales que deben implementarse en los subproductos utilizados para la elaboración de la panela artesanal, mediante una metodología exploratorio descriptiva, con enfoque cualitativo y cuantitativo con el fin de abordar los desafíos ambientales que se enfrentan al desarrollar esta actividad, utilizando herramientas de investigación como el análisis de proceso mediante la matriz de Leopold, observación directa, entrevistas y cartografía social para comprender en profundidad la dinámica ambiental y social en juego.

Los hallazgos y las estrategias propuestas tienen un impacto significativo en la sostenibilidad de la producción de panela en Cundinamarca y sirve de base para futuras investigaciones y acciones en el campo de la gestión ambiental agroindustrial.

PALABRAS CLAVE: agroindustrial; gestión ambiental; impactos; panela; sostenibilidad.

¹ Phd en Economía, Magistra en Economía e Ingeniera de Producción Industrial. Docente de la Facultad de Ingeniería de la carrera de Ingeniería Industrial- Fundación Universitaria del Área Andina, Colombia - Jmendez97@areandina.edu.co - jmms1318@gmail.com

² Ingeniero Industrial, estudiante de la especialización de gerencia del talento humano y riesgos laborales - Fundación Universitaria Del Área Andina, Colombia - jacosta110@areandina.edu.co

³ Ingeniero de minas, especialista y magíster en gestión ambiental, - Fundación Universitaria Del Area Andina, Colombia - cabravo3@estudiantes.areandina.edu.co

ABSTRACT

The production of panela is a vital activity for the Department of Cundinamarca, the economy of this area revolves around the manufacture of this traditional food from the family basket of Colombians, the present study carries out an analysis of the environmental strategies that must be implemented in the by-products used for the production of artisanal panela, through a descriptive exploratory methodology, with a qualitative and quantitative approach in order to address the environmental challenges faced when developing this activity, Using research tools, such as process analysis through the Leopold matrix, direct observation, interviews and social cartography, to understand in depth the environmental and social dynamics at play.

The findings and proposed strategies have a significant impact on the sustainability of panela production in Cundinamarca and serve as a basis for future research and actions in the field of agroindustrial environmental management.

KEYWORDS: agroindustrial; environmental management; impacts; panela; sustainability.

1. INTRODUCCIÓN

La panela es un producto tradicional en Colombia y tiene diversas representaciones en diferentes regiones del país, incluyendo Cundinamarca. La panela es un endulzante natural que se obtiene de la evaporación y concentración del jugo de la caña de azúcar. En Cundinamarca, al igual que en otras partes de Colombia, es utilizada en la preparación de alimentos y bebidas, y es apreciada por su sabor característico y sus propiedades naturales.

Manifiesta Gutiérrez et al. (2018), la producción de panela en los municipios de Cundinamarca, Colombia, se erige como un componente vital de la economía local, arraigada en tradiciones y prácticas agrícolas ancestrales. En este contexto, la presente investigación realiza un análisis estratégico de la producción de panela en un municipio específico de Cundinamarca, abordando no solo los aspectos económicos y sociales, sino también destacando una perspectiva ambiental fundamental en el alcance de los objetivos de desarrollo sostenible.

La producción y comercialización de panela desempeñan un papel relevante en la economía colombiana, especialmente en las áreas rurales, generando empleo, ingresos y contribuyendo a la diversificación económica. Además, su exportación puede tener un impacto positivo en los ingresos del país. Según Rodríguez (2004) “la producción de panela a nivel mundial se reporta en 25 países y se estima que esta cercana a los 13 millones de toneladas anuales. Los principales productores son la India, que produce 55% y Colombia, el 11% (p. 5). Con respecto al contexto nacional sostiene Melo (2014) “en Colombia encontramos que familias en 27 Departamentos se dedican a la producción de Panela” (p. 3). En la actualidad, Colombia es uno de los mayores productores de panela en el mundo. La producción se realiza principalmente en pequeñas y medianas empresas familiares.

La panela, como producto emblemático, no solo impulsa el desarrollo económico local, sino que también enfrenta desafíos ambientales significativos. Este análisis estratégico se adentra en la intersección entre la producción de panela y su impacto en el entorno, explorando de manera crítica cómo las prácticas agrícolas y los procesos de producción afectan los recursos naturales locales, la biodiversidad y la sostenibilidad a largo plazo.

A través de esta mirada ambiental, se busca arrojar luz sobre la necesidad imperante de integrar estrategias sostenibles en la producción de panela. Se examinarán iniciativas innovadoras, prácticas agrícolas amigables con el medio ambiente y posibles soluciones para conciliar el crecimiento económico con la conservación del entorno. Este análisis no solo busca comprender los desafíos actuales, sino también proponer recomendaciones prácticas para fortalecer la producción de panela de manera sostenible, preservando la riqueza ambiental de la región.

2. BASES TEÓRICAS

2.1. SOSTENIBILIDAD EN LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

En el siglo XXI, la agricultura enfrenta desafíos cruciales que demandan una transformación significativa. La sostenibilidad en la producción agrícola emerge como una necesidad moral y práctica imprescindible, dado el impacto directo de estas prácticas en el bienestar humano y planeta. En este contexto, es esencial reevaluar y rediseñar estrategias agrícolas para crear sistemas que perduren en armonía con la naturaleza.

La sostenibilidad agrícola abarca diversas dimensiones interconectadas. En primer lugar, se centra en la conservación del suelo, reconociéndolo como un recurso finito y vital. Aduce Vargas et al. (2016) La implementación de prácticas agrícolas regenerativas, como la rotación de cultivos y la siembra directa, no solo preserva la estructura del suelo, sino que también mejora su capacidad para retener nutrientes esenciales.

Asimismo, la gestión eficiente del agua se presenta como un pilar fundamental en la sostenibilidad agrícola. La adopción de tecnologías de riego precisas y la captación de aguas pluviales son estrategias clave para mitigar la escasez de agua, garantizando la continuidad de los cultivos y reduciendo la presión sobre los recursos hídricos.

Martínez (2009) plantea que la promoción de la biodiversidad en entornos agrícolas es otro componente esencial de la sostenibilidad. La diversificación de cultivos y la creación de corredores ecológicos contribuyen a restaurar el equilibrio

natural, promoviendo la presencia de polinizadores y controladores biológicos, esenciales para la salud de los ecosistemas agrícolas.

La adopción de prácticas agroecológicas desempeña un papel crítico. Manifiesta Molina (2021) que la reducción de la dependencia de agroquímicos y la promoción de métodos orgánicos no solo protegen la salud humana, al limitar la exposición a residuos tóxicos, sino que también preservan la calidad del suelo y el agua, salvaguardando la integridad de los ecosistemas circundantes.

Pereira y Muñoz afirman

“el hombre aún sigue dominando la naturaleza para satisfacer sus necesidades, lo cual ha producido un desequilibrio ecológico que afecta a todas las sociedades. La degradación del medio ambiente es uno de los problemas mundiales más graves, de ahí el esfuerzo por la sanidad de la tierra, para que las futuras generaciones puedan tener historia de un medio ambiente sano, por lo cual se han implementado leyes y normas para una aplicación correcta de la ética ambiental” (p. 128).

La sostenibilidad agrícola es una responsabilidad ética y una inversión en el futuro. Al priorizar prácticas agrícolas sostenibles, no solo garantizamos la seguridad alimentaria a largo plazo, sino que también mitigamos los impactos negativos de la agricultura en el cambio climático. La captura de carbono en suelos agrícolas y la reducción de emisiones derivadas de la producción de alimentos son contribuciones cruciales para alcanzar objetivos globales de mitigación.

En última instancia, la sostenibilidad en la producción agrícola requiere una visión integral y colaborativa. La colaboración entre agricultores, científicos, responsables políticos y consumidores es esencial para impulsar un cambio significativo. Al unir fuerzas, podemos cultivar no solo alimentos, sino un futuro donde la agricultura y la naturaleza coexisten en un equilibrio sostenible. Este compromiso no solo preserva nuestro entorno, sino que también lega un legado de resiliencia y prosperidad a las generaciones venideras.

2.2. GESTIÓN AMBIENTAL

La gestión ambiental es un enfoque sistemático y planificado para el manejo y la preservación de los recursos naturales, la minimización del impacto ambiental y la promoción de prácticas sostenibles en diversas actividades humanas. Este campo aborda la relación entre las organizaciones, las comunidades y el medio ambiente, buscando equilibrar el desarrollo económico la conservación y protección de los ecosistemas (Muriel, 2006, p. 4).

La gestión ambiental implica la identificación y evaluación de los aspectos ambientales asociados a las actividades humanas, la definición de objetivos y metas ambientales, la implementación de medidas para reducir los impactos negativos, y el monitoreo continuo para evaluar el desempeño ambiental. Este proceso no se limita únicamente al cumplimiento de requisitos legales, sino que aspira a ir más allá, adoptando enfoques proactivos para la mejora continua (González, 2017, p. 61).

Los principios fundamentales de la gestión ambiental incluyen la reducción de la generación de residuos, la eficiencia en el uso de recursos naturales, la conservación de la biodiversidad, la mitigación del cambio climático y la promoción de prácticas

socialmente responsables. En el ámbito empresarial, muchas organizaciones implementan sistemas de gestión ambiental, como ISO 14001, para formalizar y estructurar sus esfuerzos en pro de la sostenibilidad ambiental. Ortiz (2017) argumenta “Colombia ha reportado un total de 2.983 certificaciones para el año 2015, representando una disminución del 13% comparado con el año 2014, donde se obtuvieron 3.433 certificados, y ha sido la más alta registrada en el país. Sin embargo, Colombia se mantiene como uno de los países con mayor número de certificados ISO 14001 en Centro y Sur América” (p. 47).

2.3. IMPACTO AMBIENTAL

El impacto ambiental, tanto positivo como negativo, representa las consecuencias directas e indirectas que las actividades humanas y naturales tienen sobre el entorno que nos rodea (Gutiérrez y Sánchez, 2019, p. 1). En el ámbito positivo, se refiere a aquellas acciones que generan mejoras palpables en el medio ambiente. Ejemplos de impacto ambiental positivo incluyen la implementación de proyectos de reforestación, la creación de áreas protegidas, y la adopción de tecnologías limpias que reducen las emisiones de gases de efecto invernadero. Estos esfuerzos no solo benefician la biodiversidad y la calidad del aire, sino que también contribuyen al equilibrio ecológico y a la sostenibilidad a largo plazo.

En contraste, el impacto ambiental negativo se refiere a aquellas acciones que provocan daños, degradación o pérdida en los ecosistemas y recursos naturales. Las emisiones contaminantes provenientes de la quema de combustibles fósiles, la deforestación descontrolada, y la contaminación de cuerpos de agua son ejemplos de impacto ambiental negativo. Estas actividades pueden dar lugar a la pérdida de biodiversidad, cambios climáticos no deseados, y afectar la calidad del aire y del agua, con consecuencias perjudiciales para la salud humana y el equilibrio del planeta en su conjunto (Caviedes y Olaya, 2018, p. 317).

Es crucial reconocer que tanto los impactos positivos como negativos pueden ser resultado de decisiones conscientes y planificadas. La toma de decisiones informada y la implementación de prácticas sostenibles son elementos clave para maximizar los impactos positivos y minimizar los negativos. Un enfoque integral hacia la gestión ambiental considera la necesidad de equilibrar las acciones humanas para garantizar un impacto neto beneficioso, preservando así la salud del planeta y creando un entorno propicio para las futuras generaciones. Este argumento es soportado en lo manifestado por López et al. (2014) quien afirma que “las acciones humanas no pueden causar daños a los sistemas naturales más allá de su capacidad de regeneración, existen límites ecológicos” (p.16).

En última instancia, comprender y evaluar el impacto ambiental es esencial para avanzar hacia una coexistencia más armoniosa entre las actividades humanas y la salud del ecosistema. Buscar constantemente maneras de reducir los impactos negativos y potenciar los positivos es un imperativo ético y práctico para construir un futuro sostenible y equitativo para todos.

2.4. EDUCACIÓN AMBIENTAL

La educación ambiental es un proceso pedagógico que busca fomentar la conciencia, comprensión y apreciación del medio ambiente, así como promover actitudes y comportamientos responsables hacia la conservación y sostenibilidad. Este enfoque educativo va más allá de la transmisión

de conocimientos sobre la naturaleza y los problemas ambientales; se centra en empoderar a las personas para que se conviertan en agentes de cambio, capaces de tomar decisiones informadas y participar activamente en la protección del entorno (Novo, 2009, p. 14).

En el núcleo de la educación ambiental se encuentra la idea de la interconexión entre los sistemas naturales y las actividades humanas. A través de la exploración de temas como la biodiversidad, el cambio climático, la gestión de recursos y la huella ecológica, la educación ambiental busca proporcionar a los estudiantes las herramientas necesarias para comprender los complejos problemas ambientales que enfrentamos y para desarrollar soluciones sostenibles, por su parte manifiestan Rengifo et al (2012)

“La educación ambiental se centra en la relación hombre – entorno y es abordada desde la disciplina de pedagogía que pretende mejorar los procesos de enseñanza – aprendizaje en todos los niveles de educación formal y la psicología ambiental, la cual permite hacer una descripción de los comportamientos que adoptan los hombres y las mujeres en relación a la utilización de los recursos naturales” (p. 9).

La educación ambiental no se limita al ámbito académico; abarca una variedad de contextos, incluyendo la enseñanza formal en escuelas y universidades, así como programas comunitarios, campañas de concientización y actividades de divulgación. A través de enfoques participativos, la educación ambiental busca estimular la participación activa y el pensamiento crítico, cultivando una conexión más profunda entre las personas y su entorno. De acuerdo con Castillo (2010)

“La educación ambiental debe propiciar un cambio de actitudes, una participación responsable en la gestión social del ambiente y crear acciones adecuadas con su entorno, en general. Pero la educación convencional ha sido poco eficaz con respecto al cambio de actitudes y de comportamientos socio-ambientales. Por eso, se debe redimensionar la educación ambiental y encontrar rasgos que la identifiquen e impulsen hacia una acción formativa, dirigida al cambio actitudinal o de comportamientos de un colectivo dado” (p. 107).

Además de su papel en la formación individual, la educación ambiental también contribuye a la construcción de una ciudadanía global consciente de los desafíos ambientales y comprometida con la búsqueda de soluciones colectivas. Al integrar valores éticos, culturales y sociales, la educación ambiental se convierte en un motor para la construcción de sociedades más sostenibles y equitativas, promoviendo un cambio de paradigma hacia un futuro en el que la armonía entre la humanidad y la naturaleza sea una prioridad.

2.5. NORMATIVIDAD

El Artículo 79 de la Constitución Política de Colombia de 1991 establece que todas las personas tienen el derecho fundamental a gozar de un ambiente sano. El Estado, en concordancia con la sociedad, tiene la responsabilidad de proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para garantizar la preservación de este derecho para las generaciones presentes y futuras. Además, se reconoce que la participación activa de la comunidad en las decisiones relacionadas con el medio ambiente es esencial,

y se promueve la cooperación internacional para abordar problemas ambientales globales.

Los trapiches paneleros son catalogados como clase III de riesgo laboral, lo que significa que representan un riesgo moderado según el Decreto 1607 de 2002. Los residentes y agricultores en las áreas cercanas a estos trapiches pueden enfrentar problemas de salud debido a los efectos ambientales asociados con la producción de panela, sus subproductos y los desechos en los recursos hídricos, las emisiones atmosféricas y el material particulado proveniente de las hornillas.

Como medida de supervisión alimentaria, es necesario registrar los trapiches en el INVIMA, según lo estipulado en la RESOLUCIÓN No. 2008029671.

Con el objetivo de salvaguardar a los productores de panela, especialmente a los medianos y pequeños, se estableció un marco legal que proporciona pautas para el desarrollo y la regulación de la industria panelera. Existe una normativa detallada que establece los requisitos para la producción y comercialización de panela es la Resolución 779 de 2006.

Esta propuesta de gestión ambiental se centra en la protección del medio ambiente y busca incorporar principios de desarrollo sostenible al aprovechar los subproductos, proponiendo procesos que sigan los principios de la economía circular.

En un contexto más amplio, la producción y el consumo sostenible, como se aborda en el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 12, abarcan diversas acciones y metas que deben alcanzarse, según lo señalado por San Juan, 2018 (Pág. 119).

3. MÉTODO

3.1. ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS

Se eligió llevar a cabo una investigación descriptiva cualitativa, la cual se define como un método utilizado en la ciencia para detallar las características de un fenómeno, sujeto o población en estudio (Valle y Revilla, 2022, p. 24).

A diferencia del método analítico, este enfoque no busca explicar por qué ocurre un fenómeno, sino que se limita a observar lo que sucede. Asimismo, se destaca que este método cualitativo se utiliza para evaluar diversas características de una población o situación específica.

La estrategia metodológica y enfoque siguen un proceso sistemático por fases, trazando una guía por la elección del tema y la identificación del problema. Se responde a los objetivos mediante entrevistas, observaciones de campo en el proceso productivo, evaluación de aspectos e impactos, y elaboración de cartografía social (Ariza, 2015, p. 38).

En la identificación de los impactos generados, se planificaron acciones basadas en el análisis realizado. Se propuso la implementación de procesos de economía circular que incorporen principios de desarrollo sostenible para gestionar los subproductos.

El propósito fundamental de esta propuesta es contribuir a la economía local y, al mismo tiempo, abordar la problemática actual relacionada con la acumulación y manejo inadecuado del bagazo. Se desarrolló un trabajo significativo para atenuar los impactos ambientales y promover prácticas más sostenibles en la comunidad.

Para la efectividad de la metodología y de acuerdo a la consideración descrita anteriormente, se utilizaron los siguientes instrumentos: Observación directa, Lista de Chequeo o de criterio simple, observando factores de cumplimiento normativo, entrevista a productores y cartografía Social. Comprendiendo a fondo las prácticas de los productores, identificando sus necesidades y por medio de estos plantear soluciones en beneficio a la economía y al medio ambiente.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

La elección cuidadosa de la población y muestra desempeña un papel fundamental en la investigación, determinando la validez y aplicabilidad de los resultados. La población, que representa el conjunto completo de individuos bajo estudio, establece el marco para las conclusiones generales. Una definición clara y precisa de la población garantiza que los hallazgos sean extrapolables a un grupo más amplio, otorgando validez externa al estudio. Por otro lado, la muestra, al ser un subconjunto representativo de la población, facilita la ejecución práctica del estudio (Gonzalez y Salazar, 2009, p. 38).

Manifiestan Arias y Covinos (2021) que la selección de la muestra contribuye a la validez interna, asegurando que los resultados sean fiables y aplicables a la población de interés. En conjunto, la adecuada elección de población y muestra no solo respalda la credibilidad de la investigación, sino que también permite a los investigadores generalizar y aplicar sus hallazgos de manera significativa en distintos contextos (p. 69).

La investigación se enfoca en realizar un análisis estratégico de la producción de panela en un municipio de Cundinamarca, Colombia, con un enfoque particular en una vereda específica. Por acuerdo con el gremio panelero, que impuso condiciones de confidencialidad, el nombre de la vereda no será revelado. La elección de este municipio se debe a su relevancia en la producción panelera regional.

Población:

La población bajo estudio abarca todas las fincas productoras de panela ubicadas en la vereda seleccionada en el municipio de Cundinamarca. Esta elección se fundamenta en la importancia de esta localidad para comprender el panorama general de la producción de panela en la región.

Muestra:

Para llevar a cabo la investigación, se seleccionó una muestra representativa de 5 fincas productoras de panela en la vereda mencionada. La participación de estas fincas se obtuvo gracias a la disposición y voluntad de los propietarios, quienes contribuyeron de manera colaborativa al estudio.

La elección de estas 5 fincas se realizó en coordinación con el gremio panelero, respetando las condiciones de confidencialidad establecidas. La muestra se diseñó considerando la disposición de los propietarios para participar activamente en la investigación. La participación voluntaria de las fincas seleccionadas fortalece la validez y representatividad de los hallazgos, ya que reflejan las experiencias y prácticas de productores de panela comprometidos con la sostenibilidad ambiental. Este enfoque metodológico respeta las condiciones establecidas por el gremio panelero y permite un análisis estratégico integral de la producción de panela en la región sin comprometer la confidencialidad de los participantes.

3.3. INSTRUMENTOS DE RECOGIDA DE INFORMACIÓN

3.3.1. INSTRUMENTO 1: ENTREVISTA

La entrevista se presenta como una herramienta esencial en la investigación. Manifiestan Peláez et al. (2013) “La entrevista no se considera una conversación normal, sino una conversación formal, con una intencionalidad, que lleva implícitos unos objetivos englobados en una Investigación” (p.17). Por su parte Pérez (2005), establece que “la entrevista puede ser considerada como el más antiguo método de recolección de información acerca del hombre en todos sus contextos, porque se basa en una antigua capacidad y adquisición evolutiva humana: el lenguaje, entendido este como lenguaje hablado, habla, lenguaje verbal” (p. 3). El objetivo central de esta entrevista es obtener información detallada y contextualizada directamente de los productores de panela. A través de preguntas abiertas, se busca comprender las prácticas actuales, identificar posibles impactos ambientales y explorar iniciativas sostenibles en el proceso de producción de panela.

El entrevistador debe comenzar explicando el propósito de la entrevista, destacando la relevancia del análisis ambiental en el contexto de la producción de panela. Se enfatizará la confidencialidad de la información proporcionada y se solicitará el consentimiento del entrevistado para participar en la investigación. Se instruirá al entrevistador para utilizar preguntas abiertas que fomenten respuestas detalladas y específicas sobre las prácticas ambientales en la producción de panela.

Las preguntas se diseñarán para abordar diferentes aspectos, como la gestión de residuos, el uso de recursos naturales, impactos ambientales perceptibles y prácticas sostenibles. Se explorarán experiencias y perspectivas de los productores en relación con la sostenibilidad ambiental.

En conclusión, este instrumento de entrevista será fundamental para obtener una visión holística de la producción de panela en el municipio de Cundinamarca, permitiendo un análisis estratégico que tenga en cuenta tanto los aspectos ambientales como las prácticas sostenibles en el sector.

3.3.2. INSTRUMENTO 2: OBSERVACIÓN DIRECTA

La observación directa se plantea como una parte integral de la metodología de investigación, específicamente durante el proceso de entrevista. Según Campos y Martínez (2012), “la observación es la forma más sistematizada y lógica para el registro visual y verificable de lo que se pretende conocer; es decir, es captar de la manera más objetiva posible, lo que ocurre en el mundo real, ya sea para describirlo, analizarlo o explicarlo desde una perspectiva científica” (p.49). Este instrumento busca complementar la información recopilada mediante la observación visual de los contextos y detalles que rodean las entrevistas. Se pretende capturar tanto expresiones verbales como no verbales, así como aspectos ambientales tangibles durante la interacción con los productores de panela.

Los observadores directos se enfocarán en aspectos clave durante las entrevistas, como el entorno físico, la disposición de los participantes, gestos y expresiones faciales. Además, se prestará especial atención a las condiciones ambientales visibles, tales como la gestión de residuos, el uso de recursos naturales y la presencia de prácticas sostenibles en las instalaciones de producción (Matos y Pasek, 2008, p. 36).

Se registrarán detalles sobre la disposición física del lugar de producción, la infraestructura y cualquier elemento que pueda influir en la sostenibilidad ambiental, como la presencia de sistemas de gestión de residuos o áreas dedicadas a prácticas sostenibles (Rekalde, Vizcarra, & Macazaga, 2014, p. 206).

Se observarán las reacciones y expresiones de los productores durante la entrevista para identificar posibles actitudes hacia la sostenibilidad ambiental. Se buscarán gestos que sugieran conciencia o interés en la implementación de prácticas amigables con el medio ambiente.

La observación se centrará en verificar la presencia de prácticas sostenibles, tales como el manejo adecuado de residuos y la utilización eficiente de recursos naturales. Se documentarán también condiciones que podrían indicar posibles impactos ambientales.

La observación directa durante las entrevistas aportará datos contextuales valiosos que enriquecerán la comprensión del análisis estratégico de la producción de panela desde una perspectiva ambiental en un municipio de Cundinamarca. Esta herramienta garantizará una evaluación más completa y enriquecedora de la sostenibilidad ambiental en el sector panelero.

3.3.3. INSTRUMENTO 3: LISTA DE CRITERIOS

La lista de criterios de entrevista se configura como un componente clave en la investigación destinada a realizar un análisis estratégico de la producción de panela en un municipio específico de Cundinamarca, Colombia, focalizando su atención en los aspectos ambientales. Este instrumento se desarrolla con el propósito de establecer criterios específicos que guiarán las preguntas y respuestas durante las entrevistas con los productores de panela (Occelli y Valeiras, 2013, p. 25). Estos criterios se centran en elementos clave relacionados con la sostenibilidad ambiental en el proceso de producción de panela.

Los criterios se seleccionarán cuidadosamente para abordar diferentes dimensiones de la producción de panela, como la gestión de residuos, el uso de recursos naturales, las prácticas sostenibles y la percepción de los productores sobre los impactos ambientales. Cada criterio se diseñará para obtener información específica y relevante que contribuirá al análisis ambiental.

Cada criterio establecerá preguntas específicas para explorar la aplicación de prácticas ambientalmente sostenibles. Por ejemplo, se incluirán preguntas sobre la gestión de residuos, los métodos de conservación de recursos naturales y las iniciativas sostenibles implementadas por los productores. Estas preguntas se adaptarán para obtener respuestas detalladas y contextuales.

Los criterios se evaluarán en función de su relevancia para el objetivo principal de la investigación, que es comprender y analizar estratégicamente la producción de panela desde una perspectiva ambiental. Se garantizará que cada criterio contribuya significativamente a la obtención de información valiosa para la sostenibilidad ambiental en el contexto panelero del municipio (Gonzales, 2020, p. 202).

La lista de criterios se utilizará como guía durante las entrevistas, asegurando que todos los aspectos relevantes relacionados con la sostenibilidad ambiental sean explorados de manera sistemática. Los criterios también permitirán la

estandarización de la información recopilada, facilitando el análisis y la interpretación de los resultados (Da Silva et al, 2013, p. 298).

Esta lista de criterios se concibe como un instrumento crucial para orientar las entrevistas en la investigación, brindando una estructura que enfoca la atención en los aspectos ambientales clave de la producción de panela.

3.3.4. INSTRUMENTO 4: CARTOGRAFÍA SOCIAL

La cartografía social es una herramienta que se centra en la representación gráfica y visual de información social y cultural sobre un territorio o comunidad. A diferencia de la cartografía convencional, que se enfoca en aspectos geográficos y físicos del espacio, la cartografía social se centra en capturar y visualizar datos relacionados con las interacciones sociales, las dinámicas comunitarias, las relaciones de poder, las percepciones y otras dimensiones sociales (Barragán, 2016, p. 251).

Durante la aplicación del instrumento, se procedió a mapear varios elementos críticos, como la ubicación de los centros de producción de panela, la distribución de áreas dedicadas a la siembra de caña de azúcar y la proximidad a recursos naturales clave. Además, se representaron en los mapas las áreas destinadas al manejo de residuos y cualquier infraestructura relacionada con prácticas sostenibles, contribuyendo así a una visión más completa.

Se hace necesario mencionar lo dicho por Andrade y Santamaria (2010): “El ejercicio de Cartografía Social es una herramienta que sirve para construir conocimiento de manera colectiva. La construcción de este conocimiento se logra a través de la elaboración colectiva de mapas. Desata procesos de comunicación entre los participantes y pone en evidencia diferentes tipos de saberes que se mezclan para poder llegar a una imagen colectiva del territorio” (p. 3).

Argumenta Arrillaga (2018) que las técnicas cartográficas empleadas en el pasado incluyeron mapas de densidad para visualizar áreas de alta producción, mapas de calor que representaban impactos ambientales percibidos y mapas de trayectorias que mostraban flujos logísticos y ambientales. Estos mapas proporcionaron representaciones visuales claras y detalladas de las dinámicas espaciales involucradas en problemáticas sociales y ambientales (p. 238).

La cartografía social fue enriquecida con la participación activa de la comunidad local. En el pasado, los productores de panela y otras partes interesadas aportaron información valiosa sobre puntos de interés, áreas problemáticas y sugerencias para mejorar la sostenibilidad ambiental. Estos datos se integraron en los mapas, fortaleciendo su autenticidad y relevancia. Tras la creación de los mapas, se llevó a cabo un análisis de datos espaciales que permitió identificar patrones, tendencias y relaciones espaciales significativas entre los diversos elementos mapeados (Vélez et al, 2012, p. 67). Este análisis, realizado en el pasado, proporcionó una comprensión más profunda de la interconexión entre la producción de panela y su entorno geográfico, facilitando así la toma de decisiones informada.

La aplicación de la cartografía social en la investigación pasada ha sido fundamental para el análisis estratégico de la producción de panela en Cundinamarca, brindando una representación visual única y geográfica de los aspectos ambientales y sociales asociados con este sector.

3.4. PROCEDIMIENTO

En la fase inicial del estudio, se realizaron entrevistas exhaustivas con los productores de panela en el municipio de Cundinamarca. Durante estas entrevistas, se emplearon preguntas estructuradas basadas en un instrumento metodológico previamente diseñado.

La información obtenida a través de estas interacciones proporcionó una visión detallada de las prácticas actuales, desafíos y percepciones de los productores en relación con la sostenibilidad ambiental en la producción de panela (Vargas, 2011, p. 127).

Simultáneamente, se llevó a cabo una observación directa de las instalaciones de producción. Se monitorearon continuamente las prácticas diarias, la gestión de residuos, y las condiciones ambientales presentes durante el proceso de producción. Esta observación directa complementó las respuestas obtenidas en las entrevistas, proporcionando datos contextuales y verificaciones visuales de las actividades relacionadas con la producción de panela.

La lista de criterios predefinida se utilizó como guía durante las entrevistas, asegurando que cada aspecto clave relacionado con la sostenibilidad ambiental fuera abordado de manera sistemática. Esta lista, desarrollada antes de la recogida de datos, facilitó la estandarización de la información recopilada, permitiendo una comparación efectiva entre diferentes productores y áreas de producción.

Para capturar las dinámicas espaciales y sociales, se implementó la cartografía social. Durante esta fase, se llevaron a cabo talleres participativos con la comunidad local para identificar lugares significativos y mapear aspectos clave relacionados con la producción de panela. La información recopilada se integró en mapas que representaron la distribución espacial de las actividades paneleras y otros elementos socioambientales (Vásquez y Tetamanti, 2012, p.104).

Finalmente, los datos recopilados a través de entrevistas, observación directa, lista de criterios y cartografía social fueron integrados y analizados. Se utilizó un enfoque interdisciplinario para examinar la interconexión entre los resultados de las diferentes metodologías, proporcionando así una comprensión holística y estratégica de la producción de panela desde una perspectiva ambiental en el pasado estudio realizado en Cundinamarca.

4. RESULTADOS

La presente investigación reveló una compleja relación entre la actividad panelera y las prácticas ambientales, en la cual persisten ciertas prácticas ancestrales que plantean desafíos significativos en términos de sostenibilidad. A pesar de ciertos avances y conciencia emergente, algunas prácticas tradicionales demostraron ser no amigables con el medio ambiente, lo que subraya la importancia de abordar estas cuestiones para lograr una producción de panela más sostenible. Las entrevistas con los productores de panela revelaron una diversidad de actitudes hacia la sostenibilidad ambiental. Si bien algunos productores demostraron una conciencia creciente sobre la importancia de prácticas sostenibles, muchos aún persisten en prácticas ancestrales arraigadas en la tradición. La resistencia al cambio fue evidente en aquellos que consideraban que las prácticas tradicionales eran inherentes a su identidad cultural y resistieron las modificaciones en sus métodos de producción.

Por otro lado, la observación directa en el pasado proporcionó una visión más clara de la persistencia de prácticas ancestrales. En varios centros de producción, se evidenció la continua quema de caña de azúcar antes de la cosecha, una práctica ancestral que, aunque facilita la recolección, tiene consecuencias negativas para el medio ambiente, como la emisión de gases de efecto invernadero y la degradación del suelo.

La aplicación de la lista de criterios destacó la brecha entre la conciencia ambiental y la implementación de prácticas sostenibles. La evaluación de aspectos como el uso del suelo, la gestión del agua y la diversificación de cultivos resaltó que, a pesar del conocimiento sobre alternativas sostenibles, muchos productores aún optan por prácticas tradicionales que, aunque arraigadas en la cultura, presentan retos significativos para la sostenibilidad a largo plazo.

La cartografía social proporcionó mapas visuales que evidenciaron la distribución geográfica de las prácticas ancestrales. La quema de caña de azúcar antes de la cosecha se reflejó en la cartografía social como un patrón persistente en diversas áreas de producción. Estos mapas no solo documentaron la presencia de prácticas no sostenibles, sino que también resaltaron la necesidad de intervenciones específicas en áreas geográficas particulares. La integración de datos señaló la importancia de estrategias adaptativas. Aunque se identificaron áreas de progreso en la adopción de prácticas sostenibles, la persistencia de prácticas ancestrales requiere enfoques específicos. La conciencia de la riqueza cultural y la importancia de las tradiciones en la producción de panela sugiere que las estrategias de cambio deben ser sensibles a estas consideraciones culturales, ofreciendo alternativas viables que respeten la herencia histórica de la actividad panelera.

Los resultados de la investigación indican que, a pesar de los esfuerzos y la conciencia emergente sobre la sostenibilidad, ciertas prácticas ancestrales en la producción de panela en Cundinamarca persisten. La resistencia al cambio, arraigada en la identidad cultural, destaca la necesidad de estrategias adaptativas que encuentren un equilibrio entre la preservación de la herencia cultural y la implementación de prácticas más sostenibles. Este desafío es crucial para garantizar que la producción de panela en la región evolucione hacia un modelo más respetuoso con el medio ambiente.

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La investigación pasada ha arrojado luz sobre la compleja interacción entre la producción de panela y las prácticas ambientales en un municipio de Cundinamarca, Colombia. A pesar de los esfuerzos por avanzar hacia la sostenibilidad, la persistencia de prácticas ancestrales no amigables con el medio ambiente presenta desafíos sustanciales.

Uno de los hallazgos destacados es la resistencia al cambio arraigada en prácticas tradicionales, como la quema de caña de azúcar antes de la cosecha. Aunque esta práctica facilita la recolección, sus impactos negativos en términos de emisiones de gases de efecto invernadero y degradación del suelo son evidentes. La resistencia a abandonar estas prácticas resalta la importancia de estrategias de intervención culturalmente sensibles que aborden las preocupaciones locales y preserven la identidad cultural.

La conciencia ambiental entre los productores de panela es un aspecto alentador, pero es necesario traducir esa conciencia

en acciones sostenibles. Las entrevistas pasadas revelaron que algunos productores ya han adoptado prácticas más eficientes en el uso de recursos y tecnologías amigables con el medio ambiente. Sin embargo, la coexistencia de prácticas tradicionales no sostenibles subraya la necesidad de estrategias específicas para abordar estas áreas de resistencia.

El análisis de la lista de criterios destacó la brecha entre el conocimiento de prácticas sostenibles y su implementación efectiva. Se identificaron retos en aspectos como la gestión del agua y la diversificación de cultivos. Este desfase resalta la necesidad de programas educativos y de capacitación para apoyar a los productores en la transición hacia métodos más sostenibles.

En conclusión, la producción de panela en Cundinamarca enfrenta un dilema entre la preservación de prácticas ancestrales y la necesidad de avanzar hacia la sostenibilidad ambiental. Aunque algunos productores han adoptado medidas positivas, la persistencia de prácticas no amigables con el medio ambiente requiere enfoques adaptativos y estrategias que reconcilien las dimensiones culturales y ambientales.

La identificación de áreas geográficas específicas a través de la cartografía social proporciona una base para intervenciones dirigidas. Estrategias de sensibilización y apoyo técnico pueden ser diseñadas para abordar las preocupaciones específicas de cada comunidad y fomentar la adopción de prácticas más sostenibles. La integración de prácticas tradicionales y sostenibles puede ser un camino hacia la sostenibilidad sin comprometer la herencia cultural. En el futuro, es esencial continuar el diálogo y la colaboración con la comunidad local. La participación activa de los productores en la toma de decisiones, junto con el apoyo de las autoridades locales y organizaciones ambientales, puede ser clave para impulsar el cambio. Además, la implementación de incentivos económicos y programas de certificación sostenible podría motivar a los productores a adoptar prácticas más respetuosas con el medio ambiente.

En última instancia, el análisis estratégico ha proporcionado una base para la reflexión y la acción. La coexistencia de prácticas ancestrales y sostenibles presenta un desafío, pero también ofrece oportunidades para una transición gradual y respetuosa con la cultura hacia un modelo de producción de panela más sostenible en Cundinamarca.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



- Arango, A. P. (2002). Decreto 1607 de 2002. M. d. social, DECRETO, 1607.
- Arrillaga, C. E. L. (2018). La cartografía social como herramienta educativa. *Revista Scientific*, 3(10), 232-247.
- Ariza, M. (2015). Métodos cualitativos y su aplicación empírica: por los caminos de la investigación sobre migración internacional. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Sociales; Dirección General de Asuntos del Personal Académico; El Colegio de la Frontera Norte AC.
- Barragán Giraldo, D. F. (2016). Cartografía social pedagógica: Entre teoría y metodología. *Revista colombiana de educación*, (70), 247-285.
- Campos, G., & Martínez, N. E. L. (2012). La observación, un método para el estudio de la realidad. *Xihmai*, 7(13), 45-60.
- Caviedes-Rubio, D. I., & Olaya-Amaya, A. (2018). Ecoturismo en áreas protegidas de Colombia: una revisión de impactos ambientales con énfasis en las normas de sostenibilidad ambiental. *Revista Luna Azul*, (46), 311-330.
- da Silva, F. C., Arancibia, B. A. V., da Rosa Iop, R., Gutierrez Filho, P. J. B., & da Silva, R. (2013). Escalas y listas de evaluación de la calidad de estudios científicos. *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud (ACIMED)*, 24(3), 295-312.
- de Colombia, A. C. (2022). Constitución política de Colombia. leyfacil.com.ar.
- Gonzáles, J. L. (2020). Técnicas e instrumentos de investigación científica. Arequipa, Arequipa, Perú.
- González, R. D. C., & Salazar, F. A. (2009). Aspectos básicos del estudio de muestra y población para la elaboración de los proyectos de investigación (Doctoral dissertation).



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



- Gutiérrez-Mosquera, L. F., Arias-Giraldo, S., & Ceballos-Peñaloza, A. M. (2018). Actualidad del sistema productivo tradicional de panela en Colombia: análisis de mejoras y alternativas tecnológicas. *Ingeniería y Competitividad*, 20(1), 107-123.
- Gutiérrez, J., & Sánchez, L. (2009). Impacto ambiental. *Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible*, 112.
- INVIMA. (2008). Resolución No. 2008029671. por la cual se establece el procedimiento para la Inscripción de los Trapiches Paneleros y las Centrales de Acopio de Mielles Vírgenes procedentes de Trapiches Paneleros. Recuperado de <https://vlex.com.co/vid/trapiches-paneleros-mielles-virgenes-43951899>
- Martínez-Castillo, R. (2009). Sistemas de producción agrícola sostenible. *Revista tecnología en Marcha*, 22(2), ág-23.
- Melo Hernández, C. (2014). Estrategias para aumentar las utilidades de la producción panelera en Colombia.
- Ministerio de la protección social. (2006). Resolución 779. Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que se deben cumplir en la producción y comercialización de la panela para consumo humano y se dictan otras disposiciones. Recuperado de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Resolucion-779-de-2006.pdf>
- Molina-Zapata, J. E. (2021). La revolución verde como revolución tecnocientífica: artificialización de las prácticas agrícolas y sus implicaciones. *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia*, 21(42).
- Muriel, R. (2006). Gestión ambiental. Espacio de reflexión y comunicación en *Desarrollo Sostenible*, 3(13), 1-8.
- Occelli, M., & Valeiras, B. N. (2013). Los libros de texto de ciencias como objeto de investigación: Una revisión bibliográfica.
- Peláez, A., Rodríguez, J., Ramírez, S., Pérez, L., Vázquez, A., & González, L. (2013). La entrevista. Universidad autónoma de México. [En línea]. [Online]. [cited 2012 septiembre 30. Disponible en: http://www.uam.es/personal_pdi/stmaria/jmurillo/InvestigacionEE/Presentaciones/Curso_10/E.
- Pereira, Y. Y., & Muñoz, M. E. (2014). Ética ambiental y desarrollo sostenible: política ambiental en Colombia. *Multiciencias*, 14(2), 123-128.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



- Pérez, F. (2005). La entrevista como técnica de investigación social. Fundamentos teóricos, técnicos y metodológicos. *Extramuros*, 8(22), 187-210.
- Ponce, V. (2011). La Matriz de Leopold para la evaluación del impacto ambiental. Recuperado de http://ponce.sdsu.edu/la_matriz_de_leopold.html
- Rekalde, I., Vizcarra, M. T., & Macazaga, A. M. (2014). La observación como estrategia de investigación para construir contextos de aprendizaje y fomentar procesos participativos. *Educación XX1*, 17(1), 201-220.
- Rengifo, B., Quitiaquez, L., & Mora, F. (2012). La educación ambiental una estrategia pedagógica que contribuye a la solución de la problemática ambiental en Colombia. *XII Coloquio internacional de Geocrítica*, 16.
- Rodríguez Borray, G. (2004). La agroindustria rural de la papa en Colombia: roles, problemática y nuevos retos.
- Salas Palomino, A. P., & Portocarrero Meléndez, Y. Matriz de Leopold para la implementación del manejo de impactos socio-ambientales, caso: Carretera Molinopampa-Chachapoyas tramo 327 + 850 al 368 + 00 Km.
- San Juan, I. H. (2018). La producción y consumo sostenible y la reducción del desperdicio alimentario como una de sus metas. *PA Persona e Amministrazione*, (1), 125-147.
- Valle, A., Manrique, L., & Revilla, D. (2022). La investigación descriptiva con enfoque cualitativo en educación.
- Vargas-Huanca, D., Boada Junca, M., Araca Quispe, L., Vargas, W., & Vargas, R. (2016). Sostenibilidad de modos ancestrales de producción agrícola en el Perú: ¿conservar o sustituir? *Mundo agrario*, 17(35), 00-00.
- Vargas-Jiménez, I. (2012). La entrevista en la investigación cualitativa: nuevas tendencias y retos. the interview in the qualitative research: trends and challengers. *Revista Electrónica Calidad en la Educación Superior*, 3(1), 119-139.
- Vázquez, A., Massera, C., & Tetamanti, D. (2012). Repensando la geografía aplicada a partir de la cartografía social. In *Cartografía Social: investigación e intervención desde las Ciencias Sociales, métodos y experiencias de aplicación* (pp. 99-105). Universidad de la Patagonia.
- Vélez Torre, I., Rátiva Gaona, S., & Varela Corredor, D. (2012). Cartografía social como metodología participativa y colaborativa de investigación en el territorio afrodescendiente de la cuenca alta del río Cauca. *Cuadernos de geografía: revista colombiana de geografía*, 21(2), 59-73.



TEINCO
Corporación Tecnológica
Industrial Colombiana



TEINCO
ODS