

LINA PATRICIA VEGA GARZÓN
ALEJANDRA CASTRO ORTEGÓN
SANDRA CONSUELO DÍAZ BELLO

BIOECONOMÍA E INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD
SANTO TOMÁS
TUNJA

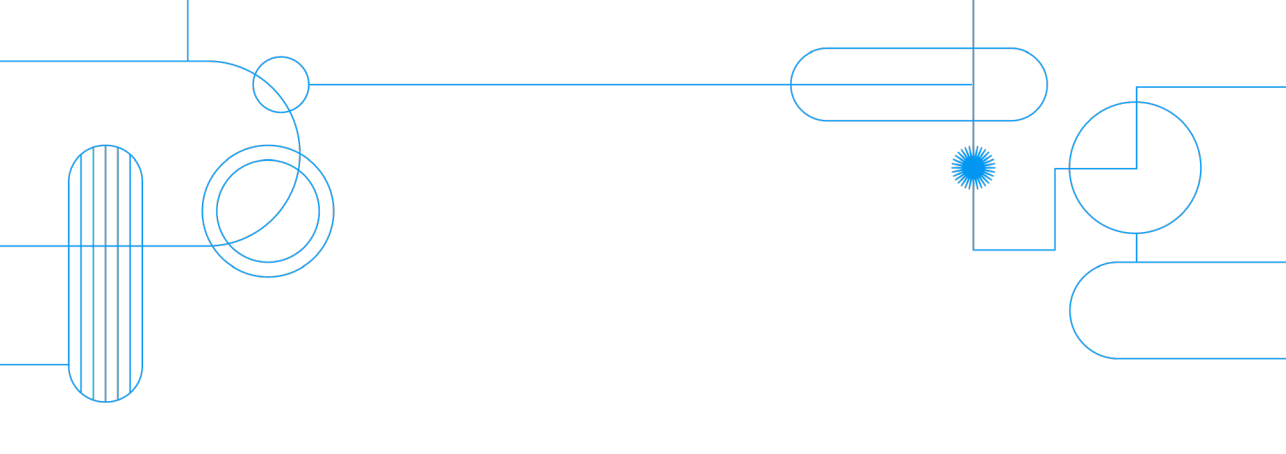
VIGILADA MINEDUCACIÓN - SNIES 1732



ediciones
USTA

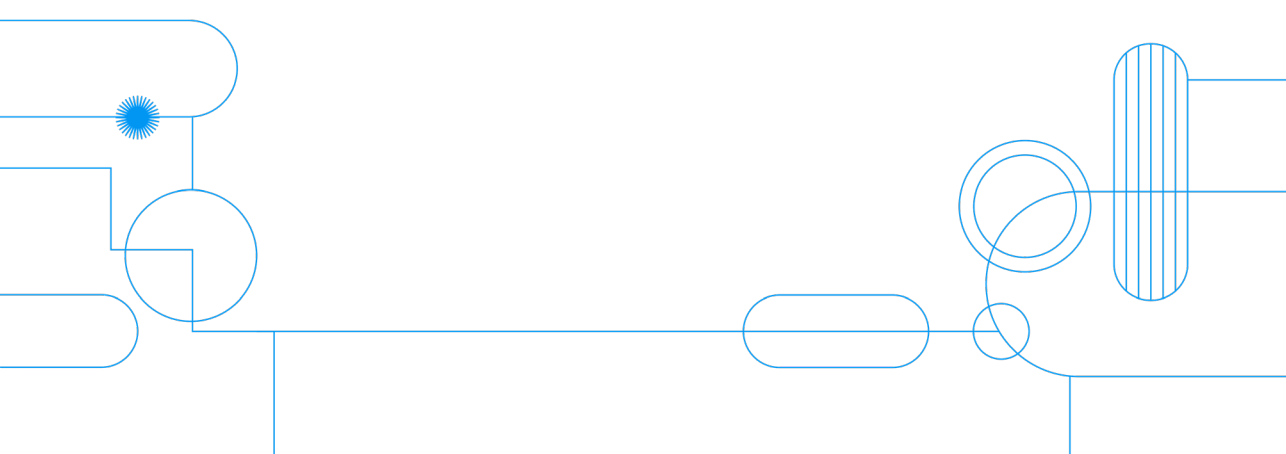
UNIVERSIDAD
SANTO TOMÁS





BIOECONOMÍA E INVESTIGACIÓN

LINA PATRICIA VEGA GARZÓN
ALEJANDRA CASTRO ORTEGÓN
SANDRA CONSUELO DÍAZ BELLO



Bioeconomía e investigación

Autores y compiladores: Lina Patricia Vega Garzón, Alejandra Castro Ortegón,
Sandra Consuelo Díaz Bello.

Editor: Edwin Blasnilo Rua Ramírez.

Coeditor: Adolfo Ávila Barón.

Tamaño: 17 x 24 / 240 páginas.

ISBN: 978-628-7747-31-9

COMITÉ EDITORIAL

Fr. José Fernando MANCIPE, O.P.

Rector

Fr. José Gregorio HERNÁNDEZ TARAZONA, O.P.

Vicerrector Académico

Fr. José Arturo RESTREPO RESTREPO, O.P.

Vicerrector Administrativo-Financiero

Claudia Rocío SUÁREZ CASTILLO

Coordinadora de Investigación de la Facultad de Ingeniería Ambiental

Diana Mireya AYALA VALDERRAMA

Directora Dirección de Investigación e Innovación

Juan Carlos CANOLES VÁSQUEZ

Director Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación

Primera edición, 2025

ISBN: 978-628-7747-31-9

Todos los derechos reservados conforme a la ley. Se permite la reproducción citando fuente.
El pensamiento que se expresa en esta obra, es exclusiva responsabilidad del autor y no
compromete a la ideología de la Universidad Santo Tomás.

Diagramación:

Editorial Jotamar S.A.S.

Calle 57 No. 3-39

editorialjotamar@yahoo.com

Tunja, Boyacá, Colombia.



Ediciones USTA

Universidad Santo Tomás

2025

Departamento Ediciones USTA Tunja

Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja

Queda prohibida la reproducción parcial o total de este libro por cualquier proceso reprográfico o fónico, especialmente por fotocopia, microfilme, offset o mimeógrafo.
Ley 23 de 1982.

BIOECONOMÍA E INVESTIGACIÓN

Autores

Lina Patricia Vega Garzón



<https://orcid.org/0000-0002-5184-5383>

<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57200393009>

Ingeniera Química de la Universidad Nacional de Colombia, magister en economía del medio ambiente y los recursos naturales de la Universidad de los Andes – University of Maryland, y doctora en Ingeniería Ambiental de la Universidad de Antioquia, Colombia. Docente Investigador de la Universidad Santo Tomás - Seccional

Tunja desde el 2019. Ha recibido reconocimientos por su labor como investigadora y por su tesis doctoral sobre tratamiento avanzado de aguas. Con experiencia en investigación relacionada con la calidad y procesos alternativos de tratamiento de aguas, uso de bioindicadores para evaluar la calidad ambiental, y bioeconomía.

Yuddy Alejandra Castro Ortegón



<https://orcid.org/0000-0001-7976-8933>

<https://scholar.google.com/citations?user=tIGqwQgAAAA-J&hl=es&authuser=1>

https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generar-CurriculoCv.do?cod_rh=0001656245

Bioingeniera y Magister en Gestión Empresarial ambiental de la Universidad El Bosque. Doctora en desarrollo sostenible de la Universidad de Manizales, docente Investigadora de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás - Seccional Tunja desde el 2018, con experiencia en investigación en torno a la implementación de planes de gestión estratégica, operaciones

sostenibles, gerencia de proyectos, sustentabilidad ambiental, gestión ambiental y diseño e implementación de sistemas tecnológicos aplicados a la agroindustria. Con reconocimientos internacionales y nacionales en torno a investigaciones aplicadas al reconocimiento del patrimonio social y ambiental para la dinamización de las economías locales como estrategia para garantizar la sostenibilidad en los territorios.

Sandra Consuelo Díaz Bello



<https://orcid.org/0000-0002-8114-6655>

<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=792771>

Ingeniera metalúrgica Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Magister en metalurgia y ciencia de los materiales, Doctora en Ingeniería, ciencia y tecnología de los materiales. Docente de las facultades de Ingeniería Ambiental y Civil. Pertenezco al grupo de investigación *GICAN*, cuyas líneas de investigación son nuevos materiales de construcción, energías renovables, economía circular y metalurgia extractiva. Directora de varios proyectos de investigación, tesis de pregrado y posgrado.

Introducción

El aumento de la contaminación y sus efectos obedece a que las actividades antrópicas generan cada día un aumento desmedido de emisiones que afectan los ciclos naturales de la tierra, ocasionando cambios en las composiciones químicas y físicas naturales, y sobrepasando la capacidad de autorregulación del ambiente.

Como respuesta a los problemas ambientales que afectan a la humanidad, los Estados han identificado la crisis ambiental como un problema de orden global que ha conducido a generar políticas y estrategias de cooperatividad internacional, entendiendo que el problema ambiental trasciende fronteras y rebasa la capacidad de los mismos para solucionarlos.

En este orden de ideas se ha consolidado una política internacional hacia la *Sostenibilidad*, estableciendo el modelo de *Desarrollo Sostenible* como un modelo global de desarrollo, el cual respalda la idea de cambio gradual y direccional, a una velocidad y magnitud de cambio internacional, incluyendo la creciente conectividad de los sistemas sociales y naturales, además de la complejidad cada vez mayor de las sociedades y sus impactos sobre la biosfera.

De esta manera se consolida el Desarrollo Sostenible como la capacidad de una sociedad para cubrir las necesidades básicas sin alterar el ecosistema, reduciendo los impactos negativos

contra el ambiente, y asumiendo como prioridad perpetuar al ser humano como especie y satisfacer las necesidades presentes y futuras, mediante el uso responsable de los recursos naturales.

A partir de lo anterior, nace la *Bioeconomía*, como un grupo de actividades económicas que pretenden la gestión adecuada de la biodiversidad y la biomasa para generar valor en forma de productos, servicios y tecnología, consolidándose como un modelo a seguir por diversos países en la búsqueda del desarrollo sostenible con 'valor agregado'.

En efecto, la Bioeconomía promueve el uso de recursos y saberes locales, además de promover las tecnologías intensivas en conocimiento que acometen un uso mínimo de recursos no renovables y una generación mínima de desechos nocivos para el ambiente. Más aún, su desarrollo requiere de la generación de conocimiento y de propuestas innovadoras, con la finalidad de cambiar las formas tradicionales de producción y de consumo; entendiendo que este conocimiento se genera a partir de la investigación sobre los recursos propios de cada región, así como de las tecnologías apropiadas de forma local sobre el uso de los recursos biológicos, la utilización de desechos y generación de subproductos que permiten diversificar las cadenas de valor y reducir la cantidad de residuos de las diferentes actividades económicas.

Ahora bien, entre los productos derivados de la Bioeconomía se encuentran los biomateriales, bioinsumos, biopesticidas y biofertilizantes, ingredientes bioactivos, cosmeceúticos, fibras naturales, agentes biológicos para control de bacterias, fitoterapéuticos, biofármacos, biodispositivos médicos, biopolímeros, y los biocombustibles, entre otros. Para su producción, la industria se basa en la *química verde*, según la cual la producción industrial se lleva a cabo mediante procesos biológicos para la generación de productos biodegradables. Por otra parte, en el campo ambiental la Bioeconomía

aborda la biorremediación de desechos y vertimientos mediante el uso de microorganismos o plantas, el aprovechamiento y la valorización de subproductos, y la conservación de la *biodiversidad*.

Finalmente, se ha generado este libro *Bioeconomía: Investigaciones para la producción de bienes y servicios*, que reúne una serie de investigaciones en torno a las nuevas alternativas de desarrollo económico con sentido sostenible. En este se expone desde los principios de la Bioeconomía el ejercicio de la Ingeniería Ambiental, con investigaciones en torno a tratamiento de desechos, la sustitución de procesos químicos por procesos biológicos menos contaminantes, la biorremediación de aguas, la generación de biomateriales, biominería, biocombustibles, y el desarrollo tecnológico aplicado al reconocimiento del patrimonio local y diversificación de bienes y servicios desde los principios de la economía circular.

Índice

Capítulo 1

Uso de sustancias orgánicas derivadas de
las plantas para el tratamiento de agua..... 17

Capítulo 2

Diseño de biorreactores para la producción
de microalgas..... 49

Capítulo 3

Biominería de hierro mediante el uso de bacterias
provenientes de la minería del carbón..... 73

Capítulo 4

Biorremediación de colorantes utilizando microalgas..... 87

Capítulo 5

Cultivo de bacteria *Bacillus Subtilis* para la
producción de bioconcreto..... 105

Capítulo 6

Fabricación de biocombustibles a partir de
biomasa residual..... 123

Capítulo 7

Mitigación de impactos en el parque natural nacional <i>el cocuy</i> a causa del turismo.....	143
---	-----

Capítulo 8

Formulación de una estrategia tecnológica para el reconocimiento de los productos locales y apropiación del patrimonio en el municipio de San Eduardo, Boyacá.....	171
--	-----

Capítulo 9

Idea de negocio desde la generación de combustible de uso doméstico para la sostenibilidad rural del occidente de Boyacá.....	203
---	-----

Capítulo 1

Uso de sustancias orgánicas derivadas de las plantas para el tratamiento de agua

Juana Valentina Camacho Sierra¹
Jorge Alejandro Cruz Mariño²
Sandra Lorena Montero Ávila³
Lizeth Gabriela Moreno Moreno⁴
Lina Patricia Vega-Garzón⁵

¹ Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

² Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

³ Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

⁴ Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

⁵ Facultad de Ingeniería Ambiental, *GICAN*, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

Resumen

Esta investigación presenta el estado actual de las investigaciones sobre el uso de plantas para el tratamiento de agua, especialmente en la fase de coagulación. Mediante un análisis sistemático de antecedentes, en el que se hizo una revisión detallada de artículos y un estudio bibliométrico de las investigaciones publicadas (2013 – 2023) en las plataformas de *Scopus* y *Science Direct*, se evidenció la existencia de una cantidad considerable de plantas con potencial para la remoción de la turbidez, destacando la mezcla de *Manihot Esculenta* y *Pisum Sativum*, o *Moringa Oleifera*, y semillas de maíz como sustancias con altas eficiencias entre 92% a 98% en la remoción de sólidos suspendidos. Además, se reconoció que la temperatura del agua, la desnaturalización de proteínas y los métodos físicos de transformación de las sustancias son factores decisivos en el rendimiento que contienen estos biocoagulantes. En cuanto a tendencias a investigar en el tema se observó que el número de publicaciones ha crecido recientemente, y países como Malasia y Reino Unido han generado más contribuciones en este campo de investigación. De hecho, estos hallazgos también resaltan la necesidad de evaluar la aplicabilidad de las sustancias en el tratamiento del agua en contextos concretos, especialmente en comunidades que podrían beneficiarse de estas soluciones.

Palabras clave: Coagulante, Plantas, Revisión sistemática, Tratamiento de agua.

Abstract

This research presents the current state of research on the use of plants for water treatment, especially in the coagulation phase. Through a systematic analysis of the literature, in which a detailed review of articles and a bibliometric study of research published between 2013 and 2023 on the Scopus and Science Direct platforms were carried out, the existence of a considerable number of plants with potential for turbidity removal was evidenced, highlighting the mixture of *Manihot*

esculenta and Pisum Sativum, or Moringa Oleifera and corn seeds as substances with better efficiencies, between 92% to 98%. In addition, it was recognized that the temperature of the water, the denaturation of proteins and the physical methods of transformation of the substances are decisive factors in the performance that the biocoagulant will have. In terms of trends to investigate the subject, it was observed that the number of publications grows over the years, and countries such as Malaysia and the United Kingdom have generated more contributions in this field of research. These findings also highlight the need to assess the applicability of substances in water treatment in specific contexts, especially in communities that could benefit from these solutions.

Keywords: Coagulant, plants, systematic review, water treatment.

1. Introducción

El tratamiento del agua a nivel nacional se lleva a cabo mediante una combinación de procesos físicos y químicos. Específicamente, en procesos químicos se utilizan productos que aportan residualidad en el agua tratada, que causan afectaciones importantes en el medio ambiente e inclusive en la salud humana, entre los que destacan el sulfato de hierro, cloruro de hierro y sulfato de aluminio (Kumar Karnena & Saritha, 2022). Por otro lado, el desmonte de la vegetación y el desarrollo de infraestructura ha aumentado los niveles de turbidez del agua, afectando el tratamiento cada vez más complicado y el costo de aplicación elevado, y volviéndolo inasequible especialmente para las comunidades rurales. Para hacer frente a estos desafíos, se han realizado diferentes investigaciones con relación al uso de sustancias coagulantes con orígenes diferentes a los convencionales, que son fáciles de encontrar, más asequibles y menos contaminantes con el medio ambiente, obtenibles de fuentes como plantas, minerales y productos animales que han evidenciado propiedades coagulantes eficaces para eliminar impurezas suspendidas y contaminantes del agua. Algunos ejemplos de coagulantes naturales incluyen semillas de *Moringa oleífera*, cáscara de cacao, paja de cebada, sulfato de aluminio natural y gelatina, entre otros (Kalibbala *et al.*, 2023).

Teniendo en cuenta lo anterior, la aplicabilidad de dichos coagulantes naturales en el tratamiento del recurso hídrico -especialmente en comunidades vulnerables, como en las zonas rurales-, puede mejorar la calidad del agua, eliminando las impurezas suspendidas y contaminantes, haciéndola más segura para el consumo humano. Sin embargo, es importante tener en cuenta que los coagulantes naturales pueden obtener diferentes grados de eficiencia, dependiendo de las características específicas del agua a tratar; por lo tanto, su uso debe ser evaluado y ajustado por profesionales capacitados en el tema (Lawal *et al.*, 2020).

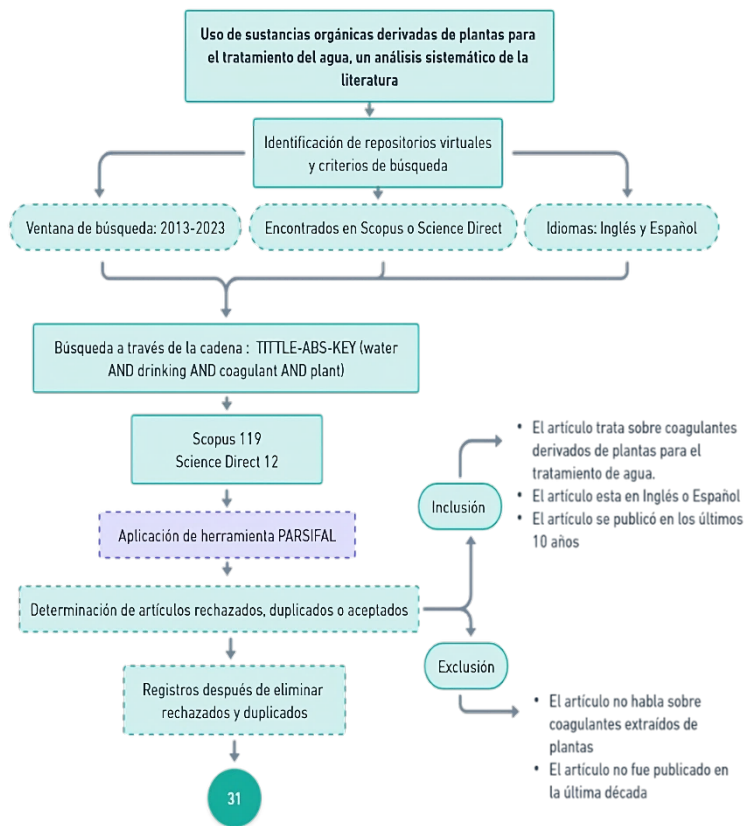
Así pues, la presente investigación se basa principalmente en un análisis sistemático de textos conclusivos de investigaciones precedentes, que consiste en relacionar diferentes investigaciones, artículos y demás estudios publicados en repositorios virtuales específicos, para identificar aquellos aspectos que se encuentran relacionados entre sí, y en términos generales aplicar el análisis bibliométrico únicamente para identificar la tendencia de la investigación de sustancias orgánicas derivadas de plantas que contienen gran potencial para su uso en el proceso de coagulación en el tratamiento de aguas. Tenemos en cuenta el estudio de investigaciones concernientes al tema con las cuales se detalló el Estado del Arte y, así mismo, se reconoció el estado actual y proyección de la investigación desarrollada en la última década.

Finalmente, en este documento se puntualiza inicialmente la metodología aplicada, y seguidamente se especifican los resultados más relevantes de la investigación y una discusión de estos. Por otro lado, se mencionan las principales sustancias de origen vegetal para el tratamiento del agua junto con su respectiva eficiencia, y como remate se relacionan las conclusiones.

2. Metodología

La fase de metodológica usada en este estudio se conformó en varias etapas, por lo cual en la Fig.1 se sintetizan aquellas que corresponden al proceso de búsqueda e identificación de artículos científicos que constituyen la base para la realización del análisis bibliométrico, el cual hace parte de la revisión sistemática propuesta.

Figura 1. Metodología de selección de artículos.



Fuente: Autores.

Dentro de la exploración para la selección de artículos, se utilizó una cadena de búsqueda específica conformada por “*TITLE-ABS-KEY (water and drinking and coagulant and plant)*”, que se aplicó en dos repositorios virtuales seleccionados. Mediante esta cadena de búsqueda, se obtuvo un total de 131 artículos consultados.

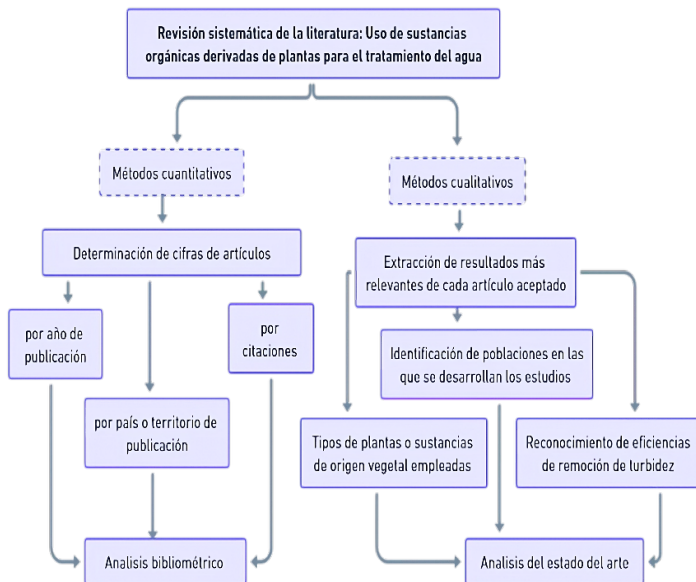
Posteriormente, se llevó a cabo la determinación de los artículos que cumplían con los criterios de inclusión establecidos para el estudio. Estos se referían a la relación directa con el tema de investigación, el idioma y la datación. Se aceptaron 31 estudios que cumplieron a cabalidad con los requisitos establecidos,

considerados como la información principal para el análisis en el presente estudio.

Por otro lado, se encontraron 96 artículos que fueron rechazados debido a que no cumplían con los criterios de inclusión. Análogamente, se destaca la importancia de herramientas digitales como Science Direct, Scopus y Parsifal, que facilitaron el acceso a diversas publicaciones científicas y agilizaron la selección de artículos relevantes.

Seguidamente, dentro del desarrollo de la segunda etapa se implementó un análisis de los artículos aceptados. Por tal razón, en la Fig. 2 se expresan gráficamente los procesos tanto cualitativos como cuantitativos que hicieron parte de esta fase, esenciales para responder a las preguntas problémicas de investigación: *¿Cuál es la tendencia a investigar en la aplicación de este tipo de coagulantes? Y, ¿cuáles han sido las plantas o las sustancias de origen vegetal que han sido empleadas para tratar el recurso hídrico?*

Figura 2. Metodología de análisis de artículos.



Fuente: Autores.

Como se detalla, la revisión sistemática asumió un enfoque mixto, puesto que el análisis cuantitativo permitió responder aquellas preguntas asociadas a un estudio bibliométrico en orden a reconocer tendencias en el tema de investigación, mientras que el establecimiento del Estado del Arte y la resolución de incógnitas ligadas al contenido de los artículos concernió a un análisis cualitativo basado netamente en la sustracción de información relevante.

3. Resultados

3.1 Selección de artículos

El análisis de los 31 documentos seleccionados reveló que la mayoría de ellos se centran en la investigación aplicada y descriptiva en el campo de los coagulantes derivados de plantas. De hecho, tales estudios asumen mayormente como fin valorar la eficiencia de estas sustancias de origen vegetal en el tratamiento del agua residual o en la purificación del agua destinada al consumo humano. En estos documentos, se abordan diversos aspectos relacionados con los coagulantes derivados de plantas y su capacidad para reducir la turbidez. Por lo tanto, en la tabla 1 se resumen los artículos seleccionados y la información relevante de cada uno: el título, los autores, la fecha de publicación y la planta empleada en el estudio; otros resultados relevantes como la eficiencia se relacionarán en las secciones posteriores en este capítulo.

Tabla 1. Artículos seleccionados.

Título	Autor y año	Planta empleada
«Evaluation of <i>Annona diversifolia</i> Seed Extract as A Natural Coagulant for Water Treatment»	(Tijjani Usman <i>et al.</i> , 2023)	<i>Semila de Annona diversifolia</i>
«Evaluation of the effectiveness of some local plant extracts in improving the quality of unsafe water consumed in developing countries»	(Konkobo <i>et al.</i> , 2023)	<i>Semillas de Boscia senegalensis y Moringa oleifera</i>
«Treatment of Wastewater by <i>Moringa Oleifera</i> and Maize Seeds as Plant-Based Coagulant»	(Kasmuri <i>et al.</i> , 2023)	<i>Moringa oleifera</i> y semillas de maíz
«Synthesis and efficacy of cactus-banana peels composite as a natural coagulant for water treatment»	(Kalibbala <i>et al.</i> , 2023)	Cáscaras de cactus y plátano
«Protein fractionation of <i>Hibiscus cannabinus</i> (kenaf) seeds, its characterization, and potential use for water treatment»	(Okoro <i>et al.</i> , 2022)	Semillas de <i>Hibiscus cannabinus</i> (kenaf)
«A Synergistic Effect of <i>Moringa oleifera</i> -Based Coagulant and Ultrafiltration for the Wastewater Treatment Collected from Final ETP»	(Rai <i>et al.</i> , 2022)	<i>Moringa oleifera</i>
«The use of aloe vera as natural coagulant in Algerian drinking water treatment plant»	(Abderrezzaq <i>et al.</i> , 2021)	<i>Aloe vera</i>
«River water turbidity removal using new natural coagulant aids: case study of Euphrates River, Iraq»	(Ramal <i>et al.</i> , 2021)	Extractos de hojas de malva y extractos de vainas de algarroba
«Isolation of napin from <i>Brassica nigra</i> seeds and coagulation activity to turbid pond water»	(Khaliq <i>et al.</i> , 2022)	Semillas de <i>Brassica nigra</i> y semillas de <i>Moringa</i>
«Phytochemical and physico-chemical screening of plant-based materials as coagulants for turbidity removal – An unprecedented approach»	(Kumar Karnena & Saritha, 2022)	<i>Moringa oleifera</i> , <i>Manihot esculenta</i> y <i>Pisum sativum</i>

Título	Autor y año	Planta empleada
«Use of aloe vera as an organic coagulant for improving drinking water quality»	(Benalia <i>et al.</i> , 2021)	<i>Aloe vera</i>
«Evaluation of physicochemical properties of Nopal (<i>Opuntia Ficus-Indica</i>) as bio coagulant-flocculant for water treatment»	(Rivera Cañón <i>et al.</i> , 2021)	<i>Opuntia Ficus-Indica</i>
«Utilization of <i>Citrus Microcarpa</i> peels and papaya seeds as a natural coagulant for turbidity removal»	(Dollah <i>et al.</i> , 2021)	Cáscaras de <i>Microcarpa cítrica</i> y semillas de papaya
«Characterization and performance of three Kenaf coagulation products under different operating conditions»	(Okoro <i>et al.</i> , 2021)	Semillas de <i>Hibiscus cannabinus</i> (kenaf)
«Protocols for assessing antibacterial and water coagulation potential of <i>Moringa oleifera</i> seed powder»	(Aboagye <i>et al.</i> , 2021)	<i>Moringa oleifera</i>
«Cellulose in natural flocculant applications: A review»	(Fauzani <i>et al.</i> , 2021)	<i>Celulosa de ramio</i>
«Health Risk Assessment of Heavy Metal Accumulation in Broiler Chickens and Heavy Metal Removal in Drinking Water using <i>Moringa Oleifera</i> Seeds in Lomé, Togo»	(Soumaoro <i>et al.</i> , 2021)	<i>Moringa oleifera</i>
«The antimicrobial properties of <i>Moringa oleifera</i> Lam. for water treatment: a systematic review»	(Bancesi <i>et al.</i> , 2020)	<i>Moringa oleifera</i>
«Effects of De-Oiled Jute Seed and Cottonseed Extracts as Natural Polymeric Coagulants for Surface Water Treatment»	(Lawal <i>et al.</i> , 2020)	Extractos de semillas de yute y semillas de algodón
«Optimized use of ferric chloride and sesbania seed gum (SSG) as sustainable coagulant aid for turbidity reduction in drinking water treatment»	(Chua <i>et al.</i> , 2020)	Goma de semilla de sesbania

Título	Autor y año	Planta empleada
«Efficacy of a natural coagulant protein from <i>Moringa oleifera</i> (Lam) seeds in treatment of Opa reservoir water, Ile-Ife, Nigeria»	(Taiwo et al., 2020)	<i>Moringa oleifera</i>
«A fluorescence-based assessment of the fate of organic matter in water treated using crude/purified Hibiscus seeds as coagulant in drinking water treatment»	(Jones & Bridgeman, 2019)	Crudo de okra, crudo de Sabdariffa, crudo de Kenaf
«Experimental optimization of <i>Moringa oleifera</i> seed powder as bio-coagulants in water treatment process»	(Zaid et al., 2019)	<i>Moringa oleifera</i>
«Water purification and anti-bacterial efficacy of <i>Moringa oleifera</i> Lam»	(Delelegn et al., 2018)	<i>Moringa oleifera</i>
«Use of acorn leaves as a natural coagulant in a drinking water treatment plant»	(Benalia et al., 2019)	Hojas de bellota
«Coagulation efficiency of <i>Dicerocaryum eriocarpum</i> (DE) plant	(Odiyo et al., 2017)	<i>Dicerocaryum eriocarpum</i>
«An assessment of the use of native and denatured forms of okra seed proteins as coagulants in drinking water treatment»	(Jones & Bridgeman, 2016)	Semilla de okra
«A review on common vegetables and legumes as promising plant-based natural coagulants in water clarification»	(S Y Choy et al., 2015)	“ <i>Cocciniaindica</i> , <i>Hibiscus-sculentus</i> , <i>Luffacylin-drica</i> , <i>Arachishypogaea</i> , <i>Cicerarietinum</i> , <i>Dolichos-biflorus</i> , <i>Glycine max</i> , <i>Goma guar</i> , <i>Lablabpurpureus</i> , <i>Phaseolusangularis</i> , <i>Phaseolusmungo</i> , <i>Phaseolusvulgaris</i> , <i>Pisumsativum</i> , <i>Vignaunguiculata</i> . “

Título	Autor y año	Planta empleada
«Alternatives to the use of synthetic organic coagulant aids in drinking water treatment: improvements in the application of the crude extract of <i>Moringa oleifera</i> seed»	(García-Fayos et al., 2015)	<i>Moringa oleifera</i>
«Coagulant proteins identified in Mustard: A potential water treatment agent»	(Bodlund et al., 2014)	Mostaza (grande) y semilla de Moringa
«Purification of drinking water by low-cost method in Ethiopia»	(Abatneh et al., 2014)	<i>Moringa oleifera</i> , <i>Jatropha curcas</i> y goma guar

Fuente: Autores.

Por otra parte, la identificación de los artículos revela una clara orientación hacia el estudio del proceso de coagulación en relación con la eliminación de la turbidez del agua. Es decir, se refieren principalmente a la remoción de partículas sólidas suspendidas asociadas a sedimentos e inclusive a materia orgánica, que no permite que la calidad del agua sea óptima. Sin embargo, se resalta que también se encontraron estudios que abordan el impacto de los coagulantes de origen vegetal en la reducción de cargas microbianas en el agua.

3.2 Eficiencia de los coagulantes a base de plantas

Basado en el análisis de información relevante de los artículos encontrados, es importante resaltar la diversidad de plantas y semillas que han sido catalogadas por los investigadores como posibles sustituyentes de los coagulantes convencionales; esto debido a la capacidad que tienen para reducir la turbidez del agua puesto que pueden facilitar la eliminación de partículas y contaminantes suspendidos en el agua. Por tal razón, en la Tabla 2 se incluyen algunos de los extractos de plantas y semillas a los cuales se cuantificó su eficiencia de remoción en términos de porcentaje.

Sin embargo, se resalta que no se ha logrado puntualizar estos resultados para todas las plantas identificadas, por lo cual sólo se incluyen aquellas que cuentan con esta información.

Tabla 2. Eficiencia de algunas plantas y semillas con potencial para el tratamiento de agua usadas en los estudios analizados.

Plantas o semilla	Eficiencia de remoción de turbidez	Fuente
<i>Moringa oleifera</i>	84,83%	(Konkobo et al., 2023)
Semillas de <i>Boscia senegalensis</i>	82,97%	(Konkobo et al., 2023)
Cáscaras de banano y cactus	87,13%	(Kalibbala et al., 2023)
Savia de <i>Aloe vera</i>	20,7%	(Konkobo et al., 2023)
Extractos de hojas de malva	51,175%	(Ramal et al., 2021)
Extractos de vaina de algarroba	37,12%	(Ramal et al., 2021)
<i>Manihot esculenta</i> y <i>Pisum Sativum</i>	98%	(Kumar Karnena & Saritha, 2022)
Savia de <i>Opuntia Ficus-Indica</i>	32,25%	(Konkobo et al., 2023)
<i>Okra cruda, sabdariffa cruda, kenaf crudo</i>	73-81%	(Jones & Bridgeman, 2019)
<i>Dicerocaryum eriocarpum</i>	99%	(Odiyo et al., 2017)
Mostaza (grande) y <i>Moringa</i>	70-85%	(Bodlund et al., 2014)
<i>Jatropha curcas</i> y goma guar	90-95%	(Abatneh et al., 2014)
Semillas de <i>Boscia senegalensis</i>	80,78%	(Konkobo et al., 2023)
Mezcla de <i>Moringa oleifera</i> y semillas de maíz	92%	(Kasmuri et al., 2023)
Semillas de <i>Brassica nigra</i> y semillas de <i>Moringa</i>	80-85%	(Khaliq et al., 2022)
Extractos de semillas de yute y algodón	55.5-64.4%	(Lawal et al., 2020)
Semilla de <i>Sesbania</i>	98.3%	(Chua et al., 2020)
Semillas de semillas de <i>Acacia nilotica</i> , <i>Adansonia digitata</i> , <i>Balanites aegyptiaca</i> , <i>Tamarindus indica</i>	1,03%	(Konkobo et al., 2023)

Fuente: Autores.

En virtud de lo anterior, se encuentra que la eficiencia de remoción -según lo reportado en los estudios analizados-, posee los resultados más prometedores al emplear sustancias como la mezcla de *Moringa Oleífera* y semillas de maíz, y aún mayor cuando se usa la leguminosa *Pisum Sativum* en conjunto con *Manihot Esculenta*, que comúnmente es llamada Yuca, o la planta *Dicerocaryum eriocarpum*. Además, otras sustancias también poseen un potencial importante al remover más del 50% de turbidez, como ha ocurrido con plantas como *Boscia senegelensis*. Sin embargo, también se han evidenciado plantas con bajo rendimiento como el *Aloe Vera* o la semilla de *Acacia nilótica* que han removido mínimamente las partículas suspendidas del agua, por lo cual deben ser descartadas o apoyadas con otras sustancias para que realmente puedan ser usadas en el tratamiento de agua.

Análogamente, es preciso destacar que, dentro de los coagulantes derivados de plantas, la *Moringa oleifera* es la planta más comúnmente estudiada y utilizada. Lo anterior puede deberse a que a esta planta ya se le ha verificado su capacidad como coagulante natural, y también es fácilmente de encontrar puesto que está disponible en muchas regiones del mundo.

Por otra parte, se reconoció que los estudios pueden ser agrupados dentro de tres categorías generales que resumen las temáticas que abordan, siendo estas inicialmente la investigación sobre eficiencias de remoción de turbidez frente a compuestos químicos tradicionalmente usados; seguido por el reconocimiento de propiedades fisicoquímicas de los productos naturales; y por último los métodos de obtención de los biocoagulantes y la medición de su eficiencia.

En consecuencia, dentro de cada artículo inspeccionado ha sido posible rescatar ideas que aportan a la profundización en temas específicos de dichas categorías. Dentro de estas contribuciones se encuentra que varios estudios como el de (Khaliq et al., 2022) centran

sus esfuerzos en conocer las propiedades de un solo coagulante natural, como también ha ocurrido con trabajos como el de (Chua *et al.*, 2020) que han concluido que el potencial de coagulación en elementos como la semilla de *Sesbania* se debe a que contiene varios grupos funcionales hidroxilo y carboxilo. Sin embargo, también investigaciones como la llevada a cabo por (Dollah *et al.*, 2021) consideran un mejor resultado cuando se emplea la mezcla de más de un elemento o sustancia, como la combinación de semillas de papaya con la planta y *Citrus Microcarpa*. Además, investigadores como (Okoro *et al.*, 2021) demuestran que con distintos productos de una planta se pueden generar cambios en su eficiencia.

Por otro lado, estudios como el publicado por (Benalia *et al.*, 2021) y (Rivera Cañón *et al.*, 2021) demuestran la necesidad de transformar la planta o sus extractos mediante métodos físicos, que incluyen la pulverización, limpieza y el tamizado, puesto que de otra manera no se reconocerán las dosis óptimas para el tratamiento, y lo reflejan al convertir el *Aloe vera* y el nopal en polvo o líquido. Así mismo, las sustancias han demostrado obtener mayor efectividad cuando también atraviesan procesos químicos como la purificación con intercambio iónico, como lo detallaron (Taiwo *et al.*, 2020) al tratar con proteínas de Moringa.

Además de los métodos de extracción, otros de los factores que juegan un papel clave en la eficiencia de los llamados biocoagulantes es la velocidad de mezcla, el tiempo y la dosificación, que deben ser determinadas en laboratorio mediante varias pruebas, según lo detalla (Zaid *et al.*, 2019). Adicionalmente, estudios como el desarrollado por (Odiyo *et al.*, 2017) afirman que las sustancias deben ser modificadas mediante la desnaturalización de proteínas, puesto que las sustancias crudas tienden a lograr menor eficiencia, lo cual es confirmado por (Jones & Bridgeman, 2016) agregan que la temperatura a la cual se hace la activación de coagulante está relacionada con la efectividad del mismo.

Finalmente, la comprobación de la eficiencia de cada coagulante se mide esencialmente mediante el parámetro de la turbidez, pero también acompañada de pruebas de pH y materia orgánica (Abderrezzaq *et al.*, 2021). Sin embargo, en la actualidad también es posible encontrar que los investigadores están empleando *softwares* especializados para hallar eficiencias mediante modelos matemáticos, como sucedió en el estudio de (Kalibbala *et al.*, 2023). Así mismo, el uso de métodos convencionales como el *test de jarras* también es usado ampliamente como se evidenció en trabajos como el de (Tijjani Usman *et al.*, 2023). También se resalta que el estudio de (Soumaoro *et al.*, 2021) también ve el uso de este tipo de coagulantes como una opción para disminuir metales pesados en el agua, lo cual fundamenta al efectuar ensayos de laboratorio con semillas de *moringa*.

3.3 Tendencias de la investigación sobre coagulantes a base de plantas

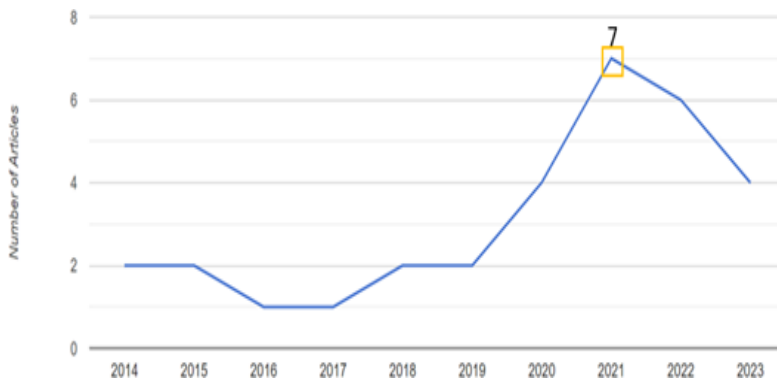
Ahora bien, el análisis de la cantidad de investigaciones publicadas por año proporciona una visión más completa del desarrollo de estudios relacionadas con el uso de plantas o sus derivados en el tratamiento del agua. Esto permite identificar tendencias a lo largo del tiempo, así como comprender la evolución de este campo de estudio.

Por lo tanto, la Fig. 3 muestra el número de publicaciones relacionadas con este tema (2013 - 2023). Es importante destacar -en el primer año analizado-, que no se registró ninguna publicación en este campo. Sin embargo, a partir de ese punto se observa un aumento en el número de publicaciones con el transcurso de los años.

En los primeros años, el número de publicaciones es relativamente bajo, pero a medida que avanza el tiempo, se observa un crecimiento significativo en el interés y la investigación en esta área. Esto puede

indicar un mayor reconocimiento de la importancia de utilizar plantas o sus derivados en el tratamiento del agua, así como el surgimiento de nuevas tecnologías y enfoques en este campo.

Figura 3. Publicación de artículos 2013-2023



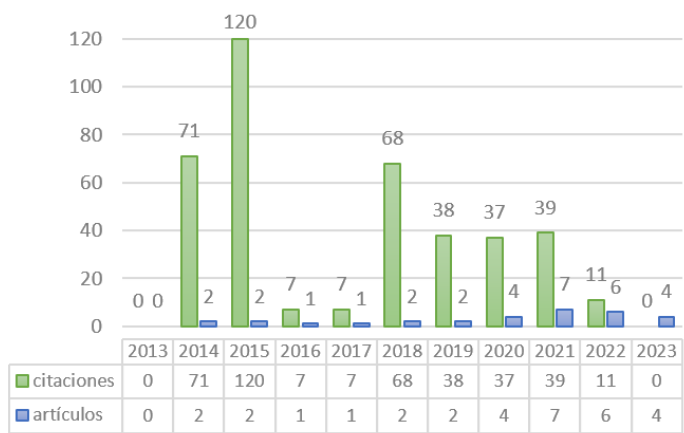
Fuente: Autores.

El creciente interés en la exploración de coagulantes naturales en el tratamiento del agua se ha vuelto evidente a partir de un análisis más detallado. En particular, se observa una mejora en el número de publicaciones a partir del año 2019. Esta tendencia sugiere un aumento en la atención y el reconocimiento de la importancia de utilizar coagulantes naturales derivados de plantas en comparación con los coagulantes químicos convencionales.

Efectivamente, en la última década se ha observado un aumento significativo en el número de artículos publicados sobre este tema. En 2021, se registró el mayor número de publicaciones con un total de 7 artículos. Este hallazgo indicó que, aunque la cantidad actual de investigaciones en este campo no es extensa, existe un potencial de crecimiento sustancial en estos años. Esto sugiere que el tema está atrayendo la atención de la comunidad científica y puede haber una tendencia prometedora en el desarrollo de investigaciones adicionales en este campo.

Además, la Fig. 4 permite un análisis más profundo al mostrar la cantidad de citas por año y compararla con el número de publicaciones. Esto proporciona una medida de la relevancia y el impacto de las investigaciones en este campo a lo largo del tiempo. Al comparar el número de citas con el número de publicaciones, se puede evaluar el grado de influencia y reconocimiento que han recibido los estudios en la comunidad científica.

Figura 4. Citaciones por año.



Fuente: Autores.

Es importante destacar que el número de citas recibidas por los artículos no depende únicamente del número total de publicaciones en un determinado año. El impacto de un artículo se construye a lo largo del tiempo a medida que es citado y referenciado por otros investigadores. Por lo tanto, es posible que los artículos más recientes aún no hayan alcanzado un impacto significativo en términos de citas.

Sin embargo, es interesante notar que 2015 se destacó en términos de rendimiento en citas. Este año en particular fue notable debido a un artículo específico publicado por Choy *et al.* en el que se obtuvieron 110 citas. Este artículo en particular sobresalió en términos de impacto en el campo de estudio. Es probable que este alto número de citas se deba a que en el estudio se exploraron

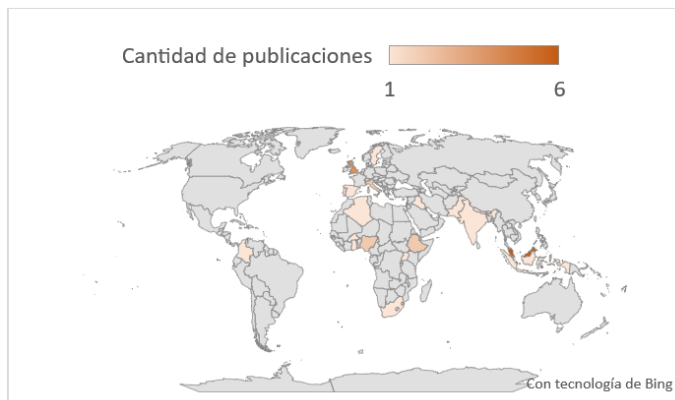
más de 10 métodos potenciales de tratamiento de agua utilizando sustancias derivadas de plantas. Esta característica única del artículo lo diferenció de otras publicaciones y lo posicionó como una referencia relevante y ampliamente citada en este campo.

3.4 Investigaciones por países

El análisis de las publicaciones identificadas en este estudio reveló que la mayoría de ellas provienen de instituciones y autores con sede en Malasia y el Reino Unido. Específicamente, Malasia se destaca como el país con la mayor cantidad de estudios relacionados con el uso de sustancias derivadas de plantas para el tratamiento de agua, con un total de 6 publicaciones. El Reino Unido le sigue de cerca con 4 artículos, lo que indica un notable interés y participación en la temática.

Adicionalmente, la Fig.5 proporciona una representación gráfica de la distribución geográfica de los países en la que se enmarcó los estudios. Esta visualización permite identificar de manera más clara y visual los países que han mostrado un mayor nivel de actividad e interés en la investigación sobre el uso de coagulantes naturales para el tratamiento del agua.

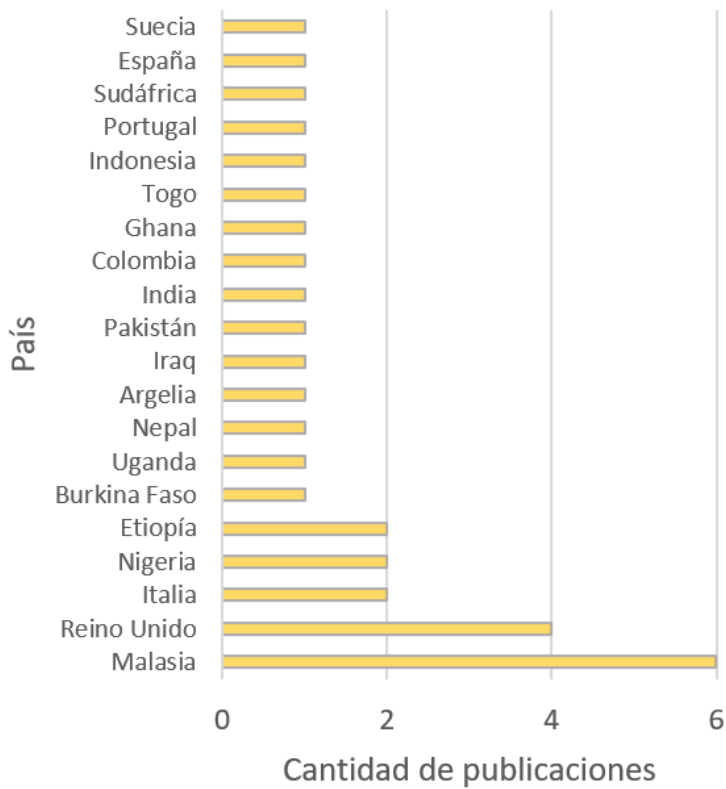
Figura 5. País de procedencia de los artículos analizados.



Fuente: Autores.

Por causa de todo lo anterior, también se observaron contribuciones significativas de varios países africanos, incluidos Nigeria, Etiopía, Burkina Faso, Uganda, Argelia, Ghana, Togo y Sudáfrica. Además, países europeos como Italia, Portugal, España y Suecia; junto con países asiáticos como Nepal, Pakistán, India, Iraq e Indonesia, y Colombia como único país sudamericano, también hicieron contribuciones notables, las cuales se detallan en la Fig. 6.

Figura 6. Contribuciones por parte de cada país.



Fuente: Autores.

A partir de lo anterior se identifica que las investigaciones relacionadas con el uso de coagulantes naturales derivados de plantas para el tratamiento del agua no se limitan a una región

geográfica específica. De hecho, los estudios abarcan diferentes partes del mundo, lo que indica un interés global en el desarrollo de métodos más sostenibles para tratar el agua.

Es importante tener en cuenta que, aunque los estudios se llevan a cabo en diversos países de casi todos los continentes, algunos lugares se destacan por su mayor frecuencia de investigaciones en este campo. Esto puede relacionarse con los desafíos específicos que enfrentan en términos de calidad y abastecimiento de agua.

3.5 Discusión

La necesidad de investigar sustancias con el potencial de reemplazar productos químicos de uso común -como el sulfato de aluminio-, para el tratamiento del agua ha aumentado en los últimos años debido al incremento en la preocupación por sus efectos nocivos sobre el medio ambiente y la salud humana, como se destaca en estudios como el realizado por (Krupińska, 2020). Lo expuesto también es considerado por (Peralta Ladino & Díaz Olaya, 2020), quienes destacan que después del uso de estos productos metálicos se generan lodos de potabilización con cargas importantes de aluminio, que en Colombia se disponen en rellenos sanitarios o mayormente llegan directo a los cuerpos hídricos causando toxicidad en los ecosistemas.

Lo anterior también se soporta en la generación de estudios que sugieren que las sales con aluminio pueden afectar en la salud con enfermedades como el Alzheimer y el Parkinson (Simate et al., 2012), además de que existe un límite de aluminio en el agua, que si es superado puede generar probabilidades de que la población consumidora contraiga cáncer (Banchón et al., 2016). Por otra parte, se demuestra que este químico genera mayor volumen de lodos frente a los coagulantes de origen natural, lo cual acarrea como consecuencia que se necesite un tratamiento adicional de residuos

generados en el tratamiento del agua (Sook Yan Choy et al., 2014); además esta última desventaja ha sido motivación para innovar mecanismos para el tratamiento de agua, lo cual ha resultado en propuestas como la aplicación de la electrocoagulación que presenta eficiencias significativas, uso relativamente sencillo, pero limitaciones que aún no han sido superadas (Ortiz et al., 2022).

Por lo anterior, llevar a cabo investigaciones como la presentada a lo largo de este capítulo es de gran importancia puesto que permite ampliar el panorama en la identificación de nuevas alternativas ante sustancias convencionales. Así mismo, la temática abordada también está tomando cada vez mayor relevancia puesto que países alrededor del mundo -incluida Colombia- se han comprometido con el cumplimiento de los ODS, por lo cual la aplicación de coagulantes naturales impulsa a esto, principalmente en lo que concierne al ODS 1 (Departamento Nacional de Planeación, 2019a), el cual en su meta 4 habla de la disponibilidad de los servicios para todos, entre ellos el agua, donde se denota que, al generar métodos más accesibles debido a su obtención, permite que más personas tengan la posibilidad de recibir este servicio sin un costo alto. Así mismo, en el ODS 3 (Departamento Nacional de Planeación, 2019b) en la meta 9 se pretende generar compuestos en el agua que no desencadenen ninguna afectación, debido a que los químicos tradicionales en su tratamiento utilizan metales que pueden producir deterioro en la salud. Por otra parte, el más importante es el ODS 6 (Departamento Nacional de Planeación, 2019c) en el cual en prácticamente todas sus metas se basan en el tratamiento adecuado del agua, problema importante ya que todos deben contar con la posibilidad de gozar de agua con su debido saneamiento y además sin generar inconvenientes de ningún tipo. De ahí que los proyectos con biocoagulantes sean más apetecidos por su fácil acceso y sus características físico-químicas en los humanos.

Además de lo mencionado anteriormente, es relevante destacar que, si bien actualmente el número de estudios sobre el uso de coagulantes derivados de especies vegetales es limitado, se ha observado una tendencia significativa hacia una mayor investigación en esta área durante la última década. Este aumento en el interés investigativo se ha reflejado en los artículos seleccionados, lo que demuestra que se está reconociendo cada vez más el potencial de las sustancias presentes en la Naturaleza para el tratamiento del agua.

De igual manera, es importante tener en cuenta que el desarrollo de investigaciones en ciertos países no sólo puede estar relacionada con el interés y la participación de los investigadores en esas regiones, sino también con factores como la disponibilidad de recursos, la infraestructura de investigación y las prioridades en relación con la seguridad y la calidad del agua, por lo que las comunidades ven este tema como una oportunidad para mejorar la calidad de vida en sus territorios. En cuanto a esto último, países o regiones que enfrentan problemas recurrentes relacionados con la calidad del agua -la presencia de contaminantes o la falta de acceso a agua potable-, tienden a estar más involucrados en la investigación sobre métodos alternativos y sostenibles de tratamiento del agua, por lo que adquieren una mayor motivación para buscar soluciones que aborden sus necesidades y desafíos específicos en términos de suministro de agua segura.

Por último, es importante destacar que aún existen vacíos en el conocimiento dentro de este campo de estudio. A pesar de los avances realizados, se ha prestado menos atención a determinar las características específicas que debe cumplir una población o un contexto para que la aplicación de estos coagulantes sea óptima.

Es fundamental comprender en qué condiciones y contextos los coagulantes naturales pueden desempeñar su función de manera efectiva y eficiente. Esto implica investigar y determinar aspectos

como la calidad del agua de entrada, las características específicas de la población o el área geográfica, los factores socioeconómicos y culturales, así como las limitaciones y recursos disponibles. Estos aspectos son fundamentales para superar las problemáticas relacionadas con el recurso hídrico y su aprovechamiento, especialmente en comunidades que requieren atención urgente.

Un ejemplo relevante es la situación en las zonas rurales de varios países alrededor del mundo, incluyendo Colombia. En estas áreas, a menudo se enfrentan a desafíos relacionados con la calidad y el acceso al agua potable. La aplicación de coagulantes naturales podría ofrecer una solución sostenible y de bajo costo para mejorar la calidad del agua y garantizar su disponibilidad en estas comunidades. Sin embargo, es necesario realizar investigaciones específicas para adaptar y optimizar el uso de estos coagulantes a las condiciones y necesidades locales.

4. Conclusiones

A través de la metodología propuesta para dar respuesta a las preguntas de investigación planteadas, fue posible identificar tanto las contribuciones que han realizado diferentes autores en el campo de estudio, así como las tendencias a investigar el tema y los vacíos existentes en el conocimiento, lo cual es fundamental para orientar futuras investigaciones y contribuir al avance del conocimiento de este campo.

Por tal razón, dentro de los resultados más importantes dentro del análisis de los contenidos de los artículos se destaca primordialmente la determinación de eficiencias, siendo superior al 90% con el uso de plantas y/o extractos de *Manihot esculenta*, *Pisum sativum*, *Dicerocaryum eriocarpum*, *Goma guar*, *Jatropha*, *Moringa Oleifera* y *semillas de Sesbania*. Mientras que las eficiencias menores se encuentran al implementar *Aloe vera*, semillas de *Acacia nilótica*, entre otras, que no superan el 20% de eficiencia.

Sin embargo, la capacidad de remoción de turbidez no sólo depende de la planta, sino también del método de extracción de la sustancia y la forma en la que será usada; especialmente se debe tener en cuenta la temperatura del agua, el tiempo de coagulación, la dosificación y el pH. Adicionalmente, se recomienda implementar métodos de desnaturalización, puesto que sustancias crudas tienden a resultados menos prometedores, debido a que no permiten que se prioricen grupos funcionales, como el hidroxilo que se asocian a la coagulación.

Además, al determinar la tendencia a investigar, uno de los hallazgos destacados fue la identificación de un aumento significativo en el número de investigaciones a partir de 2019, y 2021 se destacó como el año con la mayor cantidad de publicaciones. Este aumento puede atribuirse a la creciente conciencia sobre la importancia de desarrollar y emplear nuevos coagulantes que no posean los mismos efectos no deseables de las sustancias que se usan comúnmente en la actualidad; así mismo, por la necesidad de promover prácticas más sostenibles.

Por otro lado, las investigaciones se llevan a cabo principalmente en Malasia y Reino Unido, dato que sugiere que el interés en el uso de coagulantes provenientes de plantas para el tratamiento del agua está ganando impulso tanto en países en desarrollo como en países desarrollados. Esta tendencia global refleja la importancia y la relevancia del tema en distintos contextos y geografías.

Finalmente, a pesar del progreso realizado en este campo, se identificó una falta de investigación adecuada sobre la viabilidad del uso de los componentes de las plantas en comunidades y escenarios específicos. Esto resalta la necesidad de estudios más detallados y contextuales que evalúen la aplicabilidad y los beneficios de estas soluciones en situaciones prácticas y reales, puesto que muchas de las plantas que poseen potencial no han sido usadas ampliamente, como sí ha sucedido con la Moringa.

5. Referencias

- Abatneh, Y., Sahu, O., & Yimer, S. (2014). Purification of drinking water by low cost method in Ethiopia. *Applied Water Science*, 4(4), 357–362. <https://doi.org/10.1007/s13201-013-0151-9>
- Abderrezzaq, B., Kerroum, D., Amel, K., Pizzi, A. P., & Medjahdi, G. (2021). The Use of Aloe Vera as Natural Coagulant in Algerian Drinking Water Treatment Plant. *Journal of Renewable materials*, 10, 625–637. <https://doi.org/10.32604/jrm.2022.017848>
- Aboagye, G., Navele, M., & Essuman, E. (2021). Protocols for assessing antibacterial and water coagulation potential of *Moringa oleifera* seed powder. *MethodsX*, 8, 101283. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mex.2021.101283>
- Bancessi, A., Pinto, M. M. F., Duarte, E., Catarino, L., & Nazareth, T. (2020). The antimicrobial properties of *Moringa oleifera* Lam for water treatment: a systematic review. *SN Applied Sciences*, 2(3), 323. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2142-4>
- Banchón, C., Baquerizo, R., Muñoz, D., & Zambrano, L. (2016). Natural coagulation for the decontamination of industrial effluents. *Enfoque UTE*, 7(4), 111–126. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n4.118>
- Benalia, A., Derbal, K., Khalfaoui, A., Bouchareb, R., Panico, A., Gissoni, C., Crispino, G., Pirozzi, F., & Pizzi, A. (2021). Use of Aloe vera as an Organic Coagulant for Improving Drinking Water Quality. In *Water* (Vol. 13, Issue 15). <https://doi.org/10.3390/w13152024>
- Benalia, A., Derbal, K., Panico, A., & Pirozzi, F. (2019). Use of Acorn Leaves as a Natural Coagulant in a Drinking Water Treatment Plant. In *Water* (Vol. 11, Issue 1). <https://doi.org/10.3390/w11010057>

- Bodlund, I., Pavankumar, A. R., Chelliah, R., Kasi, S., Sankaran, K., & Rajarao, G. K. (2014). Coagulant proteins identified in Mustard: a potential water treatment agent. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(4), 873–880. <https://doi.org/10.1007/s13762-013-0282-4>
- Choy, S Y, Prasad, K. M. N., Wu, T. Y., & Ramanan, R. N. (2015). A review on common vegetables and legumes as promising plant-based natural coagulants in water clarification. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(1), 367–390. <https://doi.org/10.1007/s13762-013-0446-2>
- Choy, Sook Yan, Prasad, K. M. N., Wu, T. Y., Raghunandan, M. E., & Ramanan, R. N. (2014). Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 26(11), 2178–2189. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.09.024>
- Chua, S.-C., Chong, F.-K., Malek, M. A., Ul Mustafa, M. R., Ismail, N., Sujarwo, W., Lim, J.-W., & Ho, Y.-C. (2020). Optimized Use of Ferric Chloride and Sesbania Seed Gum (SSG) as Sustainable Coagulant Aid for Turbidity Reduction in Drinking Water Treatment. *Sustainability*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/su12062273>
- Delelegn, A., Sahile, S., & Husen, A. (2018). Water purification and antibacterial efficacy of *Moringa oleifera* Lam. *Agriculture & Food Security*, 7(1), 25. <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0177-1>
- Departamento Nacional de Planeación. (2019a). ODS 1. Fin de la pobreza. <https://ods.dnp.gov.co/es/objetivos/fin-de-la-pobreza>
- Departamento Nacional de Planeación. (2019b). ODS 3. Salud y bienestar. <https://ods.dnp.gov.co/es/objetivos/salud-y-bienestar>

Departamento Nacional de Planeación. (2019c). ODS 6. Agua limpia y saneamiento. <https://ods.dnp.gov.co/es/objetivos/agua-limpia-y-saneamiento>

Dollah, Z., Masbol, N. H., Musir, A. A., Karim, N. A., Hasan, D., & Tammy, N. J. (2021). Utilization of citrus microcarpa peels and papaya seeds as a natural coagulant for turbidity removal. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 920(1), 12001. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/920/1/012001>

Fauzani, D., Notodarmojo, S., Handajani, M., Helmy, Q., & Kardiansyah, T. (2021). Cellulose in natural flocculant applications: A review. *Journal of Physics: Conference Series*, 2047(1), 012030. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2047/1/012030>

García-Fayos, B., Arnal, J. M., Monforte-Monleon, L., & Sancho, M. (2015). Alternatives to the use of synthetic organic coagulant aids in drinking water treatment: improvements in the application of the crude extract of *Moringa oleifera* seed. *Desalination and Water Treatment*, 55(13), 3635–3645. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.939487>

Jones, A. N., & Bridgeman, J. (2016). An assessment of the use of native and denatured forms of okra seed proteins as coagulants in drinking water treatment. *Journal of Water and Health*, 14(5), 768–779. <https://doi.org/10.2166/wh.2016.015>

Jones, A. N., & Bridgeman, J. (2019). A fluorescence-based assessment of the fate of organic matter in water treated using crude/ purified Hibiscus seeds as coagulant in drinking water treatment. *Science of The Total Environment*, 646, 1–10. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.07.266>

- Kalibbala, H. M., Olupot, P. W., & Ambani, O. M. (2023). Synthesis and efficacy of cactus-banana peels composite as a natural coagulant for water treatment. *Results in Engineering*, 17, 100945. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.100945>
- Kasmuri, N., Shokree, N. S. A., Zaini, N., Ismail, N., Miskon, M. F., Ramli, N. H., & Nayono, S. E. (2023). Treatment of Wastewater by Moringa Oleifera and Maize Seeds as Plant-Based Coagulant. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1140(1), 012010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1140/1/012010>
- Khalique, B., Sarwar, H., Akrem, A., Azam, M., & Ali, N. (2022). Isolation of napin from Brassica nigra seeds and coagulation activity to turbid pond water. *Water Supply*, 22(6), 6050–6058. <https://doi.org/10.2166/ws.2022.203>
- Konkobo, F. A., Savadogo, P. W., Diao, M., Dakuyo, R., & Dicko, M. H. (2023). Evaluation of the effectiveness of some local plant extracts in improving the quality of unsafe water consumed in developing countries. *Frontiers in Environmental Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1134984>
- Krupińska, I. (2020). Aluminium Drinking Water Treatment Residuals and Their Toxic Impact on Human Health. *Molecules*, 25(3). <https://doi.org/10.3390/molecules25030641>
- Kumar Karnena, M., & Saritha, V. (2022). Phytochemical and physicochemical screening of plant-based materials as coagulants for turbidity removal – An unprecedented approach. *Watershed Ecology and the Environment*, 4, 188–201. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wsee.2022.11.006>

- Lawal, N. S., Ogedengbe, K., Olasoju, S. A., & Abdulrasaq, A. A. (2020). Effects of De-Oiled Jute Seed and Cottonseed Extracts as Natural Polymeric Coagulants for Surface Water Treatment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 445(1), 12018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/445/1/012018>
- Odiyo, J., Bassey, O., Ochieng, A., & Chimuka, L. (2017). Coagulation efficiency of *Dicerocaryum eriocarpum* (DE) plant. *Water Research Commission (WRC)*, 43(1). <https://doi.org/10.4314/wsa.v43i1.01>
- Okoro, B. U., Sharifi, S., Jesson, M., & Bridgeman, J. (2022). Protein fractionation of *Hibiscus cannabinus* (kenaf) seeds, its characterization, and potential use for water treatment. *Water Environment Research: A Research Publication of the Water Environment Federation*, 94(11), e10805. <https://doi.org/10.1002/wer.10805>
- Okoro, B. U., Sharifi, S., Jesson, M., Bridgeman, J., & Moruzzi, R. (2021). Characterisation and performance of three Kenaf coagulation products under different operating conditions. *Water Research*, 188, 116517. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116517>
- Ortiz, M., Niño, A., & Forero, G. (2022). Evaluación de la Eficiencia del Tratamiento de Aguas Contaminadas con Fenoles Mediante Electrocoagulación. *Ingenio Magno*, 12(2), 71–84. <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/2427>
- Peralta Ladino, Y. M., & Díaz Olaya, M. del R. (2020). Recuperación de aluminio variando la edad de los lodos de potabilización y su reutilización en el tratamiento de aguas en Casanare. *Ingenio Magno*, 10(2), 93–100. <http://hdl.handle.net/11634/26851>

- Rai, A., Amari, A., Yadav, V. K., Ismail, M. A., Elboughdiri, N., Fulekar, M. H., & Basnet, A. (2022). A Synergistic Effect of *Moringa oleifera*-Based Coagulant and Ultrafiltration for the Wastewater Treatment Collected from Final ETP. *Adsorption Science & Technology*, 2022, 1285011. <https://doi.org/10.1155/2022/1285011>
- Ramal, M. M., Jalal, A. D., Sahab, M. F., & Yaseen, Z. M. (2021). River water turbidity removal using new natural coagulant aids: case study of Euphrates River, Iraq. *Water Supply*, 22(3), 2721–2737. <https://doi.org/10.2166/ws.2021.441>
- Rivera Cañón, A. F., Hernández Carrillo, C. G., & Gómez Cuaspud, J. A. (2021). Evaluation of physicochemical properties of Nopal (*Opuntia Ficus-Indica*) as bio coagulant-flocculant for water treatment. *Journal of Physics: Conference Series*, 2046(1), 012057. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2046/1/012057>
- Simate, G. S., Iyuke, S. E., Ndlovu, S., Heydenrych, M., & Walubita, L. F. (2012). Human health effects of residual carbon nanotubes and traditional water treatment chemicals in drinking water. *Environment International*, 39(1), 38–49. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2011.09.006>
- Soumaoro, I., Pitla, W., Gnandi, K., & Kokou, T. (2021). Health Risk Assessment of Heavy Metal Accumulation in Broiler Chickens and Heavy Metal Removal in Drinking Water using *Moringa Oleifera* Seeds in Lomé, Togo. *Journal of Health & Pollution*, 11(31), 210911. <https://doi.org/10.5696/2156-9614-11.31.210911>
- Taiwo, A. S., Adenike, K., & Aderonke, O. (2020). Efficacy of a natural coagulant protein from *Moringa oleifera* (Lam) seeds in treatment of Opa reservoir water, Ile-Ife, Nigeria. *Heliyon*, 6(1), e03335. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03335>

- Tijjani Usman, I. M., Lee, F.-W., Ho, Y.-C., Khaw, H.-P., Chong, Q.-W., Kee, Y.-M., Lim, J.-W., & Show, P.-L. (2023). Evaluation of *Annona diversifolia* Seed Extract as A Natural Coagulant for Water Treatment. In *Sustainability* (Vol. 15, Issue 7). <https://doi.org/10.3390/su15076324>
- Zaid, A. Q., Ghazali, S. B., Mutamim, N. S. A., & Olalere, O. A. (2019). Experimental optimization of *Moringa oleifera* seed powder as bio-coagulants in water treatment process. *SN Applied Sciences*, 1(5), 504. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0518-0>

Capítulo 2

Diseño de biorreactores para la producción de microalgas

Juan Camilo Cipagauta Velázquez¹
Liceth Yuliana García Menjura²
Liseth Johana Ovalle Rivera³
María Alejandra Rodríguez Ramírez⁴
Lina Patricia Vega⁵

1 Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

2 Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

3 Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

4 Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

5 Facultad de Ingeniería Ambiental, *GICAN*, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

Resumen

Esta investigación realizó una comparación del crecimiento de un consorcio de microalgas dominado por la especie *Chlorella vulgaris*, por medio del diseño de tres biorreactores. Se analizaron los parámetros que influyen en la producción de un consorcio de microalgas aisladas de una fuente superficial ubicada en un terreno dedicado a la actividad pecuaria. Uno de los biorreactores es un recipiente de vidrio con una fuente de luz artificial, el cual permite la medición de la energía lumínica y del calor absorbido por el medio de crecimiento. El segundo biorreactor es un reactor tubular con adición de fertilizante orgánico *NPK* y luz solar; y finalmente, el tercer biorreactor con el agua recolectada y luz solar. Para determinar la eficiencia en cada uno de los biorreactores se realizó el seguimiento del crecimiento mediante la turbidez, la absorbancia, y se realizó el seguimiento de parámetros como el *pH* y la temperatura. El biorreactor con adición de nutrientes fue el que mantuvo mayor eficiencia en la producción de microalgas debido a que se mantiene en un rango óptimo de temperatura, y de suministro de luz natural y alimento.

Palabras clave: Biorreactores, Microalgas, Luz, Eficiencia.

Abstract

This investigation made a comparison of the growth of a consortium of microalgae dominated by the species *Chlorella vulgaris* through the design of three bioreactors. The parameters that influence the production of a consortium of microalgae isolated from a surface source located on land dedicated to livestock activity were analyzed. One of the bioreactors is a glass container with an artificial light source, which allows the measurement of light energy and heat absorbed by the growth medium. The second bioreactor is a tubular reactor with addition of *NPK* organic fertilizer and sunlight; and finally, the third bioreactor with the collected water and sunlight. To determine the efficiency in each of the bioreactors, growth was monitored through turbidity, absorbance, and parameters such

as pH and temperature were monitored. The bioreactor with the addition of nutrients was the one that had the highest efficiency in the production of microalgae because it is maintained in an optimal range of temperature, and the supply of natural light and food.

Keywords: Bioreactors, Microalgae, Light, Efficiency.

1. Introducción

Las microalgas son individuos unicelulares fotosintéticos, capaces de contribuir en la absorción de CO_2 y en la utilización de la energía solar para producir biomasa. (Vega *et al.*, 2023). Esta investigación estudió la microalga *Chlorella* que forma parte del grupo *Chlorophyta*, género que contiene clorofila, proteínas, vitaminas y ácidos esenciales. (Ardila, 2021)

Las especies de *Chlorella* pueden tolerar altas temperaturas (por encima de los 42 °C) y altos niveles de CO_2 , lo que las hace adecuadas para mitigar las consecuencias que tienen los gases de emisión. (Tovar, 2016)

Una de las condiciones que se deben tener en cuenta para un alto crecimiento de microalgas es la temperatura a la cual se exponen los biorreactores, que puede variar entre 20° y 30°C, la cual permite la proliferación de microalgas. Otro parámetro importante es el *pH* del cultivo, ya que este se ve influenciado por varios factores como la productividad algal, la respiración, la alcalinidad y composición iónica del medio de cultivo, la actividad microbiana autotrófica y heterotrófica y la eficiencia del sistema de adición de CO_2 . Por otra parte, es posible determinar -según estudios realizados- que la especie *Chlorella vulgaris* necesita un *pH* de 8 que permita un crecimiento óptimo de la especie, si este parámetro se altera o disminuye el cultivo presenta un descenso en la productividad. (Hernández, 2014)

La producción de las microalgas puede ser mejorada cuando se emplea luz de diferentes fuentes de irradiación (solar o fotovoltaica). La formación, el desarrollo y las propiedades nutritivas de las microalgas pueden cambiar de acuerdo con los nutrientes disponibles que tenga el cultivo, la intensidad lumínica y la longitud de onda de la luz que se difunde, alterando su biomasa, actividad

fotosintética y celular (González, 2015). De igual manera, algunas rutas metabólicas, tasa de crecimiento y composición bromatológica pueden variar teniendo en cuenta la fuente de luz bajo la que se cultive (Fatih, 2010).

A su vez, el crecimiento de microalgas se divide en tres fases donde ocurren un conjunto de sucesos que tienen que ver con el desarrollo del individuo. La primera fase es la de *inducción*, donde las microalgas se adaptan a las condiciones del biorreactor, el cual debe estar enfocado a un aprovechamiento máximo de exposición a la luz solar, al igual que un suficiente y constante suministro de CO_2 . Una vez culmina la adaptación, comienza la fase de *crecimiento*, donde las microalgas se duplican y el único factor que delimitan su tasa es el suministro de alimento y condiciones como temperatura. (Ramírez Duque, 2017).

En el proceso de crecimiento de microalgas, factores como la concentración de biomasa y el suministro de nutrientes influyen. El objetivo es crear un ambiente propicio para el metabolismo y la actividad microalgal. (Richmond, 2013).

La fuente de luz juega un papel muy importante en el conjunto de la solución productiva de microalgas. La luz es radiación electromagnética transmitida en forma de fotones. En las microalgas, la luz es absorbida por pigmentos y fotorreceptoras. Hoy en día, el uso de *LEDs* (Diodo Emisor de Luz) como fuente de luz en los sistemas de producción de microalgas es una solución muy común. Asimismo, podemos encontrar *LEDs* de distintos aspectos, formas, longitudes de onda, eficiencias, etc. La implementación de una u otras configuraciones determinarán en gran medida el resultado del proceso (Aqual Gae, 2023).

Este proyecto analiza los parámetros que influyen en la producción de microalgas provenientes de una fuente superficial, como

los nutrientes, diseño del biorreactor y fuente de luz, realizando una comparación en cuanto al crecimiento de estos organismos. Para cumplir con este objetivo se realizó la siembra de microalgas en el laboratorio de la Universidad Santo Tomás (Tunja, Colombia), usando de forma eficiente la luz solar y artificial proveniente de lámparas *LED*, de tal manera que su crecimiento fuera exponencial en sus primeras etapas. Para ello se tuvieron en cuenta las condiciones químicas y biológicas, analizando la producción de microalgas en cada uno de los biorreactores, realizando una comparación cualitativa. El seguimiento al crecimiento de las microalgas se hizo por medio de la absorbancia, la turbidez y la densidad celular por medio del conteo cualitativo por medio de la cámara Neubauer (Sánchez-Borroto *et al.*, 2019).

2. Materiales y métodos

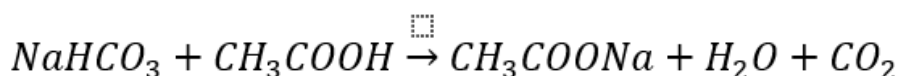
Teniendo en cuenta que el proyecto se realiza con el fin de analizar la incidencia de los parámetros y formas de los biorreactores, es necesario llevar a cabo la comparación entre cada uno ellos debido a los diferentes métodos que se utilizan; por ello se plantea la metodología por medio de 6 fases:

2.1 Identificación de microalgas

Se tomó una muestra de agua superficial (600ml) de un terreno dedicado a la actividad pecuaria, y se llevó al laboratorio con el fin de identificar en el microscopio la presencia de microalgas y su respectiva especie para realizar posteriormente la siembra. Se identificaron las microalgas de la muestra del terreno de agua superficial que correspondió al género *Chorella Vulgaris* del filo *Chlorophyta*.

2.2 Siembra de microalgas

Para la siembra de las microalgas *Chorella Vulgaris* fue necesario filtrar la muestra recolectada con el fin de eliminar sedimentos e insectos presentes. Tras eso se agregaron 600 ml de agua destilada con concentración de fertilizante *NPK* (15-15-15) en concentración de 0,05% en peso, y se agregó CO_2 producido mediante una reacción de 5g de bicarbonato de sodio y 25 ml de ácido acético, mediante la siguiente reacción:



(Ecuación 1)

Por otra parte, se adquirieron 1.000 ml de microalgas de la especie *Chlorella Vulgaris* comercial, las cuales se sembraron en 2 biorreactores: el primero con 200 ml de agua y 2 g de fertilizante *NPK* (15-15-15) y CO_2 , y el segundo se realizó con 200 ml de agua sin fertilizante, y se dejaron expuestos a la luz diurna por 1 semana.

2.3 Diseño y construcción de biorreactores

- **Biorreactores tubulares con luz solar:** Estos biorreactores funcionan con la luz solar y pueden observarse en la figura 1. Para su construcción se utilizaron 4 tubos amarillos traslúcidos de 150 ml cada uno, dispuestos de forma vertical y con una cara orientada hacia la dirección predominante de la luz solar. Se construyeron así dos biorreactores, cada uno con un volumen total de 600 ml. El color amarillo en los tubos se usa para atraer más luz solar debido a la forma en que interactúan con la luz visible y la radiación *UV*. Se tiene en cuenta que el amarillo es uno de los colores más visibles y con mayor longitud de onda del espectro visible, lo que significa

que es fácilmente percibido por nuestros ojos. También es un color que absorbe eficientemente la radiación *UV*, lo que puede ser beneficioso si está almacenando productos que son sensibles a la luz *UV*. Los biorreactores son cerrados, con una entrada para el CO_2 .

- **Biorreactor fotovoltaico:** Este biorreactor consta de un frasco de vidrio cilíndrico, con una capacidad de 1 litro de muestra, con 2 reflectores *LED* fotovoltaicos, cada uno con intensidad lumínica de 20 W, como se muestra en la figura 2. Los reflectores se ubicaron a 2 cm del frasco de vidrio que contiene la muestra de agua. Este biorreactor es cerrado y en la parte superior tiene una entrada con una manguera de inyección de CO_2 . Adicionalmente, este montaje se cubrió por una caja forrada en aluminio con el fin de garantizar un uso eficiente de la luz *LED*, y evitar la entrada de luz natural, con el fin de ver el efecto de la luz *LED* de forma aislada. De esta manera también se mantuvo una la temperatura constante para garantizar un proceso isotérmico. La exposición a la luz fotovoltaica del biorreactor se realizó en un lapso de tiempo de 8 horas diarias.

Figura 1. Biorreactor de columna y luz natural.



Fuente: Autores.

Figura 2. Biorreactor fotovoltaico.



Fuente: Autores.

2.4 Siembra de microalgas

- **Siembra en biorreactor de columna:** Los 4 primeros tubos del biorreactor fueron sembrados con microalgas, adicionando el fertilizante *NPK* y agregando CO_2 . Se distribuyeron 600 ml de la muestra colectada en campo con presencia de microalgas. Los siguientes 4 tubos se les agregó muestra de la misma manera, y CO_2 , pero no fertilizante *NPK*. Los tubos se expusieron a 8 horas diarias de radiación natural durante una semana, Según el *IDEAM*, el promedio nacional de horas de brillo solar en Colombia es de 3.5 horas por día. (*IDEAM*, 2023).
- **Siembra de fotobiorreactor:** Se sembraron en el fotobiorreactor 600 ml de la muestra tomada en campo, se agregó fertilizante *NPK* en la misma proporción que en el biorreactor de columna, y se agregó CO_2 . Se expuso a la luz fotovoltaica durante una semana en fotoperiodos de 8 horas cada día. (Vega, Borda, & Cuéllar, 2022).

2.5 Seguimiento de parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos se analizaron en un espectrofotómetro Nanocolor Vis II de Macherey Nagel. Se tomaron los valores de turbidez y absorbancia del medio a 600 nm de forma periódica. Con un multiparámetro Hanna Instruments, referencia *HI 9829*, se midieron el pH y la temperatura, mientras con una cámara de Neubauer se realizó el conteo de las microalgas. Los tiempos de medición fueron al inicio, y a partir de los 7 días se llevó a cabo un control diario de estos parámetros (*pH*, temperatura, absorbancia y turbidez) para evidenciar el crecimiento de las microalgas. Al final se realizó un conteo para determinar su número y se verificaron las especies presentes.

2.6 Energía absorbida por las microalgas

Para obtener la biomasa final de las microalgas se utilizó el método de filtración de las muestras que se encuentran en los dos biorreactores con el fin de obtener una biomasa húmeda, para luego ser sometida a un proceso de secado en una estufa de aire forzado a 70°C para obtener el peso seco. Esta biomasa se determinó por la diferencia de masas entre masa húmeda y seca, el valor de masa total correspondiente a cada biorreactor en condiciones de adición de fertilizante y no adición de fertilizante. Estos valores se utilizaron en la ecuación de Q(calor), para determinar la cantidad de energía absorbida por las microalgas.

$$Q = m_{biomasa} * C_{H_2O} * \Delta T \quad (\text{Ecuación 2})$$

3. Resultados

3.1 Montaje y conteo inicial de microalgas

La imagen 3 muestra los biorreactores con luz natural, a los 16 días de inicio de los experimentos. A los 4 primeros tubos se les agregó tanto fertilizante *NPK* como CO_2 , mientras que a los 4 últimos se les agregó sólo CO_2 . A simple vista se evidenció una mayor turbidez y color verde más intenso en los 4 primeros tubos, patentizando de forma cualitativa y preliminar una mayor eficiencia al utilizar el fertilizante.

Figura 3. Biorreactor tubular a los 15 días.



Fuente: Autores.

Al momento de observar la muestra antes de sembrar en cada uno de los biorreactores se realizó el conteo con la cámara Neubauer, determinando la cantidad de microalgas observadas en 100 microlitros de muestra, leyendo en un área de 3 cuadros por 3 cuadros de la cámara.

El conteo inicial de los dos biorreactores (fotovoltaico y tubular) se desarrolló en estos pasos:

- **Tubular:** La solución inicial de un tubo al que se le adicionó fertilizante y CO_2 , tenía 74 microalgas en 100 μl . Este tubo al final contenía 531 microalgas en los 100 μl . Un aumento del 617%, mientras que a los 4 tubos sin fertilizante se les aplicó un conteo inicial de 67 microalgas en 100 μl , y el final de 334 microalgas en 100 μl . Un aumento del 398%, aproximadamente la mitad que el anterior.

- **Fotovoltaico:** En este reactor el conteo inicial fue de 28 microalgas en 100 µl, y el conteo final de 4 microalgas en 100 µl, una disminución del 96%. La razón de la disminución se debió a un aumento en la temperatura por encima de los valores recomendados debido a la lámpara fotovoltaica.

3.2 pH, temperatura y turbidez

La tabla 1 muestra el seguimiento en el tiempo de los parámetros pH, temperatura, turbidez y absorbancia durante 16 días.

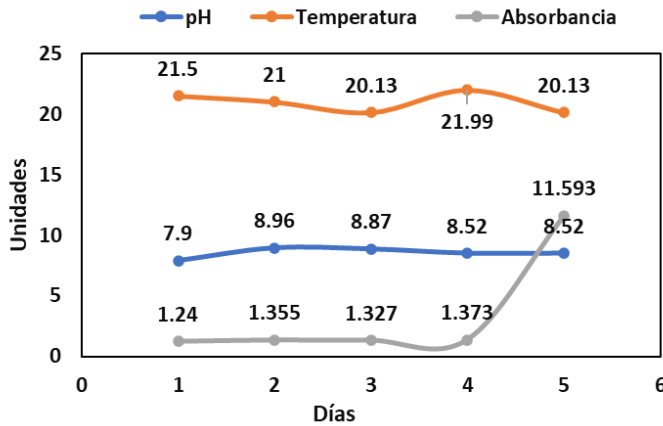
Tabla 1. pH, T, turbidez y absorbancia, biorreactor tubular.

Día	Muestra	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	Absorbancia (A)
1	Agua con especie <i>Chorella vulgarie</i> con fertilizante	7,9	21,5	331,1	1,24
	Agua con especie <i>Chorella vulgarie</i> sin fertilizante	8,3	22,3	91,9	0,788
	Muestra del terreno pecuario	8,4	34,6	147,3	0,39
7	Agua con especie <i>Chorella vulgarie</i> con fertilizante	8,96	21	477,6	1,355
	Agua con especie <i>Chorella vulgarie</i> sin fertilizante	8,7	21	105,9	0,917
	Muestra del terreno pecuario	7,89	32,17	758,3	1,35

Día	Muestra	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	Absorbancia (A)
10	Agua con especie <i>Chorella vulgarie</i> con fertilizante	8,87	20,13	457,1	1,327
	Agua con especie <i>Chorella vulgarie</i> sin fertilizante	8,94	21	119,2	1,019
	Muestra del terreno pecuario	7,85	42,8	94,2	0,235
11	Agua con especie <i>Chorella vulgarie</i> con fertilizante	8,52	21,99	491	1,373
	Agua con especie <i>Chorella vulgarie</i> sin fertilizante	9,43	21,53	147	1,038
	Muestra del terreno pecuario	6	24,75	1.129	50
12	Agua con especie <i>Chorella vulgarie</i> con fertilizante	8,52	20,13	795	11,593
	Agua con especie <i>Chorella vulgarie</i> sin fertilizante	9,46	21	155	1,044
	Muestra del terreno pecuario	6,17	24,75	563	40

Después del día 16 se tomaron estos parámetros de forma diaria, lo cual se presenta en la figura 4. En el biorreactor con fertilizante se pudo observar que en el día 3 se obtuvo una temperatura de 20 °C, una absorbancia de 1.3, y un *pH* de 8. En el día cuatro se observó un cambio de temperatura y de absorbancia indicando el crecimiento de las microalgas.

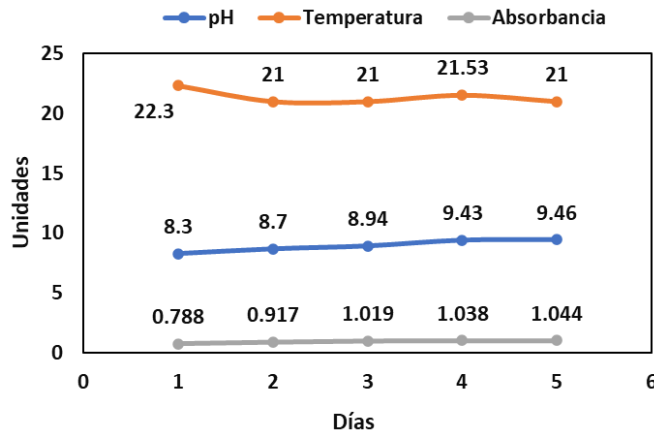
Figura 4. Perfiles de pH , T y absorbancia. Biorreactor tubular con fertilizante y CO_2 .



Fuente: Autores.

En la figura 5 se presentan los perfiles de pH , T y absorbancia para el biorreactor sin fertilizante. Se observa que la temperatura en el día 1 fue mayor de $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ y su pH fue de 8, indicador que mantuvo en este rango su absorbancia en primeros 5 días. Esta conservó un rango de 0,7 a 1,0 menor a la obtenida en el reactor anterior, indicando un menor crecimiento de microalgas.

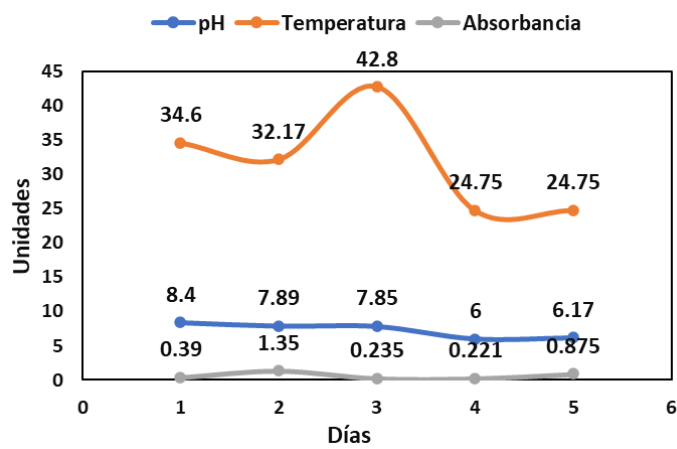
Figura 5. Perfiles de pH , T y absorbancia. Biorreactor tubular con CO_2 , sin fertilizante.



Fuente: Autores.

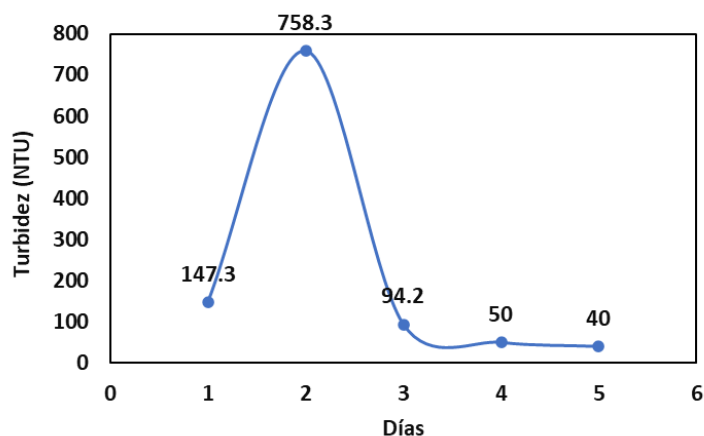
En el biorreactor fotovoltaico (figura 6) se observa que en el día 3 aumentó la temperatura a 42,8 °C con un *pH* de 7,8 y una absorbancia de 0,287. De esta manera se evidenció que las altas temperaturas generaron una disminución en el crecimiento y la posterior muerte de las microalgas.

Figura 6. Perfiles de *pH*, *T* y absorbancia. Biorreactor fotovoltaico con CO₂ y fertilizante.



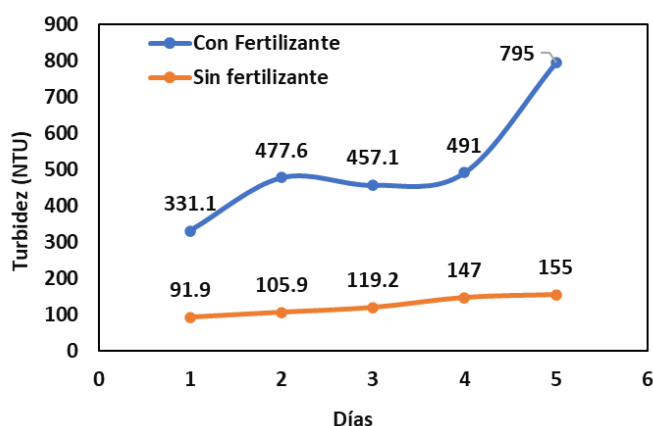
Fuente: Autores.

En la siguiente figura podemos observar un crecimiento importante de microalgas en el biorreactor fotovoltaico, que corresponde al aumento de la turbidez hasta el día 2. A partir del día 3 la turbidez disminuyó debido al aumento de temperatura, generando una alta tasa de mortalidad de las microalgas.

Figura 7. Perfiles de turbidez. Biorreactor fotovoltaico con CO_2 y fertilizante.

Fuente: Autores.

Por otra parte, en el biorreactor *con* fertilizante o *sin* él, en la turbidez podemos observar (figura 8) que en el biorreactor *con* fertilizante se obtuvo un mayor crecimiento de microalgas, mientras en el reactor *sin* fertilizante se obtuvo un menor crecimiento de microalgas.

Figura 8. Perfiles de turbidez. Biorreactores con luz natural.

Fuente: Autores.

3.3 Biomasa de microalgas y transferencia de calor

La tabla 2 muestra los datos de biomasa del biorreactor *con* fertilizante, teniendo en cuenta la masa húmeda y la masa seca.

Tabla 2. Biomasa total biorreactor con fertilizante / CO₂

N.º Cápsula	Masa húmeda (g)	Masa seca (g)	Masa total (g)
1	4,221	4,25	0,29
2	3,895	3,948	0,053
3	4,207	4,312	0,105
4	4,3999	4,414	0,0141
5	4,395	4,453	0,058
6	4,22	4,235	0,015
7	4,393	4,41	0,017
8	4,23	4,248	0,018
9	3,77	3,789	0,019
TOTAL (Kg)	0,0003281		

La tabla 3 muestra los datos de biomasa del biorreactor *sin* fertilizante, teniendo en cuenta la masa húmeda y masa seca.

Tabla 3. Biomasa total biorreactor sin fertilizante / CO₂

N.º Cápsula	Masa húmeda (g)	Masa seca (g)	Masa total (g)
10	4,412	4,414	0,002
11	4,226	4,228	0,002
12	4,218	4,219	0,001
13	4,225	4,227	0,002
TOTAL (Kg)	7,00E-06		

En la tabla 4 muestra el calor absorbido por las microalgas en los biorreactores con luz natural *con* fertilizante o *sin* él.

Tabla 4. Calor absorbido por microalgas

Q (Calor absorbido) POR MICROALGAS			
Con Fertilizante		Sin fertilizante	
$\Delta T (^{\circ}C)$	Q (J)	$\Delta T (^{\circ}C)$	Q (J)
8,48	11,6	9,105	0,27

4. Análisis de resultados

4.1 Comportamiento del pH y la temperatura en el crecimiento de microalgas

Durante el periodo de cultivo de las microalgas del biorreactor sometido a luz ultravioleta del sol, se notó un ligero aumento de valores de pH en el segundo día de cultivo, posteriormente se mantuvo (entre 7 y 9), la temperatura se mantuvo no excediendo los 22°C. Este comportamiento es de esperar cuando la fuente de nitrógeno está compuesta por nitratos en este caso $Ca(NO_3)_2$. Con respecto a la temperatura debe tenerse en cuenta que la exposición a la luz UV provoca el incremento en algunos grados de la temperatura del cultivo. Según (Hernández, 2014), este valor de temperatura usualmente no sobrepasa el rango óptimo (de 20 – 30 °C). Por otro lado, el biorreactor fotovoltaico experimentó un incremento de temperatura a valores que superó 35°C, lo cual ocasiona daño celular y afecta el crecimiento de las microalgas, por lo que debe mejorarse el diseño para permitir la entrada de luz, pero no estos aumentos de temperatura en el sistema.

4.2 Efecto del suministro de CO₂ para el crecimiento de la microalga *Chlorella vulgaris*

Según el estudio de (Clément-Larosère *et al.*, 2014), según el cual determinaron usando concentraciones de CO₂ al 2% y 13%, que el medio de cultivo tiene un efecto significativo en el crecimiento

celular cuando dichas concentraciones son mayores. En el proceso de crecimiento de las microalgas, la disponibilidad de carbono depende de diferentes mecanismos físicos y químicos. Cuando se realiza una inyección de CO_2 gaseoso se producen varios fenómenos como la condensación y la solubilización del CO_2 en diferentes formas, lo cual depende del pH del medio, y consumo de CO_2 por microalgas a través de la fotosíntesis. En general, se debe mantener un suministro contante a una tasa que no disminuya mucho el pH , y que sea consumido por las microalgas para generar una tasa de crecimiento óptima.

4.3 Efecto del suministro de nutrientes para el crecimiento de la microalga *Chlorella vulgaris*

En la figura 8 se presenta la relación del aumento de turbidez en los biorreactores tubulares con adición de CO_2 , con nutrientes o sin ellos. En ella se evidencia un mayor crecimiento de microalgas mediante la adición de nutrientes. Por lo tanto, el suministro del fertilizante con N , P y K , es de muy importante en proceso metabólico y energético de las microalgas.

4.4 Calor absorbido

Con respecto al calor absorbido es necesario tener en cuenta la variación de temperatura de los biorreactores, y el calor específico del agua, la diferencia de masa se obtiene a partir de la producción de biomasa en condiciones de humedad y secado.

Se obtienen datos de calor absorbido en 0,0003281 Kg de biomasa, que corresponden a un valor de $Q=11,6 \text{ J}$ con condiciones de fertilizante y CO_2 , para condiciones de biorreactor sin fertilizante con CO_2 , se obtiene $Q=0,27 \text{ J}$ en $7,00\text{E}-6 \text{ kg}$ de biomasa, lo que indica que en condiciones de fertilizante y CO_2 , las microalgas absorben mayor energía que en condiciones de no fertilizante.

5. Conclusiones

De acuerdo con los resultados de diversos estudios sobre el cultivo de microalgas, podemos concluir que el aumento de turbidez en el biorreactor tubular, el cual es indicador del crecimiento de las microalgas, puede sin embargo limitar el crecimiento de las microalgas al reducir la cantidad de luz solar que llega al cultivo.

Es importante considerar la temperatura del medio de cultivo, ya que las microalgas pueden crecer de manera adecuada en un rango de temperatura específico, que puede variar según la especie. En este caso, se encontró que las microalgas de tipo *Chlorella vulgaris* crecen de manera adecuada a una temperatura que varía entre los 18 y 20°C.

Se observa que las microalgas crecen de manera adecuada en los biorreactores donde se les proporciona luz *UV* y no luz fotovoltaica. Una exposición prolongada a la luz fotovoltaica intensa a las microalgas puede disminuir la eficiencia fotosintética, lo que puede provocar su crecimiento; por lo tanto, si se desean cultivar microalgas dentro de un biorreactor de manera eficiente, se debe considerar no sólo la cantidad de luz, sino también su frecuencia y duración para asegurarse de que se estén proporcionando las condiciones adecuadas para su crecimiento saludable.

En cuanto a los nutrientes necesarios para el crecimiento de microalgas, se ha encontrado que una correcta proporción de *NPK* y *CO*₂ son importantes para su desarrollo. Asimismo, se han estudiado las condiciones de fertilizante y *CO*₂ en el cultivo de microalgas, y se ha encontrado que en estas condiciones las microalgas absorben una cantidad mayor de energía que en las condiciones de *no* fertilizante. La producción de biomasa es esencial para determinar la cantidad de masa que se produce en condiciones de humedad y secado, y es un factor importante para estimar la cantidad de calor absorbido por las microalgas.

En resumen, se ha observado que la calidad e intensidad de luz son factores clave en el crecimiento de microalgas, y que es importante utilizar una combinación adecuada de temperatura y nutrientes en el medio de cultivo; por lo tanto, el biorreactor construido que reveló eficiencia en el crecimiento de microalgas fue el de forma columnar, en el cual se proporcionó luz *UV* y fertilizante NPK. (Clement, 2014)

6. Referencias

- Aqual Gae. (2023). *El uso de los LED como fuente de luz en la producción de microalgas*. Disponible en: https://Aqualgae.Com/Es/Luz_eleccion/.
- Ardila, C. A. (2021). *Desarrollo de una pasta con salsa de queso incorporando la microalga espirulina máxima (Chlorella vulgaris) como posible fuente de proteína y ácidos grasos*.
- Clement, B.-L. F.-T. B.-B. M.-M. M.-P. D. (2014). *Guía de Prácticas de Laboratorio de Microbiología Ambiental*.
- Clément - Larosére, B., Lopes, F., Taidi, B., Benedetti, M., Minier, M., & Pareau, D. (2014). Carbon dioxide biofixation by Chlorella Vulgaris at different CO2 concentration and light intensities. *Engineering in Life Sciences*, 14, 509–519.
- Fatih, D. (2010). *Biocombustibles a partir de algas para el desarrollo sostenible*.
- González, A. (2015). ¿Qué son las microalgas? Interés y uso. *Cajamar ADN Agro*, 11.
- Hernández, A.-L. J. (2014). *Microalgas, cultivo y beneficios*
- Ramírez Duque, J. L. (2017, June 5). *Viabilidad en la producción de biomasa microalgal a partir de fotobioreactores solares en el Valle del Cauca, Colombia*.
- Richmond, A. (2013). *Handbook of Microalgal Culture*. John Wiley & Sons, Ltd. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/9781118567166>

Sánchez-Borroto, Y., Tobío Pérez, I., Díaz Domínguez, Y., & Melo-Espinosa, A. (2019). Evaluación de las condiciones experimentales básicas para la producción de biomasa a partir de la microalga *Chlorella vulgaris*. *Afinidad - Barcelona*. <https://www.researchgate.net/publication/332288972>

Tovar, C.-R. J. (2016). *Propuesta de escalamiento de un fotobioreactor para la microalga chlorella vulgaris a nivel piloto*.

Vega, L. P., Cuellar, L. A., & Borda, W. J. (2023). *Guía de prácticas de laboratorio de microbiología ambiental*.

Capítulo 3

Biominería de hierro mediante el uso de bacterias provenientes de la minería del carbón

Diego Andrés Arteaga Zanguña¹
Laura Natalia Patiño Gómez²
Lina Patricia Vega-Garzón³
Yuddy Alejandra Castro Ortegón⁴

¹ Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

² Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

³ Facultad de Ingeniería Ambiental, *GICAN*, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

⁴ Facultad de Ingeniería Ambiental, *GICAN*, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

Resumen

La minería es una actividad humana desarrollada desde hace miles de años, principalmente por la industria metalúrgica, que realiza extracción de minerales y los transforma para lograr un mayor estado de pureza generando en muchos casos contaminación ambiental. Un ejemplo es la producción de hierro a partir de minerales como la hematita, la cual se transforma en los altos hornos, reduciéndose, pero generando grandes cantidades de CO_2 y otros contaminantes atmosféricos, además de ser un proceso intensivo en el consumo de energía. La biominería busca la extracción de metales de sus minerales mediante procesos biológicos para realizar la extracción de los metales con menores impactos ambientales. Este estudio realizó el aislamiento de bacterias provenientes de minas de carbón de Boyacá, Colombia, con el potencial de solubilizar Fe (III) en solución acuosa a partir de hematita, y comprobó su efectividad de solubilizar hierro a partir de hematita en la presencia de azufre. De esta manera se sientan las bases para establecer un proceso novedoso de biominería con aplicaciones en la formulación de productos de hierro en diversos campos productivos.

Palabras clave: Biominería, Hierro, Microorganismos, Reducción, Ambiente.

Abstract

Mining is a human activity developed for thousands of years, mainly by the metallurgical industry, which extracts minerals and transforms them to achieve a higher state of purity, generating environmental pollution in many cases. An example is the production of iron from minerals such as hematite, which is transformed in the blast furnaces, reducing it, but generating large amounts of CO and other atmospheric pollutants, as well as being an intensive process in the consumption of energy. Biomining seeks the extraction of metals from their minerals through biological processes for extracting metals with less environmental impact. This study carried out the isolation of bacteria from coal mines in Boyacá, Colombia, with the potential

to solubilize Fe (III) in aqueous solution from hematite and verified its effectiveness in solubilizing iron from hematite in the presence of sulfur. In this way, the foundations are laid to establish a novel biomining process with applications in the formulation of iron products in various productive fields.

Keywords: Biomining, Iron, Microorganism, Reduction, Ambient.

1. Introducción

El hombre ha realizado actividades mineras a lo largo de su historia para extraer minerales y metales necesarios para la producción de múltiples bienes (Srivastava & Srivastava, 2022). Los minerales más comunes para la extracción del hierro son la magnetita (Fe_3O_4) y la hematita (Fe_2O_3). El hierro presente en forma de óxidos se somete a un proceso de reducción en presencia de CaO y coque, con lo cual se genera CO_2 , el metal en su forma deseada (Fe) y escoria (Torres Búa, 2014).

Actualmente, se investigan diversos procesos bioquímicos que pueden reemplazar estos procesos químicos, que, aunque son altamente eficientes, consumen materias primas no renovables y energía, y generan múltiples residuos e impactos ambientales (Chen *et al.*, 2022).

Bajo condiciones controladas y específicas, algunas bacterias han demostrado la capacidad de reducir este tipo de minerales. Las bacterias *Acidithiobacillus ferrooxidans* que son acidófilas, oxidan el hierro como parte de su metabolismo. Este proceso ha sido utilizado para obtener hierro a partir de sulfuros (Johnson *et al.*, 2013). Pero a su vez las mismas bacterias, bajo ciertas condiciones, aportando azufre elemental pueden generar reacciones de reducción del óxido y convertir de esta manera el hierro a su estado elemental (Johnson *et al.*, 2013). Estas bacterias se adaptan fácilmente a distintas condiciones de pH , utilizan como fuente de alimento diversas materias -ya sean de tipo orgánico o inorgánico-, y crecen de forma rápida en dichos ambientes, por lo que su potencial uso en la biominería ofrece un campo con muchas posibilidades para explorar (Bernadelli *et al.*, 2017).

Efectivamente, en los laboratorios de la Universidad Santo Tomás se aislaron tres tipos distintos de bacterias provenientes de suelos

contaminados de minas de carbón. Se encontraron *Bacillus gram* negativos y *gampositivos* y *cocos gram* positivos, y se cultivaron a diversas condiciones para observar su respuesta ante la presencia de hierro a distintas concentraciones. Se agregó *Fe* (III) y *Fe* (II) en forma de sulfato férrico y ferroso, y se encontró que para estos 3 tipos de bacterias, la adición de *Fe* en sus formas oxidadas y en la presencia de S, favorecía su crecimiento.

Hoy en la minería extractiva del hierro se encuentran altos contenidos de contaminantes asociados a la hematita, que generan impactos negativos en el entorno; por eso, este estudio busca adelantar la extracción del hierro (hematita) mediante el uso de bacterias provenientes de la minería del carbón, mediante el aislamiento de bacterias provenientes del agua y suelo de las minas mencionadas, y posteriormente se realizó la tinción de *gran*. Finalmente, se utilizaron estas las bacterias con buena respuesta al *Fe*, para interactuar con el mineral de hematita (Fe_2O_3) en medio acuoso cambiando el *pH*, y la cantidad de nutrientes para así encontrar si se producen reacciones de reducción del *Fe* y su mayor solubilización.

2. Materiales y métodos

2.1 Aislamiento de las bacterias

Se realizó una recolección de suelos y agua de los procesos de minería de carbón en Boyacá. Luego, se prepararon dos muestras provenientes de la mina la Sierra: la primera corresponde a una solución de 5 gramos del suelo en 45 mililitros de agua destilada, y la segunda a una dilución de 15 mililitros del agua en 50 mililitros de agua destilada. De estas soluciones se sembraron 10 μ l en el agar *PCA* para así obtener dos cultivos.

Las otras dos muestras se prepararon con el suelo y el agua proveniente de la mina *El Diamante*, para cuya tercera solución se

tomaron 5 gramos del suelo diluidos en 45 ml de agua destilada, y de esta solución se sembraron 30 μ l en agar *PCA*. Finalmente la cuarta muestra se tomó lavando las rocas con agua destilada hasta completar 40 mililitros y de esta solución se sembraron 10 μ l en agar *PCA*, las cuales se dejaron incubando 48 horas a 35°C.

2.2 Tinción de Gram

Terminado el tiempo de incubación se realizaron nuevas siembras de los primeros cultivos en agar *PCA*, y posterior a ello se realizó tinción de Gram a cada cultivo sembrado (siembra y resiembra) para realizar la identificación de las mismas.

2.3 Aislamiento de las bacterias con hematita

Se realizó nuevamente el aislamiento de las bacterias producto de la resiembra en solución acuosa a distintos niveles de *pH*, y con distintas concentraciones de nutrientes.

2.4 Análisis de la reducción del hierro en solución

Para verificar la reducción del hierro se usa el mineral de hematita (Fe_2O_3) proveniente de las minas objeto de estudio, se verifica cuáles cajas presentaban mayor crecimiento de colonias comparado con el blanco, y una vez definidas las bacterias que mejor se comportaban en la presencia de hierro, se sembraron en 125 mililitros de caldo nutritivo, y se incubaron 48 horas.

Paso seguido, se buscó verificar si estas bacterias utilizaban compuestos de hierro para su metabolismo o mediante algún otro mecanismo. Para esto se agregaron 100 milimoles de hierro en forma de sulfato a cada caja de agar, y se sembraron de nuevo a profundidad y superficialmente. Estas cajas de Petri enriquecidas con hierro se incubaron durante 48 horas.

A estas soluciones se les midió la turbiedad inicial y final después de las 120 horas, con el fin de identificar el desarrollo bacteriano en el medio de cultivo.

3. Resultados

Como resultados de las fases metodológicas, se adelantaron mediciones de turbiedad: en la tabla 1 se presenta la variación en la turbidez desde este parámetro para cada uno de las muestras; los cultivos en caldo nutritivo de las bacterias escogidas para los ensayos posteriores, debido a su mejor comportamiento en presencia de Fe: para el caso de la primer muestra de las rocas se encontró que la turbiedad aumentó 360.6 *UNT*, en el caso de la muestra proveniente del suelo (bacterias 2) la turbiedad aumentó 738.2 *NTU*, es decir aproximadamente el doble de la turbiedad con respecto a las rocas. Para la muestra del agua de la segunda mina con Fe (bacterias 3) aumento 531.4 *NTU*, y por último la muestra de agua la segunda mina (bacterias 4) experimentó un aumento de 502 *NTU*. En general, se observó que las bacterias con adición de Fe (bacterias 3) crecieron más, y las del suelo (bacterias 2) generaron un mayor número de bacterias por *ml*.

Tabla 1. Crecimiento de las bacterias afines al hierro.

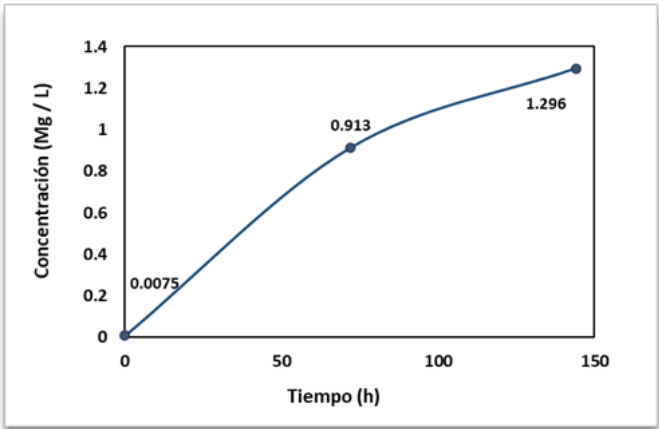
Muestra	Turbidez inicial	Turbidez final	Cantidad aumentada
Bacterias 1	20,9 NTU	381,5 NTU	360,6 NTU
Bacterias 2	10,0 NTU	748,2 NTU	738,2 NTU
Bacterias 3	2,3 NTU	533,7 NTU	531.4 NTU
Bacterias 4	24,4 NTU	526,4 NTU	502,0 NTU

Turbidez a las 48 y 120 horas. *Fuente:* Autores.

En cuanto a la concentración de hierro en la solución tras el tratamiento con las bacterias, se encontró que -pasadas 140 horas-,

las concentraciones en la muestra de bacterias 1, pasaron según la figura 1 de 0.0075 mg/l a 1.29 mg/l, para las muestras de bacterias denominadas 1, 2, 3 y 4, respectivamente.

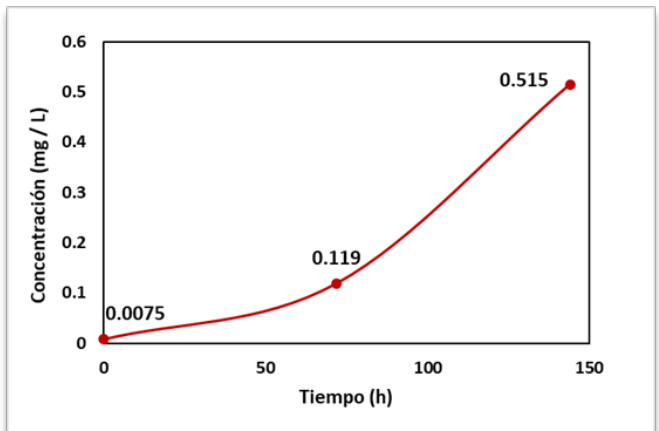
Figura 1. Solubilización del Fe II para la muestra de Bacterias 1.



Fuente: Autores.

Para la muestra de bacterias 2 -según la siguiente figura- hubo un aumento en la concentración de Fe II, pasando de 0.0075 mg/l a 0.51 mg/l.

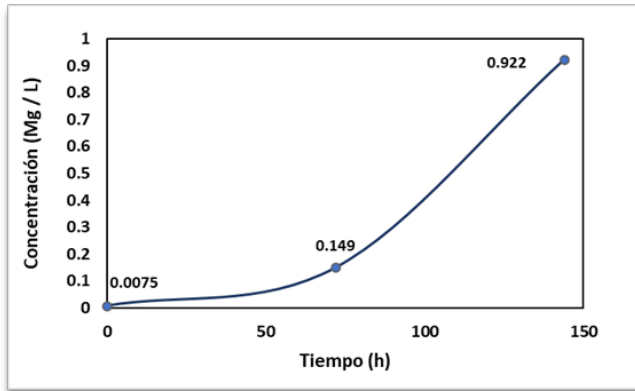
Figura 2. Solubilización del Fe II para la muestra de Bacterias 2.



Fuente: Autores.

En el caso de la muestra 3, se encontró que la concentración de *Fe* II, pasó de 0.0075 mg/l a 0.922 mg/l, encontrándose el aumento en la concentración de *Fe* II.

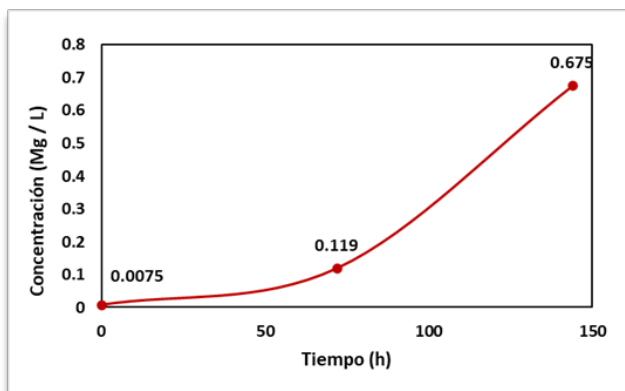
Figura 3. Solubilización del *Fe* II para la muestra de Bacterias 3.



Fuente: Autores.

Finalmente, en el caso de la muestra 4 se encontró que la concentración de *Fe* II, pasó de 0.0075 mg/l a 0.675 mg/l, encontrándose el aumento en la concentración de *Fe* II en cada una de las muestras anteriores.

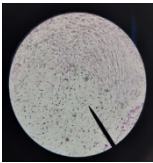
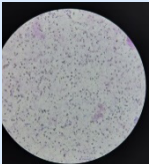
Figura 4. Solubilización del *Fe* II para la muestra de Bacterias 3.



Fuente: Autores.

Paso seguido en la tabla 2, se muestran los resultados de la *tinción de gram* para las muestras de bacterias 1 y bacterias 3, que dieron los mejores resultados de solubilización de *Fe*. Esta tinción mostró como resultado que eran bacilos y en ambos casos la tinción se realiza solo sobre la superficie de color morado, característica propia de las bacterias *Acidithiobacillus ferrooxidans*, por lo que se puede inferir que es esta especie o alguna similar, lo cual debe ser confirmado mediante análisis genéticos que estaban por fuera del alcance del presente estudio, pero se presentan como necesarios en las etapas posteriores de la presente investigación.

Tabla 2. Resultados de la prueba de tinción de Gram. Bacterias 1 y 3

Tipo de tinción	Muestras	Imagen	Posible tipo de bacterias	Coloración
Tinción de Gram	Bacteria 1		<i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i> Cocos y bacilos Gram positivos	Algunas no presentan coloración, pero hay otra que si presentan una coloración purpura.
Tinción de Gram	Bacterias 2		<i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	No presenta.

Fuente: Autores.

4. Discusión

Los resultados obtenidos de aumento en la turbiedad evidencian que en todas las muestras existió crecimiento bacteriano, y en general se puede establecer una relación directa entre turbiedad y concentración bacteriana según (Caycedo Lozano *et al.*, 2021).

Según los resultados obtenidos y presentados en las figuras se puede inferir que las bacterias con mayor eficiencia para la solubilización de la hematita (Fe_2O_3) fueron la número 1 y la 3. Sin embargo, dado que los experimentos se hicieron sólo bajo condiciones normales de pH , sin variar la concentración de bacterias, nutrientes, etc., se deben llevar a cabo experimentos adicionales para determinar cuáles son sus eficiencias bajo las condiciones óptimas de crecimiento y desarrollo de cada especie.

Es por esto que se obtuvieron las dos muestras que lograron solubilizar la mayor cantidad de hematita (Fe_2O_3) a otras especies de hierro solubles en agua, para realizar una prueba de tinción de Gram con el fin de poder identificar el tipo de bacterias presentes en cada muestra.

En la muestra de roca 2 de la segunda mina (Bacterias 1) se presentó coloración, hecho que indicó que se encontraron bacilos y *cocos Gram* positivos.

De igual manera, se observaron otros que no presentaron coloración por lo que se cree que pueden ser bacterias del tipo *Acidithiobacillus ferrooxidans*, las cuales tienen una pared celular más resistente y gruesa que no permite la tinción bajo este método. Por otra parte, en la muestra de agua de la mina *La Sierra* (Bacterias 3) se encontraron bacilos y algunos cocos por lo que podría indicar también la presencia de la bacteria *Acidithiobacillus ferrooxidans*, ya que su forma característica es de bacilos y tampoco se presentó coloración bajo este método de tinción.

5. Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad Santo Tomás - Seccional Tunja por permitirnos la utilización de los laboratorios para llevar a cabo esta investigación.

6. Conclusiones

Los análisis microbiológicos preliminares en el laboratorio permitieron concluir que se encontraron bacterias similares a la especie *Acidithiobacillus ferrooxidans*, a partir de muestras recolectadas de minas de carbón. Los resultados de tinción de Gram y de comportamiento según la presencia de metales y azufre coinciden con algunas de las características que presenta dicha bacteria, por lo que la etapa siguiente es hacer el secuenciado genético para definir el tipo de bacterias que se hallaron en el presente estudio.

Las bacterias aisladas de las muestras de roca de la mina *El Diamante* y de agua de la mina La Sierra, tienen un potencial uso en la solubilización de hierro – bajo, según las condiciones utilizadas en el presente estudio, puesto que estas fueron las que presentaron mayor solubilidad de hematita (Fe_2O_3) a especies solubles de hierro en agua.

Se demostró el potencial de reducción del hierro (Fe III) por parte de las bacterias encontradas en las muestras analizadas, bajo condiciones normales, mostrando así, la necesidad de explorar la eficiencia de esta reducción bajo distintas condiciones de crecimiento de las bacterias, lo cual puede mejorar los resultados obtenidos en esta fase de la investigación.

Esta extracción del hierro mediante reducción permite su utilización en la industria, logrando así un avance en la minería del hierro esto con la utilización de microorganismos y sin generar contaminación ambiental como en los procesos convencionales.

7. Referencias

- Bernadelli, C., J. del C. Plaza Cazón, M. S. Urbietta, y E. R. Donati, «Biomínería: Los Microorganismos en la Extracción y Remediación de Metales», sep. 2017, Accedido: 21 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/57998>
- Caycedo Lozano, L., Ramírez, L. C. C., Suárez, D. M. T. (2021). “Las bacterias, su nutrición y crecimiento: Una mirada desde la química”. Nova, 19(36), 49-94. <https://doi.org/10.22490/24629448.5293>
- Chen, J. Y. Liu, P. Diep, y R. Mahadevan, «Genetic engineering of extremely acidophilic Acidithiobacillus species for biomining: Progress and perspectives», J. Hazard. Mater., vol. 438, p. 129456, sep. 2022, doi: 10.1016/j.jhazmat.2022.129456.
- Guerrero Rojas, J. J. (2012, agosto 1). Biominería.
- Johnson, D. B. (2014). Biomining—Biotechnologies for extracting and recovering metals from ores and waste materials. Current Opinion in Biotechnology, 30, 24-31. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2014.04.008>
- Johnson, d. b., B. M. Grail, y K. B. Hallberg, «A New Direction for Biomining: Extraction of Metals by Reductive Dissolution of Oxidized Ores», Minerals, vol. 3, n.o 1, Art. n.o 1, mar. 2013, doi: 10.3390/min3010049.
- Rodríguez, E. (s. f.). “Historia de la biotecnología y sus aplicaciones”. Recuperado 12 de noviembre de 2022, de: https://www.academia.edu/34365217/historia_de_la_biotecnolog%C3%8da_y_sus_aplicaciones

Rodríguez, H. (2020, noviembre 9). Biominería espacial: Microbios mineros a la búsqueda de tierras raras. Recuperado de: www.nationalgeographic.com.es.

Saavedra Olaya, A. U., & Corton, E. (2014). "Biotecnología microbiana aplicada a la minería". <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/33444>

Srivastava, J. y Srivastava, P. «Biomining Microorganisms' Molecular Aspects and Applications in Biotechnology and Bioremediation», en Research Anthology on Emerging Techniques in Environmental Remediation, 2022, pp. 569-582. doi: 10.4018/978-1-6684-3714-8.ch031.

Torres Búa, M. «4.2.1.- Obtención del mineral de hierro. | Materiales de uso técnico», 2014. https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947174/contido/421_obtencin_del_mineral_de_hierro.html (accedido 23 de agosto de 2022).

Capítulo 4

Biorremediación de colorantes utilizando microalgas

Paula Tatiana García Amado¹
Ximena Patricia Reatigui Mateus²
Lina Patricia Vega Garzón³
Yuddy Alejandra Castro Ortegón⁴

¹ Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

² Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

³ Facultad de Ingeniería Ambiental, *GICAN*, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

⁴ Facultad de Ingeniería Ambiental, *GICAN*, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

Resumen

Los colorantes son unos de los mayores contaminantes del agua, afectando a los ecosistemas y a los seres humanos. Entre ellos se encuentra el azul de metileno (AM) o cloruro de metiltionina, un colorante orgánico tóxico no biodegradable, utilizado en la industria textil, en medicina y en pruebas de laboratorio químico y microbiológico. Esta investigación analiza la remoción de este colorante en agua por medio de microalgas. Para esto se construyeron 6 fotobiorreactores para su cultivo, bajo diferentes condiciones de adición de fertilizantes inorgánicos y de dióxido de carbono. Se analizaron las condiciones óptimas de crecimiento, las cuales tuvieron seguimiento a través de parámetros tales como la turbidez y la absorbancia. Se seleccionó el cultivo que estaba en mejores condiciones, el cual tenía predominancia de las especies *Chlamydomonas sp*, *Scenedesmus Sp*, y *Tetraselmis Chuii*, para hacer la remoción del colorante. Se realizaron 3 experimentos con concentraciones iniciales de azul de metileno de 12, 10 y 8 mg/L, obteniendo un porcentaje de remoción máximo del 96.1 %, demostrando por primera vez una óptima eficiencia de estas especies en la remoción de este contaminante persistente.

Palabras clave: Azul de metileno, *Chlamydomonas sp*, Colorantes, Fotobiorreactores, Microalgas, Remoción, *Scenedesmus Sp*, *Tetraselmis Chuii*.

Abstract

Dyes are one of the biggest water pollutants, affecting ecosystems and humans. Among them is methylene blue or methylthionine chloride, a non-biodegradable, toxic organic dye used in the textile industry, in medicine, and in chemical and microbiological laboratory tests. This research analyzes the removal of this dye in aqueous solution by means of microalgae. For this, 6 photobioreactors were built for their cultivation, under different conditions of addition of inorganic fertilizers and carbon dioxide. The optimal growth conditions were analyzed, which were monitored through parameters such as turbidity and absorbance. The crop that was in better condition was selected,

which had a predominance of the species *Chlamydomonas* sp, *Scenedesmus* Sp, and *Tetraselmis Chuii*, to remove the dye. Three experiments were carried out with initial concentrations of methylene blue of 12, 10 and 8 mg/L, obtaining a maximum removal percentage of 72%, demonstrating for the first time the efficiency of these species in removing this persistent pollutant.

Keywords: Chlamydomonas sp, Dyes, Methylene blue, Microalgae, Photobioreactors, Removal, Scenedesmus Sp, Tetraselmis Chuii.

1. Introducción

La polución generada por colorantes como el azul de metileno en los cuerpos de agua, genera afectaciones a la salud y altera los ecosistemas, esto sucede porque el colorante presenta características tóxicas, carcinógenas, no biodegradables y persistentes (Herrera Gutiérrez & Carrillo Pacheco, 2017). En este artículo se presentan los resultados de la remoción de azul de metileno usando las microalgas *Chlamydomonas sp*, *Scenedesmus Sp*, y *Tetraselmis Chuii*. De esta manera se verificó su potencialidad en la biorremediación de aguas residuales y el efecto de las variables que afectan su remoción (Rosales *et al.*, 2018). Para esto se estudió en la literatura que microalgas han sido utilizadas previamente para remover este tipo de compuestos, y como se cultivan. De esta manera se recolectaron las especies *Chlamydomonas sp*, *Scenedesmus Sp*, y *Tetraselmis Chuii*, de un depósito de agua en el municipio de Tunja, y se cultivaron en fotobiorreactores cerrados a los que se le agregó de manera intermitente CO_2 y nutrientes en diferentes concentraciones. Tras esto análisis se estandarizó el método de cultivo de tal manera que fuera efectivo y reproducible (Elizabeth Acosta Pincay Roque Alberto Moreira Antón, n.d). Estas especies han sido reportadas en la literatura por su capacidad de remoción de *DBO* y *DQO*, colorantes azoicos, y metales como cromo, plomo y mercurio, mostrando una alta capacidad de remoción.

Así mismo se ha estudiado su efectividad a diferentes niveles de pH, pero en la revisión realizada no se encontró evidencia de estudios que demuestren su capacidad de remover azul de metileno (Ávila Peltroche, 2018).

Por estas razones, este estudio implementó un diseño experimental para analizar los porcentajes de remoción de este colorante teniendo como variables el pH, y el porcentaje de nitrógeno y de CO_2

como nutrientes (Avelinda Valle Ramírez de Arellano *et al.*, 2007). De esta manera se contribuye al conocimiento de los procesos de remoción de contaminantes mediante tecnologías sostenibles como el uso de microalgas.

2. Metodología

2.1 Cultivo de microalgas

Para realizar este estudio se recolectó agua de una fuente superficial en los alrededores de la ciudad de Tunja, Boyacá, Colombia. Para el cultivo se usaron 6 biorreactores con dimensiones de 7 x 11.3 x 14.6 cm, y cada uno con capacidad de 200 ml. Se agregó a cada uno 200 ml del agua recolectada, y se añadieron fertilizante NPK 10-30-10 y NPK 28-8-7, y CO₂, la distribución de la cantidad de fertilizante para cada uno de los fotobiorreactores se puede observar en la Tabla 1. Los biorreactores se dejaron a temperatura ambiente, y con una fuente de luz artificial. En la figura 1 se presenta el montaje.

Tabla 1. Condiciones de cultivo en cada fotobiorreactor.

Bioreactor	FBR 1	FBR 2	FBR3
Fertilizante	Sin fertilizante	1,5 g fertilizante NPK 10-30-10	1,5 g fertilizante NPK 28-8-7
Adición de CO ₂	No	Si	Si
Bioreactor	FBR 4	FBR 5	FBR 6
Fertilizante	1,5 g fertilizante NPK 10-30-10	3 g fertilizante NPK 28-8-7	3 g fertilizante NPK 10-30-10
Adición de CO ₂	Si	Si	Si

Fuente: Autores.

Figura 1. Montaje de fotobiorreactores.

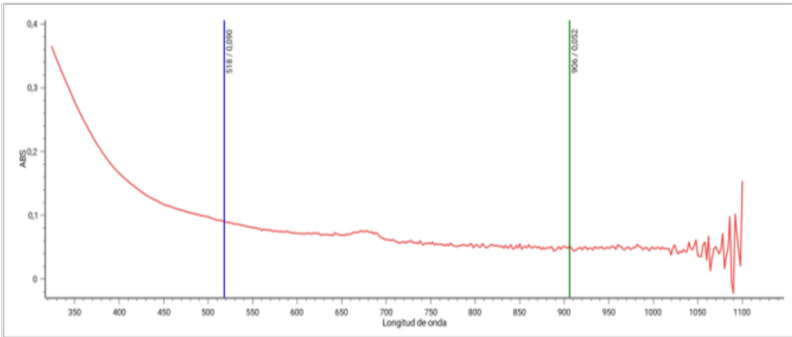


Fuente: Autores.

El cultivo se realizó durante 32 días, y el seguimiento al crecimiento de microalgas se realizó mediante la medición de absorbancia a 400 nm mediante un espectrofotómetro Nanocolor® VIS II Macherey-Nagel.

Por otro lado, se determinó una longitud de onda apropiada para medir el crecimiento del cultivo de microalgas con un espectrofotómetro *Thermoscientific* (UV- Visible Spectrophotometer), generando la curva que se presenta en la figura 2. Se escogió la longitud de onda de 400 nm para hacer el seguimiento de la concentración de microalgas.

Figura 2. Curva de absorbancia del cultivo de microalgas.



Fuente: Autores.

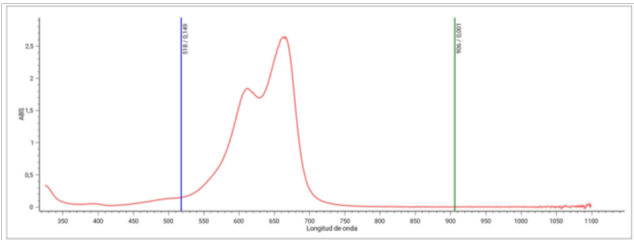
A partir de estos biorreactores, y tras los 32 días, se logró un cultivo final en dos fotobiorreactores de 1200 ml cada uno. Para el suministro de CO_2 , en condiciones óptimas que incluyeron la adición inicial de 18 g del fertilizante NPK, y se hizo una reacción externa de 30 g de bicarbonato (NaHCO_3), 425.16 ml de Ácido Acético al 30% ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$) cada 4 días durante el periodo de cultivo. Se suministró luz artificial 24 horas durante 14 días.

Durante el cultivo a cada uno de los fotobiorreactores se le hizo la medición de absorbancia a 400 nm, y se midió la turbidez. De la misma manera, se realizó un conteo de microalgas por medio del microscopio y la cámara de Neubauer, donde se selecciona uno de los fotobiorreactores para realizar diferentes experimentos y finalmente la remoción. Con el fotobiorreactor seleccionado, y haciendo uso de 34 tubos de ensayo de 15 ml, se centrifugaron 500 ml de las microalgas, siendo una cantidad estimada para la remoción de la solución determinada en ml de AM, continuamente se acumulan las microalgas en dos tubos de ensayo, obteniendo 15 ml de microalgas en cada uno de los tubos.

2.2 Análisis de azul de metileno

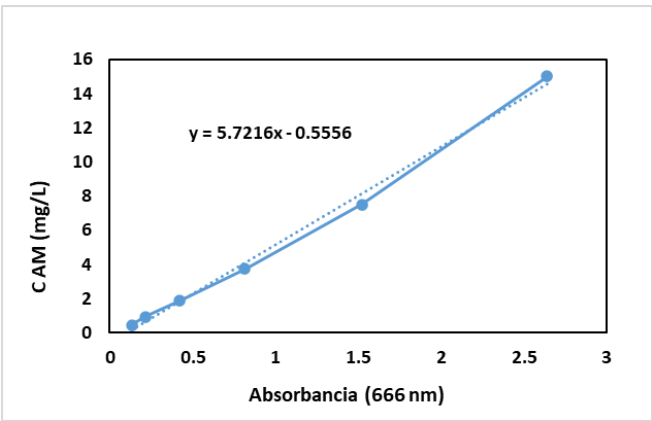
Se preparó una solución de 1000 mg de AM, la cual fue preparada disolviendo el AM en agua esterilizada, obteniendo una concentración inicial de 5 mg/L de azul de metileno. El seguimiento a su degradación se realizó mediante un espectrofotómetro *Nanocolor® VIS II Macherey-Nagel* a 666 nm. Se realizó un barrido del Azul de Metileno entre los 200 nm hasta los 700 nm para hallar el pico más alto, y así encontrar determinada longitud de onda como se observa en la Figura 3.

Figura 3. Barrido Espectro visible del azul de metileno.



Se realizó un barrido desde 200 nm hasta 700 nm para encontrar los valores de longitud de onda con absorbancia óptima, la cual fue determinada como 666 nm.

Figura 4. Curva de calibración azul de metileno.



Fuente: Autores.

3. Resultados

3.1 Estado del arte

El azul de metileno es un colorante que genera daño al entorno natural por ser un contaminante persistente en el ambiente (Herrera Gutiérrez & Carrillo Pacheco, 2017). Los colorantes orgánicos como el azul de metileno se pueden encontrar en el medio ambiente debido

a las descargas provenientes de procesos industriales como las industrias textiles y como contaminantes persistentes provenientes de sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales. Estos contaminantes son difíciles de remover por medio de procesos convencionales de tratamiento de aguas por su estructura química que incluye múltiples anillos aromáticos, que lo hacen tóxico, carcinogénico y no biodegradable (Khan *et al.*, 2022). Por esta razón deben buscarse tecnologías sostenibles para su remoción. Algunos estudios reportan la remoción por adsorción en carbón activado, y degradación foto catalítica que sin embargo requieren materiales costosos, y producen en algunos casos residuos que son difíciles de disponer (Mercado *et al.*, 2012a).

Algunos estudios han presentado la capacidad de las microalgas para remover diversos contaminantes emergentes (Sandoval *et al.*, 2020). De igual manera se ha estudiado de forma extensa la capacidad de las microalgas para remover nutrientes utilizando un bajo con el objetivo de remover contaminantes y producir biomasa con un alto valor para la generación de otros productos por su alto valor nutritivo (López Hernández *et al.*, n.d.).

La remoción de colorantes usando microalgas se ha abordado en algunos estudios como el de (Edgardo Angulo *et al.*, 2017), en el cual se evaluó la eficiencia de las microalgas de la especie *Chlorella sp* para tratar aguas residuales provenientes de una empresa de pinturas. Se evaluó su eficiencia bajo la presencia de nutrientes, y se encontraron eficiencias de remoción máximas de 86,8 %, y con ausencia de nutrientes el porcentaje de remoción alcanzado fue del 81.7%, sin el aporte de nutrientes.

Por otro lado, la remoción de azul de metileno mediante microalgas ha sido abordada en estudios como el de (Registro Nacional de Trabajos de Investigación_ *Influencia de La Intensidad de Luz y Concentración Microalgal En La Remoción de Azul de Anilina Utilizando*

Microalga Chlorella Vulgaris, n.d.), en el que se estudió la influencia de la intensidad lumínica y de la concentración de microalgas para la remoción del azul de metileno, usando la especie de microalga *Chlorella vulgaris* alga unicelular con una gran capacidad fotosintética, durante 15 días obteniendo eficiencias de remoción del 81.70 %, y concluyendo que las microalgas remueven de forma eficiente colorantes sintéticos en la industria de las curtiembres.

Otro estudio que demuestra la efectividad para remover azul de metileno mediante especies de microalgas como la *Chlorella sp.* Los biorreactores se implementaron usando un fertilizante comercial para el medio de cultivo, con una concentración final de 4 mM de nitrógeno, a una temperatura de 25°C por un periodo de 15 días, mediante agitación. El análisis del crecimiento de microalgas se realizó midiendo cada 24 horas la absorbancia de la biomasa en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 647 nm. Los ensayos de remoción se llevaron a cabo en tres ensayos modificando los factores que inciden en la remoción del azul de metileno. Entre ellos se modificó la concentración inicial y la concentración de microalgas, así como la dosificación de nutrientes. Uno de los hallazgos más importantes fue la importancia de la presencia de nutrientes, la cual debe darse bajo condiciones adecuadas. Este estudio concluyó que esta especie de microalgas tiene gran capacidad de remoción del azul de metileno, y los mecanismos son la biodegradación y la absorción (Mercado *et al.*, 2012b).

3.2 Identificación de las microalgas

Para la identificación de las microalgas se utilizó el microscopio y la cámara de Neubauer para su conteo inicial. Entre las microalgas que se reportadas en la literatura como eficientes para la remoción de colorantes están la *Chlamydomonas sp*, *Scenedesmus Sp*, y *Tetraselmis Chuii* especies que se identificaron como presentes y dominantes en los cultivos desarrollados en el laboratorio.

3.3 Condiciones de cultivo

Tras 32 días de cultivo, se realizó un conteo para cada uno de los biorreactores por medio de una cámara de Neubauer, y se midieron la turbidez y la absorbancia a 400 nm. En todos los biorreactores se obtuvieron poblaciones significativas de las microalgas de las especies *Chlamydomonas sp*, *Scenedesmus Sp*, y *Tetraselmis Chuii*, anteriormente descritas. Se encontró que el fotobiorreactor con mayor concentración de microalgas fue el FBR 6, con una absorbancia de 2.445 nm y 290 microalgas en 8 celdas, cabe resaltar que, a este fotobiorreactor se le agregaron 3 g Fertilizante NPK 10-30-10, con Dióxido de carbono en determinadas cantidades.

Tabla 2. Conteo de microalgas obtenido con cámara de Neubauer.

Fotobiorreactor	Microalgas	Celdas
FBR 1	--	--
FBR 2	5	5
FBR 3	127	75
FBR 4	149	4
FBR 5	68	64
FBR 6	290	8

Fuente: Autores.

En los fotobiorreactores recreados de 1200 ml, se realizó la adición de CO₂ cada 6 días durante 20 días para determinar su crecimiento, el cual iba siendo medido por medio de la turbidez y de la absorbancia, pasados los 20 días se pusieron en agitación los dos biorreactores para medirles la absorbancia y la turbidez final para determinar el promedio total de las microalgas encontradas, el cual se obtuvo los siguientes datos:

Tabla 3. Turbidez y absorbancia Final.

PARÁMETRO	FBR 1	FBR2
TuRbidez	1.112,8	1184,8
Absorbancia	1.764	2.248

Fuente: Autores.

Como resultado se obtuvo un mejor cultivo en el fotobiorreactor 2, a pesar de que las condiciones de cultivo fueron las mismas, diferentes factores del ambiente pudieron afectar el crecimiento de las microalgas, tales como la luz, la temperatura, la deficiencia de oxígeno entre otros, siendo el seleccionado para realizar los 3 experimentos finales.

3.4 Remoción de azul de metileno

Para tener mayor absorbancia se hizo uso del biorreactor 2 y de 34 tubos de ensayo de 15 ml, se centrifugaron 500 ml de solución para obtener la biomasa de microalgas para agregar a la solución de AM, como se muestra en la figura 5.

Figura 5. Centrifugación de microalgas.



Fuente: Autores.

Se realizó el seguimiento de la remoción del AM durante 16 días, midiendo la absorbancia a 666 nm. Los resultados tomados durante los 16 días se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Perfil de absorbancia en el tiempo

Tiempo (días)	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3
0	1.456	1.826	2.124
8	0.077	0.338	1.1
16	0.253	0.454	0.923

Se realizó la remoción del azul de metileno en un experimento con 3 réplicas, en Erlenmeyer de 500 ml con una solución compuesta de 300 ml de solución inicial de AM con concentraciones de 23.2 mg/L y 9.9 mg/L y 15 ml de microalgas, como se muestra en la tabla 4. El reactor 3 se conservó como blanco bajo las mismas condiciones, pero sin agregar microalgas ($C_0=11.6$ mg/L).

III. Por medio de la curva de calibración del Azul de Metileno (Figura 4), se obtuvo la siguiente ecuación:

$$C_{AM} = 5.7216(ABS) - 0.556$$

Donde:

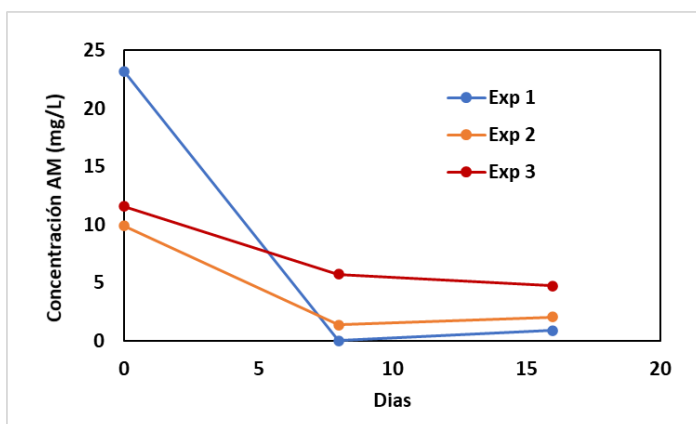
C_{AM} = Concentración de azul de metileno (mg/L)

ABS = Absorbancia

Como se observa en la figura 6, en el experimento 3, sin microalgas, hubo un 38 % de degradación por fotólisis. Esto sucede debido a que el AM es sensible a la luz, pero no logra una degradación completa por este mecanismo. Los experimentos 1 y 2 tuvieron eficiencias finales de remoción del 96.1% y del 79.4%. Se evidencia que, con los días, las concentraciones de AM en solución aumentan levemente, por lo

que se deben realizar nuevos experimentos tomando la absorbancia diaria de forma que se encuentre el tiempo de tratamiento optimo y se evite este efecto.

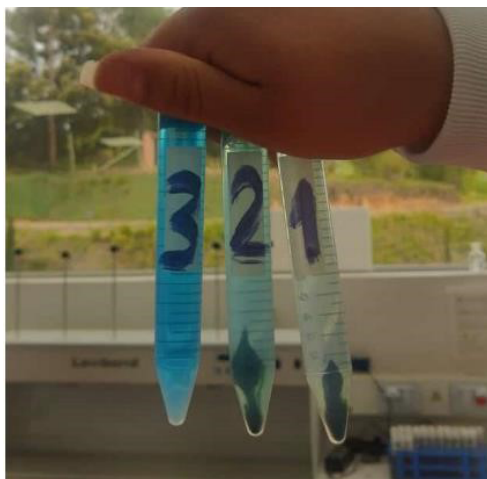
Figura 6. Remoción de azul de metileno en solución.



Fuente: Autores.

En la figura 7 se aprecia de forma cualitativa la remoción del colorante tras la centrifugación de las microalgas.

Figura 7. Remoción azul de metileno.



Fuente: Autores.

4. Conclusiones

El consorcio de microalgas *Chlamydomonas sp*, *Scenedesmus Sp*, y *Tetraselmis Chuii*, remueve contaminantes persistentes en este caso el AM, y en soluciones con altas concentraciones iniciales como 23 mg/L puede lograr remociones de hasta el 96.1% en 16 días de tratamiento. A concentraciones menores se logran remociones menores. Para una solución de concentración inicial del 9.9mg/L se logró una remoción del 79.4%.

El cultivo de este consorcio llevado a cabo en fotobiorreactores alimentados con luz, solar o artificial, temperaturas entre 20 y 25°C, y mediante adición de fertilizante con nitrógeno, fosforo y potasio, mas CO₂ resultó en un buen sistema de cultivo. El fósforo evidenció ser el nutriente limitante para su crecimiento por lo que se aconseja hacer estudios adicionales para determinar las condiciones óptimas de estos nutrientes para su cultivo.

5. Referencias bibliográficas

Acosta Pincay, Elizabeth; Roque Alberto Moreira Anton, J. (n.d.). *Universidad laica Eloy Alfaro de Manabí. Facultad de Ciencias del Mar, Especialidad Biología pesquera.*

Angulo, M., Edgardo; Grey Castellar, O., Ma Mercedes Cely, B., Lilia Ibáñez, S., & Lidys Prasca, M. (2017). Decoloración de aguas residuales de una industria de pinturas por la microalga *Chlorella* sp. *Revista MVZ Cordoba*, 22(1), 5706–5717.

Ávila Peltroche, J. G. J. (2018). Remoción de nitratos y fosfatos por cepas nativas de *Chlorella* sp. (*Chlorellaceae*) y *Chlamydomonas* sp. (*Chlamydomonadaceae*) libres e inmovilizadas en aguas residuales municipales. *Arnaldoa*, 25(2).

<https://doi.org/10.21897/rmvz.930>

<https://doi.org/10.22497/arnaldoa.252.25210>

Herrera Gutiérrez, J. S., & Carrillo Pacheco, Y. M. (2017). Remoción de azul de metileno de cuerpos de agua utilizando *Nanopartículas Magnéticas Fe₃O₄* y Carbón Activado. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 110(9), 1689–1699.

Khan, I., Saeed, K., Zekker, I., Zhang, B., Hendi, A. H., Ahmad,

A., Ahmad, S., Zada, N., Ahmad, H., Shah, L. A., Shah, T., & Khan, I. (2022). Review on Methylene Blue: Its Properties, Uses, Toxicity and Photodegradation. In *Water (Switzerland)* (Vol. 14, Issue 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/w14020242>

López Hernández, I., Vásquez Arroyo, J., & de Paul Álvarez Reyna, V. (n.d.). *Remoción biológica de nutrientes en aguas residuales urbanas con fotobiorreactores utilizando microalgas** *Biological nutrient removal in wastewater urban with photobioreactor using microalgae*.

Mercado, E. R. A., Castellar Ortega, G. C., & Solano, M. C. B. (2012a). *Remoción de azul de metileno por la microalga Chlorella sp. Viva Removal methylene blue by microalgae chlorella sp. Alive* (Vol. 10, Issue 1).

Mercado, E. R. A., Castellar Ortega, G. C., & Solano, M. C. B. (2012b). *Remoción de azul de metileno por la microalga Chlorella sp. Viva Removal methylene blue by microalgae chlorella sp. Alive* (Vol. 10, Issue 1).

Registro Nacional de Trabajos de Investigación Influencia de la intensidad de luz y concentración microalgal en la remoción de azul de anilina utilizando microalga

Chlorella vulgaris. (n.d.).

Rosales, A. G., Rodríguez, C. D., & Ballen-Segura, M. (2018). Remoción de contaminantes y crecimiento del alga *Scenedesmus sp* en aguas residuales de curtiembres, comparación entre células libres e inmovilizadas. *Ingeniería y Ciencia*, 14(28), 11–34. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.14.28.1>

Sandoval, J. A., Morales Granados, M. A., & Rubio, D. (2020). Breve revisión del uso de microalgas para la remoción de contaminantes emergentes en aguas residuales. *Gestión y Ambiente*, 23(1). <https://doi.org/10.15446/ga.v23n1.84034>

Valle Ramírez de Arellano, Avelina; G., María Lucila del Carmen Lares
Reyes Dra del Pilar Sánchez Saavedra, D. M., Álvarez Borrego
Alexei Fedorovich Licea Navarro, S., & Calderón Aguilera, Eduar-
do; David Hilario Covarrubias, L. (2007). *Tesis defendida por...*

Capítulo 5

Cultivo de bacteria *Bacillus Subtilis* para la producción de bioconcreto

Paula Alejandra Caballero Arias¹

David Ricardo Díaz Guevara²

María Juliana Vanegas Rojas³

Lina Patricia Vega⁴

¹ Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

² Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

³ Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

⁴ Facultad de Ingeniería Ambiental, *GICAN*, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

Resumen

La especie *Bacillus Subtilis*, es una bacteria presente en el ambiente, con múltiples aplicaciones, entre ellas la de la producción de bioconcreto, ya que produce calcita en la presencia de una fuente de calcio y de oxígeno, lo cual favorece la reformatión de la estructura del material. La evaluación de las condiciones óptimas de crecimiento de esta bacteria es esencial para optimizar los procesos de producción del bioconcreto y así, contribuir al desarrollo de materiales de construcción más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente. Mediante una metodología propuesta de cultivo en caldo nutritivo e incubación durante 8 horas, y siembra en gar PCA mediante distintas diluciones, se logró la determinación de la curva de crecimiento mostrando una fase de latencia de exponencial y una fase de muerte. La concentración más alta de bacterias obtenida de esta manera fue de $1.86 \cdot 10^8$ UFC/ml. El tiempo medio de generación máximo (en la fase exponencial) fue de 65.37 minutos. Este estudio es un punto de partida para conocer las condiciones de cultivo para la aplicación de la bacteria *Bacillus subtilis* en diversas aplicaciones incluidas la de elaboración de bioconcreto.

Palabras clave: *Bacillus subtilis*, Bioconcreto, Curva de crecimiento, Tiempo de generación medio.

Abstract

The microorganism *Bacillus Subtilis* is a bacterium present in the environment, with multiple applications, including the production of bioconcrete, since it produces calcite in the presence of a source of calcium and oxygen, which favors the reformation of the structure of the material. The evaluation of the optimal growing conditions of this pot is essential to optimize the production processes of the concrete and thus contribute to the development of more sustainable and environmentally friendly building materials. By means of a proposed methodology of culture in nutritive broth and incubation for 8 hours, and sowing in gar PCA by different dilutions, the determination of the growth curve was achieved showing a latency phase

of exponential and a phase of death. The highest concentration of bacteria obtained in this way was 1.86×10^8 CFU/ml. The average maximum generation time (in the exponential phase) was 65.37 minutes. This study is a starting point to know the culture conditions for the application of *Bacillus subtilis* bacteria in various applications including the production of bioconcrete.

Keywords: Bacillus subtilis, Bioconcrete, Growth curve, Mean generation time.

1. Introducción

Este artículo se centra en el estudio del crecimiento y desarrollo de la bacteria *Bacillus Subtilis* que es utilizada para la formulación de bioconcreto. Esta bacteria pertenece al género *Bacillus* y tiene la capacidad de producir esporas en su interior. Estas células, también conocidas como endosporas, permanecen latentes durante condiciones que son adversas a su crecimiento. Esta bacteria se caracteriza por ser Gram positiva, móvil, facultativa y obicua, es decir, presente de forma natural en el medio ambiente (Dutta Choudhury & Dutta Choudhury, 2011).

Los bioconcretos, también denominados concretos bacterianos o bacterianos-minerales, son materiales de construcción innovadores que combinan las propiedades del concreto tradicional con la capacidad de autorreparación proporcionada por las bacterias. Estos materiales se basan en la interacción simbiótica entre las bacterias y los componentes del concreto, lo que les confiere la capacidad única de remediar fisuras y grietas (BBC Mundo, 2016).

Varios estudios han analizado su crecimiento bajo condiciones controladas en el laboratorio. La temperatura es un factor crítico en todos los procesos, ya que puede afectar la actividad metabólica de los organismos, así como la cinética de las reacciones químicas. El calor, por ejemplo, puede fomentar el crecimiento, la actividad celular y actividad bacteriana mientras que las bajas temperaturas pueden ralentizar o incluso detener estos procesos. Por lo tanto, entender cómo los organismos responden a los cambios de temperatura es esencial para optimizar y controlar los procesos de crecimiento bacteriano (Earl *et al.*, 2008; Errington, 2003; Korsten & Cook, 1996; Vargas, 2018).

En este estudio, el objetivo es analizar el crecimiento de la bacteria *Bacillus Subtilis*, por medio de un cultivo en agar PCA mediante condiciones controladas, utilizando técnicas de medición

de absorbancia y turbidez. Cabe resaltar que el crecimiento esta bacteria, como ya se mencionó anteriormente, tiene un papel fundamental en el desarrollo del bioconcreto, un tipo de concreto que utilizan las bacterias para producir calcita y reforzar la estructura del material. Conocer las mejores condiciones para el cultivo de la bacteria *Bacillus Subtilis* es esencial para su optimización y mejoramiento de las propiedades mecánicas del bioconcreto y así, contribuir al desarrollo de materiales de construcción que generen menores impactos ambientales. Varios estudios han analizado la producción de bioconcreto mediante la precipitación de calcita inducida por microorganismos, como la *Bacillus Subtilis* (Jonkers & Schlangen, 2008; Sharma *et al.*, 2017).

En consecuencia, este estudio ilustra como la investigación científica puede contribuir al desarrollo del bioconcreto, mediante el conocimiento de la curva de crecimiento de la bacteria en condiciones de laboratorio, para luego pasar a su aplicación en concretos sometidos a condiciones ambientales normales utilizando aditivos como la ceniza de cascarilla de arroz, lo que crea un reto adicional, pero disminuye el impacto ambiental, al añadir un material de desecho en su formulación.

2. Antecedentes

En este apartado se presentan algunas investigaciones que son relevantes para el sustento teórico de las condiciones utilizadas en este estudio.

Varios estudios han analizado las condiciones de crecimiento del género *Bacillus sp.*, con el fin de entender su efecto biocontrolador sobre hongos fitopatógenos como el *Fusarium equiseti*, *Fusarium sp.* y *Alternaria* (Larrea-Izurieta *et al.*, 2015; Méndez-Úbeda *et al.*, 2018), y sobre especies de ácaros que afectan los cultivos de rosas como *urticae Koch* (Larrea-Izurieta *et al.*, 2015)

En el estudio de (Pasquina-Lemonche *et al.*, 2020) se realizó la tinción de Gram en diferentes cepas de *Bacillus subtilis* para analizar la arquitectura de su pared celular y su relación con la resistencia a los antibióticos. Confirmaron su naturaleza Gram positiva y se observaron diferencias en la estructura de la pared celular entre las cepas estudiadas, lo que sugirió posibles variaciones en su capacidad de resistencia a los antibióticos.

Por otro lado, (Vargas, 2018) estudio las condiciones óptimas para un cultivo de esporas de la especie *Bacillus sp. 12AP*, encontrando que era necesario disminuir la cantidad de C y subir la de N, y que la temperatura optima de incubación fue de 55°C, obteniendo así un recuento máximo de 1×10^8 esporas/ml. (Korsten & Cook, 1996) Estudió las condiciones de crecimiento de la especie *Bacillus subtilis B246* bajo condiciones de laboratorio encontrando que el medio en base de papa fue el más efectivo para su cultivo, y que la transformación de cultivos frescos a secos dio una disminución del 60% en las UFC. Otro estudio presentó una revisión de los distintos métodos para la producción de esporas de la bacteria *Bacillus subtilis* y explica la base molecular de la formación de esporas en esta especie en general (Errington, 2003). Pocos estudios presentan el uso de esta bacteria en la formulación de bioconcreto. En particular el estudio de (Schwantes-Cezario *et al.*, 2018) utilizó dos medios de cultivo Mueller Hinton (MH) y Trypton Soy Broth (TS), cultivados por 66 h a 29°C, concentrados por centrifugación, inducidos a la formación de esporas y almacenados a 8°C. De esta manera se obtuvieron soluciones de concentración 0.3×10^8 y 1.2×10^8 esporas/mL, necesarias para los experimentos.

3. Metodología

3.1 Primera fase

Determinación de condiciones de cultivo y crecimiento

Este proceso se llevó a cabo por medio de aislamiento de muestra madre de la *Bacteria Bacillus subtilis* la cual estuvo en constante agitación en vortex. A partir de nuestra madre, se tomó 0.1 ml y se esparce con una espátula, placas de Petri con medio de Agar Papa Dextrosa (PDA) y Agar Plate Count (PCA) por triplicado en cada uno de los procesos anteriormente mencionados, posteriormente fueron incubadas a 35°C durante 24h. Luego se realizó una observación macroscópica y microscópica para la selección y conteo de morfo tipos de bacterias. posterior a esto se realizaron aislamientos secundarios en Agar PDA de los morfo tipos seleccionados. (Benítez Serrano & Gárate Andrade, 2020)

Identificación morfológica de los aislados por tinción de Gram

Se tomó una muestra representativa de la bacteria *Bacillus Subtilis* para poder realizar la prueba de tinción de Gram. De esta manera se puede observar por el microscopio si son Gram positivas o Gram negativas, y determinar su morfología utilizando el objetivo 4x, 10x, 40x y 100x con el aceite de inmersión.

3.2 Segunda fase

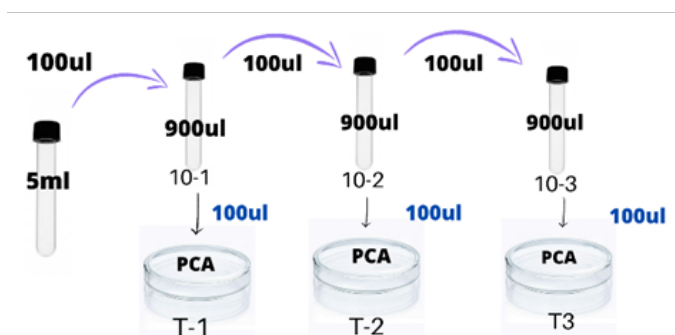
Curva de crecimiento bacteriano

En esta fase se utilizaron 50 ml de caldo nutritivo, el cual se inoculó con 1 ml de solución de bacterias *Bacillus Subtilis* en un matraz a una temperatura 35.5°C de incubación por 24 horas pasadas las 24

horas se tomaron 15 ml de esta solución y se agregaron a 500 ml de caldo nutritivo para empezar el cultivo y la curva de crecimiento. En el tiempo 0 se tomaron 10 ml de muestra total para medir los parámetros de turbidez y absorbancia con alícuotas cada 2 horas hasta completar 6 tiempos incubando a una temperatura de 35.5°C por 24 horas (Vega *et al.*, 2023).

En cada momento se toman 5ml a los que se les mide la absorbancia y a turbidez, y se hacen diluciones tomando 100 µl que se agregan a un tubo con 900 µl de caldo estéril para una dilución 10^{-1} . Posteriormente se tomaron 100 µl de esta solución y se agregaron nuevamente a otro tubo con 900 µl de caldo estéril, para una dilución 10^{-2} y así de forma sucesiva hasta hacer todas las diluciones planteadas para cada tiempo, como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Método para realizar las diluciones y siembra.



Fuente: AL... ..

Método de cultivo

Para hacer el conteo de colonias se llevó a cabo la siembra de 100 µl de cada una de las diluciones en cajas de Petri con PCA en un ambiente estéril con el fin de evitar cualquier tipo de contaminación en el momento de la siembra. Para cada tiempo se sembraron 3 diluciones diferentes (p.e. 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3}), y se incubaron a una temperatura de 35.5°C Como se muestra en la figura 1.

Conteo de bacterias

Tras la incubación se utilizó un contador de colonias para realizar el conteo de colonias de bacterias en las placas de Petri. Para ello, se utiliza una placa de Petri vacía y transparente. Se coloca la placa de contraste sobre la placa de Petri con el cultivo y se observa a contraluz para facilitar la identificación y el conteo de las colonias. Asegurándose que haya una iluminación correcta y evitando contar las colonias que se encuentran en el borde de la placa o las que se tocan entre sí.

Una vez identificadas y contadas todas las colonias, se calcula la densidad de la población bacteriana. Para ello, se utiliza la fórmula $N \cdot F / V$, donde N es el número de colonias contadas, F es el factor correspondiente a la dilución realizada y V es el volumen de la muestra sembrada en la placa de Petri. El resultado obtenido de esta ecuación indica el número de bacterias por unidad de volumen de la muestra.

3.3 Tercera fase

Fase exponencial (tiempo de generación)

El tiempo de generación en la fase exponencial, se determinó utilizando la siguiente fórmula

$$x = \frac{\ln \left(\frac{V}{A} \right)}{B}$$

$$\text{Si } y = 1 \therefore x_1 = \frac{\ln \left(\frac{1}{A} \right)}{B}$$

$$\text{Si } y = 2 \therefore x_2 = \frac{\ln \left(\frac{2}{A} \right)}{B}$$

$$Td = x_2 - x_1 = \frac{(\ln 2 - \ln 1) - (\ln 1 - \ln A)}{B}$$

$$Td = \frac{0,693}{B}$$

Donde:

X= Tiempo A= Constantes

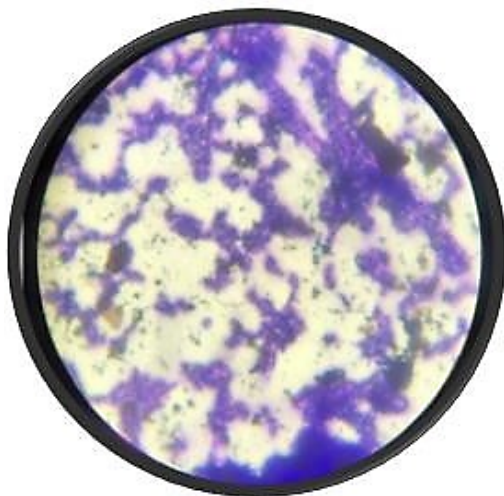
B= Exponente de la ecuación de la gráfica

4. Resultados

4.1 Tinción de gram:

Este método aplicado a la bacteria *Bacillus subtilis* permitió comprobar que es una bacteria Gram positiva (Pasquina- Lemonche *et al.*, 2020). Durante el procedimiento de tinción de Gram, se observó que las células de *Bacillus subtilis* presentaban una coloración púrpura intensa, indicando que retuvieron el colorante cristal violeta y no se decoloraron con el alcohol/acetona. Además, se pudo apreciar que las células de *Bacillus subtilis* tenían una forma alargada y formaban cadenas o agrupaciones características.

Figura 3. Tinción de Gram. bacteria *Bacillus Subtilis*.

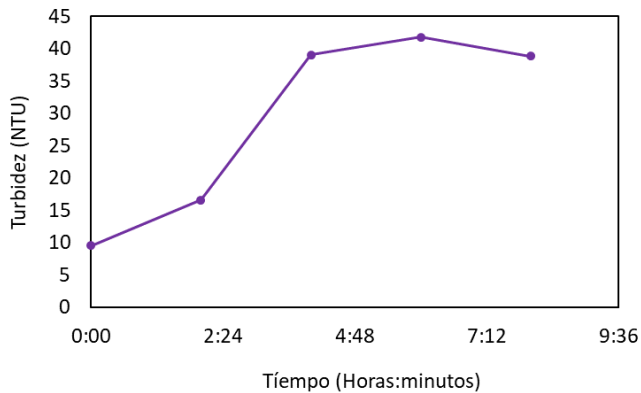


Fuente: Autores.

4.2 Curvas de crecimiento:

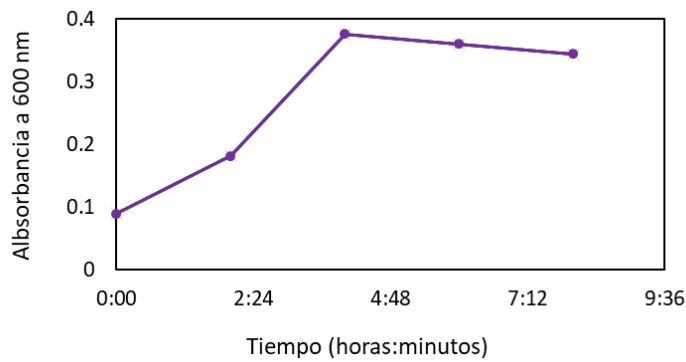
Las mediciones de turbidez, absorbancia y el conteo de colonias dio como resultado una curva de crecimiento estable mostrando las fases de latencia, exponencial, estacionaria y muerte. La fase de latencia duró dos horas, tras lo cual inicia la fase exponencial aumentando sus valores de turbidez hasta las seis horas de incubación la bacteria continuó su fase exponencial. A las ocho horas inició una disminución notoria de la turbidez y el número de colonias como se observa en la figura 4. Estos datos fueron corroborados con las mediciones de absorbancia en un rango de 600 nm (cf. Figura 5).

Figura 4. Curva de crecimiento (Turbidez)



Fuente: Autores.

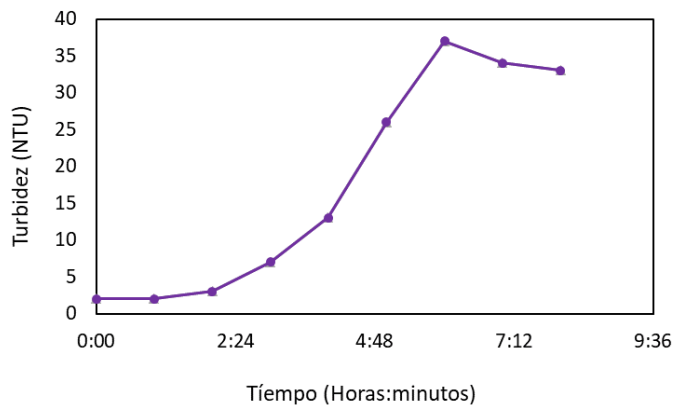
Figura 5. Curva de crecimiento (Absorbancia a 600 nm).



Fuente: Autores.

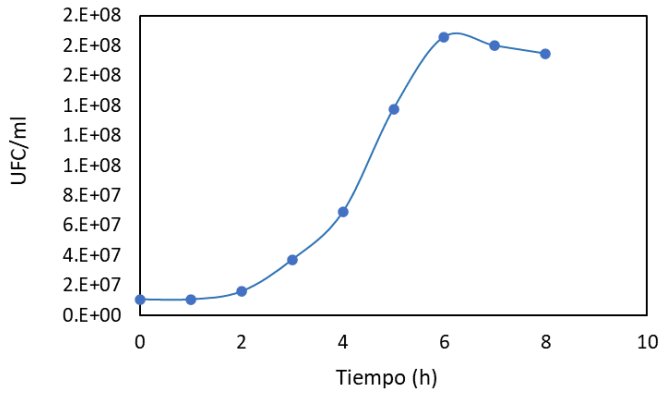
La curva se hizo por duplicado, obteniendo los resultados de la figura 6, 7 y 8, obteniendo una fase lag de 2.5 horas, la fase exponencial entre las 2.5 y las 6 horas, seguida de una fase de muerte.

Figura 6. Curva de crecimiento 2 (Turbidez).



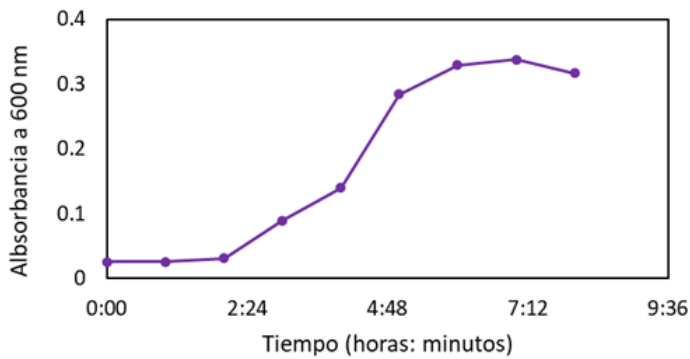
Fuente: Autores.

Figura 7. Curva de crecimiento 2. (absorbancia a 600 nm).



Fuente: Autores.

Figura 8. Curva de crecimiento. UFC/mL.



Fuente: Autores.

4.3 Tiempo de generación

En este apartado se presenta la fase exponencial de las fases 2 y 3, en medidas de turbidez, absorbancia y *NMP/ml*, se encontró que el tiempo de generación, es decir, en el que el número de bacterias se multiplica fue de 65.37 minutos bajo las condiciones de cultivo realizadas en este estudio.

5. Conclusiones

Mediante las condiciones de cultivo utilizadas en el presente estudio, se encontró la curva de crecimiento de la bacteria *Bacillus subtilis*, mostrando una fase de latencia de duración 2.5 horas, seguida de una fase de crecimiento exponencial hasta las 6 horas y finalmente una fase de muerte a partir de ese momento. La concentración más alta de bacterias obtenida de esta manera fue de $1.86 \cdot 10^8$ UFC/ml. El tiempo medio de generación máximo (en la fase exponencial) fue de 65.37 minutos.

El análisis del crecimiento de la bacteria *Bacillus subtilis* puede servir como referencia para futuros estudios y aplicaciones relacionadas con esta bacteria.

6. Referencias

BBC Mundo. (2016, August 26). El revolucionario bio-concreto, el material que se repara a sí mismo. BBC News.

Benítez Serrano, A. C., & Gárate Andrade, M. P. (2020). *Plan de marketing social para las universidades de la ciudad de cuenca para el año 2020: objetos plásticos de un solo uso*. 1– 154.

Dutta Choudhury, K., & Dutta Choudhury, M. (2011). *Antifungal and antiprotozoal activity of some members of Rubiaceae-a review*. 5, 7–14.

Earl, A. M., Losick, R., & Kolter, R. (2008). Ecology and genomics of *Bacillus subtilis*. In *Trends in Microbiology* (Vol. 16, Issue 6, pp. 269–275).

<https://doi.org/10.1016/j.tim.2008.03.004>

Errington, J. (2003). Regulation of endospore formation in *Bacillus subtilis*. *Nature Reviews Microbiology*, 1(2), 117–126. <https://doi.org/10.1038/nrmicro750>

Jonkers, H. M., & Schlangen, E. (2008). Development of a bacteria-based self healing concrete. *Proceedings of the International FIB Symposium 2008 - Tailor Made Concrete Structures: New Solutions for Our Society*, 109.

<https://doi.org/10.1201/9781439828410.ch72>

Korsten, L., & Cook, N. (1996). Optimizing Culturing Conditions for *Bacillus Subtilis*. In *South African Avocado Growers' association yearbook* (Vol. 19, pp. 54–58).

- Larrea-Izurieta, I., Falconí Borja, C., & Arcos-Andrade, A. (2015). Aislamiento y caracterización de cepas de *Bacillus spp* con actividad contra *Tetranychus urticae* Koch en cultivos comerciales de rosas. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 17(2), 140–148.
- Li, H., He, Y., Yan, Z., Yang, Z., Tian, F., Liu, X., & Wu, Z. (2023). Insight into the microbial mechanisms for the improvement of spent mushroom substrate composting efficiency driven by phosphate-solubilizing *Bacillus subtilis*. *Journal of Environmental Management*, 336, 117561.
- Méndez-Úbeda, J. M., Flores Hernández, M. S., & Páramo-Aguilera, L. A. (2018). Aislamiento e identificación de *Bacillus Subtilis* y evaluación del antagonismo frente hongos fitopatógenos. *Nexo Revista Científica*, 30(2), 96–110.
- Pasquina-Lemonche, L., Burns, J., Turner, R. D., Kumar, S., Tank, R., Mullin, N., Wilson, J. S., Chakrabarti, B., Bullough, P. A., Foster, S. J., & Hobbs, J. K. (2020). The Architecture of the Gram-Positive Bacterial Cell Wall. *Nature*, 582(7811), 294.
- Schwantes-Cezario, N., Peres, M. V. N. D. N., Fruet, T. K., Nogueira, G. S. F., Toralles, B. M., & Cezario, D. D. S. (2018). Crack filling in concrete by addition of bacillus subtilis spores – Preliminary study. *DYNA (Colombia)*, 85(205), 132–139. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n205.68591>
- Sharma, T. K., Alazhari, M., Heath, A., Paine, K., & Cooper, R. M. (2017). Alkaliphilic *Bacillus* species show potential application in concrete crack repair by virtue of rapid spore production and germination then extracellular calcite formation. *Journal of Applied Microbiology*, 122(5), 1233–1244.

- Siu-Rodas, Y., Calixto-Romo, M. de los A., Guillén- Navarro, K., Sánchez, J. E., Zamora-Briseño, J. A., & Amaya-Delgado, L. (2018). *Bacillus subtilis* with endocellulase and exocellulase activities isolated in the thermophilic phase from composting with coffee residues. *Revista Argentina de Microbiología*, 50(3)
- Vargas, J. D. (2018). Diseño y optimización de un medio de cultivo para producción de esporas de *Bacillus* sp. Universidad Javeriana.
- Vega, L. P., Cuéllar, L. A., & Borda, W. J. (2023). Guía de prácticas de laboratorio de microbiología ambiental.

Capítulo 6

Fabricación de biocombustibles a partir de biomasa residual

Laura Valentina Alfonso Gómez¹
Santiago Andrés Ramírez Alfonso²
Sandra Consuelo Díaz Bello³

¹ Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

² Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

³ Facultad de Ingeniería Ambiental, GICAN, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

1. Introducción

En los últimos años se ha venido presentando un gran auge en la creación e implementación de alternativas verdes para los diversos problemas de contaminación a nivel mundial, como lo es el uso de la energía solar y eólica en las diversas actividades cotidianas del ser humano. Del mismo modo, está la generación de biocombustibles, cuyo desarrollo se basa principalmente en el uso de fuentes orgánicas como la biomasa. Este desarrollo se ha llevado a cabo por las principales potencias energéticas a nivel mundial, lideradas principalmente por China y España, ya que son los que tienen las mayores reservas energéticas de este sector.

Cabe resaltar que Colombia a nivel Latinoamérica, es uno de los países que mayor potencial tiene en la ejecución de este tipo de tecnologías, debido al alto porcentaje de ocupación agrícola del suelo, que de acuerdo al Departamento Nacional de Planeación (DNP) en el último Censo Nacional Agropecuario, fue del 38.6%, en el que resaltan los cultivos de plátano, café, palma, maíz, arroz, banano y caña de azúcar (DNP, 2014); siendo este último como aquel que será relacionado con el propósito principal de esta investigación, el cual es diseñar un biocombustible con base al bagazo de la caña de azúcar, teniendo en cuenta sus características físicas y químicas, además de la alta producción con un total de 24,4 millones de Ton/año lo que representa un potencial energético de 1.615 GWh/año (AsoCaña, 2021).

Durante el proceso de producción de briquetas con materiales orgánicos, surgen diversos desafíos. La fabricación a gran escala de estos productos implica la implementación de múltiples procesos que generan un gasto de energía significativo. En el caso de Colombia, para el 2018 el gasto energético anual de la biomasa representó un total de 175 megavatios anuales, cifra que probablemente aumentó

en los últimos años (MinAmbiente 2021). Es importante destacar que el bagazo de caña de azúcar en particular presenta varias dificultades que pueden influir de manera significativa en el proceso de producción. Estas dificultades incluyen las propiedades físicas y químicas del material, la presencia de contaminantes e impurezas, así como los aspectos relacionados con su procesamiento y el costo de producción, por lo que se plantean desafíos adicionales a lo largo de todo el proceso. Por tanto, es necesario enfocarse en la optimización de la tecnología utilizada, el fomento del uso de energías verdes y la selección adecuada de la materia prima. Estas medidas contribuirán a superar los desafíos asociados con la promoción del uso sostenible del bagazo de caña de azúcar como materia prima para la producción de briquetas.

De este modo, en esta investigación, se buscará cumplir con el objetivo principal, que consiste en diseñar biocombustibles a partir del bagazo de caña de azúcar, por medio de una caracterización física y química de la materia prima, estableciendo los parámetros y componentes que influyen en su fabricación. La manera en la que se busca transformar la materia prima es por medio del método de prensado, con el uso de aditivos tales como almidón de yuca y la melaza, para la obtención de las briquetas.

2. Antecedentes y estado actual

Alain & Santacruz (2021) fabricaron briquetas a partir de mezclas de biomasa residual de raquis de palma africana, cascarilla de arroz y aglutinante de almidón. Durante la experimentación tuvieron en cuenta diversos parámetros para el diseño entre los que se resaltan la granulometría de la biomasa y emplearon elevadas temperaturas durante la preparación del almidón a fin de optimizar su textura. Los resultados revelan que las briquetas constituidas por la mezcla de biomasa poseen mejores propiedades de friabilidad y

dureza, alcanzando un poder calorífico de 15,76 MJ/kg, similar al de las briquetas generadas con biomasa residual obtenida en el procesamiento de maíz, madera y caña de azúcar.

Vera (2014) llevó a cabo una investigación enfocada en la fabricación de briquetas a partir residuos lignocelulósicos seleccionados según su poder calorífico, pruebas de ignición y actividades productivas llevadas a cabo por los campesinos en el corregimiento de Nabusimake, ubicado en Bello, Antioquia. La compactación de las mezclas se realizó de forma manual empleando tubos de PVC, un émbolo de madera y una varilla, dejando un orificio en el centro a fin de facilitar la solidificación y rendimiento de la briqueta, que posteriormente se secaron con luz solar. La briqueta constituida por cisco de arroz, cascarilla de café, bagazo de caña y aglomerante natural reveló los mejores resultados con respecto a masa, tiempo de cocción, un poder calorífico equivalente a 8.568 cal/g y un porcentaje de cenizas de 8%, lo que se considera superior frente a los alcanzados al emplear leña Brasil.

Mendoza *et al.*, (2020) elaboraron biocombustibles sólidos densificados a partir de serrín de acacia y estiércol de bovinos, debido a que en el Departamento de Córdoba se llevan a cabo actividades productivas con ganado y aserraderos, por lo tanto, se generan los residuos a aprovechar en esta investigación. La biomasa fue preparada y posteriormente se establecieron los porcentajes de mezcla. Las briquetas obtenidas se evaluaron a nivel fisicoquímico, se sometieron a ensayos de resistencia y análisis próximo- elemental obteniendo que la mezcla más favorable de serrín de acacia – estiércol ganado bovino es 60-40%, a pesar de que el poder calorífico equivalente a 1.556 kJ/kg no es significativo con respecto al obtenido al emplear otros materiales, debido al elevado porcentaje de cenizas en el estiércol.

Balseca - Sampedro *et al.*, (2018) fabricaron briquetas a partir de residuos de café con el propósito de determinar si se consideran biocombustibles, empleando la NTC-2060 para medir su poder calorífico. Estas briquetas son una excelente oportunidad para generar calor a partir de residuos de la agroindustria. Para su fabricación se construyó una prensa hidráulica que comprimió los residuos de café. Se evaluó el poder calorífico del subproducto y se comparó el poder calorífico con otros residuos agroindustriales para diferentes aplicaciones.

Niño, (2019) realizó una investigación donde analizó el comportamiento de los aglomerados elaborados a partir de mezclas de cascarilla de arroz y residuos de pino (aserrín). Se encontró que parámetros como índice de durabilidad, la resistencia a la compresión, la densidad aparente y el módulo elástico, se ven afectados en diferentes grados por variables como temperatura de proceso, la cantidad de biomasa en la mezcla y el tiempo de compactación. Las variables más relevantes fueron la temperatura del proceso y la cantidad de cascarilla de arroz en la mezcla de biomasa. Se observaron mejores propiedades de resistencia mecánica en las briquetas a elevadas temperaturas (110 °C) y menor proporción de cascarilla en la mezcla (25 %), lo cual favoreció los procesos de densificación y aglomeración de partículas. Además, se desarrollaron modelos de impacto y compresión para simular el comportamiento mecánico de las briquetas severamente en los resultados experimentales obtenidos.

Díaz & Benítez (2019) realizaron aglomerados con mezclas de biomasa de cáscaras de cacao, café y trigo, utilizando dos aglomerantes orgánicos, melaza y cáscara de papa. Fabricaron seis modelos de briquetas con diferentes composiciones de biomasa y granulometrías, buscando las mezclas adecuadas y las mejores características energéticas. La composición óptima fue del 53% en peso de cascarilla de cacao con una malla menor a 2 mm y el 47%

de aglutinantes, alcanzando un poder calórico de 9909.59 Kcal/Kg. Los resultados demuestran que el uso de biomasa con aglutinantes naturales es una alternativa biocombustibles con excelentes características de poder calorífico, lo que proporciona ventajas tanto ambientales como sociales al ofrecer una fuente de energía de bajo costo y al reducir los residuos orgánicos de las industrias de café, cacao y cultivo de trigo que normalmente se descartan.

3. Materiales y métodos

3.1 Materiales

Los materiales empleados para llevar a cabo la experimentación fueron el bagazo de caña, el cual se recolectó en el trapiche ubicado en la vereda Guánica Arriba en el municipio de Garagoa, Boyacá y se empleó la trituradora industrial para la trituración del bagazo de caña. Teniendo en cuenta las investigaciones realizadas por (Chuguli, 2021) y (Chicaiza & Marcillo, 2021), se estableció que los aglutinantes naturales a emplear durante la investigación son el almidón de yuca y la melaza debido a su resistencia a la fermentación, al ataque bacteriano en el almacenamiento de la briqueta y su capacidad ligante (Chuguli, 2021).

Asimismo, se emplearon recipientes y espátulas para mezclar el bagazo obtenido con granulometría óptima con los aglutinantes establecidos y la prensa hidroneumática de 40 toneladas para moldear cada una de las mezclas establecidas para formar las briquetas.

3.2 Métodos

La investigación posee un enfoque mixto, debido a que se dirige a una recopilación de información y una parte experimental

enfocada en la fabricación de biocombustibles. Los instrumentos cualitativos empleados dentro de la investigación fueron; revisión bibliográfica en bases de datos como *Scielo*, *Google Scholar* y repositorios institucionales de Instituciones de Educación Superior, relacionadas con la evaluación, caracterización e implementación del bagazo de caña panelera en la fabricación de biocombustibles a partir de la biomasa residual, teniendo en cuenta palabras clave, tales como, bagazo de caña de azúcar y biocombustibles; intervalo de años 2015 al 2022.

Para llevar a cabo la parte experimental de la investigación inicialmente se dejó secar el bagazo de caña de azúcar durante una semana con la luz solar a fin de minimizar la humedad presente en la materia prima, capaz de alterar el proceso alcanzando una humedad equivalente al 10% de la inicial. El bagazo de caña de azúcar se trituroó con una trituradora industrial por medio de circulación a fin de alcanzar una granulometría uniforme con el rango establecido (Chicaiza & Marcillo, 2021). Teniendo en cuenta los parámetros y componentes que influyen en la óptima fabricación de los biocombustibles y el diseño de mezcla establecido a partir de la revisión bibliográfica se fabricaron las briquetas con el bagazo de caña de azúcar utilizando una prensa hidroneumática de 40 toneladas, que poseía un molde de 2 pulgadas y 1/8 de diámetro con una profundidad de 5 cm, en el que se introdujeron individualmente cada una de las mezclas, para comparar la eficiencia y propiedades de los diferentes aglutinantes en relación con el bagazo de caña de azúcar.

3.3 Diseño de mezcla

El diseño de mezcla para la fabricación de las briquetas empleando el bagazo de caña de azúcar se muestra a continuación:

Tabla 1. Diseño de mezcla.

Muestra	B. caña de azúcar	Agua	Aglutinante	Mantiene forma	A/R
1	80 g	0 ml	Ninguno	No	Rechazado
2	80 g	35 ml	Almidón de yuca (70 g)	Si	Aprobada
3	80g	25 ml	Almidón de yuca (70 g)	Si	Aprobada
4	80 g	17 ml	Melaza (50 g)	Si	Aprobada

Fuente: Autores.

Las briquetas aprobadas se dejaron secar durante una semana con la luz solar a fin de eliminar la humedad presente en las mismas, para posteriormente evaluar sus propiedades por medio de la prueba de ignición y consumo de cada una, según el aglutinante empleado.

Figura 1. Prueba de ignición briquetas.



Fuente: Autores.

4. Resultados y análisis de resultados

La caña de azúcar es cultivo de gran relevancia en el departamento de Antioquia, Colombia. Sin embargo, su plantación se ha difundido por zonas del país, las cuales cuentan con condiciones óptimas para su cultivo en implementación en la fabricación de productos contribuyendo en el progreso social, económico y agrícola (Vanegas, 2016). Durante el proceso de transformación de la caña panelera en nuevos productos, como es el caso de la panela se obtienen materiales y residuos orgánicos entre los que se resalta el bagazo, el cual representa el 50% del total de la caña procesada, ocupando grandes áreas y procesos secado (Vanegas, 2016). Es así como resulta de gran importancia su caracterización a fin de establecer su implementación en la fabricación de nuevos productos, minimizando la cantidad de residuos y la contaminación ocasionada por los mismos.

El bagazo de caña de azúcar posee humedad (5%), sólidos solubles (45%), sólidos insolubles o fibra cruda (50%), materia extraña y vegetal; la primera está constituida por silicio, magnesio, calcio, entre otros, y la segunda por hojas secas, cogollos, las y cepas (Garcés & Martínez, 2017). Su densidad varía entre 120-160 kg/m³ principalmente por la variedad cosechada y la zona en la que se determinó.

El bagazo de caña de azúcar presenta una composición química integrada por Carbono (23%), oxígeno (22%), hidrógeno (3%), cenizas (2%), agua (50%), celulosa (41,3%), hemicelulosa (22,64%) y lignina (20%) (Díaz, 2008).

A partir de diversas investigaciones se estableció que el poder calorífico es uno de los parámetros más importantes al emplear un material en la fabricación de biocombustibles debido a que a partir

de éste se determina su capacidad de calentamiento por cada kilogramo o metro cubico de éste. Es así, que el poder calorífico medio del bagazo de la caña de azúcar 11.942 kJ/kg con un 30% de humedad (Chuguli, 2021); cabe resaltar que, a mayor contenido de humedad, el poder calorífico (PCS) disminuye (Garcés & Martínez, 2017).

El tamaño de compactación de la partícula se incluye dentro de los parámetros más relevantes para la fabricación de biocombustibles por medio instrumentos que ejercen fuerzas en el material para su formación (Chuguli, 2021). La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) estableció que el tamaño óptimo de partículas se encuentra entre 6-8 mm a fin de minimizar problemas en la aglomeración y la densidad final de la mezcla. Sin embargo, Chuguli (2021) llevó a cabo un estudio en el cual recomiendan emplear tamaños de partícula con un rango entre 3-8 mm, a fin de optimizar el acondicionamiento del bagazo de la caña de azúcar como biomasa y favorecer su densificación.

En la fabricación de biocombustibles a partir de biomasa residual como lo es el bagazo de la caña de azúcar se emplean aglutinantes, los cuales facilitan la adhesión, el moldeo de las partículas con otros materiales a fin de endurecerlos y protegerlos, alcanzando resistencias mecánicas e incluso mejora las características del poder calorífico (Chuguli, 2021) (Chicaiza & Marcillo, 2021). Estos pueden ser utilizados de individualmente o mezclados con otros a fin de incrementar su efectividad. Diversas investigaciones y estudios resaltan la implementación de engrudo y cola como aglutinantes. Sin embargo, el almidón se considera el más efectivo y común debido a su resistencia a la fermentación y al ataque bacteriano en el almacenamiento de la briqueta (Chuguli, 2021). El almidón de yuca y la melaza han sido los aglutinantes más empleados en concentraciones el 4-6% debido a su facilidad de fabricación, su capacidad ligante en la elaboración

de briquetas, bajo costo y su composición natural que minimiza la implementación de aditivos químicos (Chicaiza & Marcillo, 2021) (Alain & Santacruz, 2021). Es así, que en esta investigación se implementarán ambos aglutinantes a fin de evaluar su influencia y eficiencia al mezclarlo con la biomasa residual.

La temperatura de tratamiento se incluye dentro de los parámetros esenciales para la fabricación de biocombustibles debido a su relación con el volumen de las partículas, la densidad y la compactación de la biomasa. Tirado (2015) llevó a cabo un estudio en el obtuvo briquetas con óptima calidad formada a una temperatura de tratamiento equivalente a 170°C empleando una presión de 500 kgf/cm² (49033 kPa). Sin embargo, existen otros autores los cuales utilizan temperaturas que alcanzan los 100°C en briqueteadoras industriales (Huanca, 2017). Cabe resaltar que la temperatura de tratamiento y la presión ejercida dependen principalmente del material prima a emplear para la fabricación de biocombustibles.

En la fabricación de briquetas a partir de biomasa residual se emplean prensas, las cuales se encargan de generar presión a fin de obtener el producto final. La presión de baja compactación ha sido la más empleada para la fabricación de briquetas, tal como se evidencia en el estudio realizado por Chuguli (2021) donde emplearon una presión de compactación entre 150 y 152 KPa utilizando bagazo de caña de azúcar como materia prima y como aglutinante el almidón de yuca. Maradiaga et al., 2017 emplearon una presión de 140 Kgf/cm² (13.729 KPa) en una briqueteadora industrial a una temperatura de 80°C usando residuos de cáscara de piñón manso (*Jatropha curcas*) y bagazo de caña de azúcar durante 5 minutos. (Chicaiza & Marcillo, 2021) revela que altas presiones >5.000 KPa normalmente se usan cuando no existe ningún aglutinante, llevándose a cabo en máquinas sofisticadas.

4.1 Briquetas fabricadas según diseño de mezcla

En la tabla 2 se observa como quedaron las briquetas después del proceso de secado y compactación, variando el aglutinante.

Tabla 2. Ilustraciones briquetas fabricadas.

Muestra	Ilustración
1	
2	
3	
4	

Fuente: Autores.

Tabla 3. Ilustraciones briquetas incineradas.

Muestra	Ilustración
2	
3	
4	

En la tabla 3 se muestran los residuos de cada una de las briquetas que fueron pasadas por el fuego para comprobar su eficiencia, donde ninguna de ellas logró mantenerse por un tiempo prolongado encendida y conservando la estructura inicial con la cual fue extraída del laboratorio.

Tabla 4. Análisis prueba de ignición.

Muestra	Tiempo en encender	Tiempo encendido	Observaciones
2	5 seg	20 seg	No se desintegra, solo se quema
3	5 seg	35 seg	No se desintegra, sólo se quema
4	5 seg	20 seg	Genera humos, olores y se apaga más rápido

Fuente: Autores.

4.2 Discusión de resultados

De acuerdo con el diseño de mezcla establecido anteriormente, con el uso de la prensa hidráulica de 40 Toneladas, se fabricaron 4 tipos de briquetas, tal y como se evidencia en la tabla 2. La muestra 1, fue aquella cuyo resultado demuestra que, por la falta de aglutinante en la mezcla no se logra obtener una consistencia óptima al momento de que el bagazo se introduce en la prensa hidráulica. Cabe resaltar la diferencia más significativa entre la muestra 2 y la 3, y por la cual a los investigadores motivó a realizar una segunda briketa con un mismo aglutinante, y es debido a que en la muestra 2, no se contó con la misma cantidad de líquido proveniente de la mezcla del aglutinante de almidón de yuca, resultando de esta manera en una briketa más húmeda que la anterior.

Por último, se tiene a la muestra 4, cuyo aglutinante es la melaza también como residuo, que se conservó en un lugar frío y con buena ventilación con el fin de que, llegado el momento de ser utilizado en el laboratorio, éste se desempeñe de la mejor manera posible, demostrando rápidamente la facilidad de comprimirse en la prensa con el bagazo de caña de azúcar.

A lo largo de los resultados obtenidos en cada una de las muestras analizadas en la investigación, se denota un patrón reiterado en

las mismas, y es que ninguna de las briquetas logró desintegrarse en la totalidad esperada, y esto se puede deber a varios factores, uno de los principales es la cantidad de aglutinante empleado en las mezclas con el bagazo de la caña de azúcar, debido a que la cantidad de aglutinante agregada a la muestra fue en una gran cantidad, este no permitió el correcto encendido de las muestras, y el otro factor fue el tamaño de la partícula obtenido durante el proceso de trituración, debido a que las condiciones de la trituradora utilizada durante el proceso no tenía el potencial para poder cumplir con el diámetro óptimo de triturado. Cabe recalcar que estos resultados no solo se presentaron en esta investigación, sino que también en otras investigaciones pasaron por ciertos inconvenientes al haber tenido las muestras contaminadas de una manera u otra, tal y como es el caso de (Chigulli, 2021), en donde elaboraron briquetas de una manera similar, y obtuvieron resultados parecidos, por lo que recomiendan que para futuras investigaciones se busque utilizar partículas más finas para obtener resultados más óptimos; demostrando así que para poder aprovechar al máximo los beneficios ofrecidos por el bagazo de caña de azúcar para ser utilizado como biomasa, se debe de tener un mayor cuidado al momento de ser elaboradas las briquetas y probablemente experimentar con presiones más altas durante el proceso, para utilizar la mayor cantidad de la materia prima.

El color de la llama obtenida al realizar la prueba de ignición fue de color amarilla, lo que revela una combustión incompleta, lo que está relacionado con la temperatura en la que se llevó a cabo la experimentación, la falta de oxígeno y posiblemente por el aglutinante empleado. Es así que se recomienda hacer experimentaciones más detalladas para evaluar el potencial que posee el bagazo de caña de azúcar para fabricar biocombustibles, que logran ser una alternativa parcial a los combustibles convencionales.

5. Conclusiones

El empleo de biomasa residual para la fabricación de nuevos productos como biocombustibles a partir de alternativas sostenibles es una estrategia capaz de minimizar los impactos ambientales generados por la inadecuada disposición de aquellos residuos. Sin embargo, es preciso emplear en su fabricación procesos que minimicen el empleo de recursos naturales.

Las características físicas y químicas del bagazo de caña establecidas a partir de información secundaria facilitaron la selección, el diseño y procesamiento de la materia prima junto con los aglutinantes empleados.

El poder instaurar los parámetros y componentes que influyen en el proceso de fabricación, permitió la óptima elaboración de un biocombustible a partir del bagazo de caña de azúcar.

El diseño de mezcla establecido para esta investigación demuestra que el aplicar el método del prensado funciona de manera óptima para la transformación del bagazo de caña de azúcar en biocombustibles.

6. Referencias

- Alain, L., & Santacruz, S. (2021). Elaboración de Briquetas a partir de Subproductos de Palma Africana (*Elaeis guineensis* J) y Arroz (*Oryza sativa* L). *Revista Politécnica*, 48(2), 65-70. doi: <https://doi.org/10.33333/rp.vol48n2.06>
- Chicaiza, O., & Marcillo, S. (2021). Obtención de briquetas a partir del bagazo de caña de azúcar con la adición de aglutinante para su utilización como biocombustible. Repositorio Universidad de Guayaquil, 1-94. Recuperado de: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/57477/1/BINGQ-IQ-21P63.pdf>
- Chuguli, B. (2021). Elaboración de briquetas a partir de bagazo de caña de azúcar como combustible sólido en la industria panelera del sector la delicia-pacto. Repositorio UTE, 1-119. Recuperado de: https://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/21713/1/73069_1.pdf
- Díaz, R. (2008). Caracterización Energética del Bagazo de Caña de Azúcar del Ingenio Valdez. Ecuador. Producción y aprovechamiento energético de biomasa, 1-4. Recuperado de: <https://www.lippel.com.br/Assets/Downloads/16-07-2014-15-41caracterizacion-del-bagazo-de-cana-de-azucar.pdf>
- Garcés, R., & Martínez, S. (2017). Estudio del poder calorífico del bagazo de caña de azúcar en la industria azucarera de la zona de Risaralda. Repositorio UTP, 1-50. Recuperado de: <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/2eb001bf-107f-4e8e-bc95-066339eb26/content>

- Huanca, L. (2017). Evaluación del Proceso de Producción de Briquetas a partir de residuos de dos maderas de la zona de Iquitos, Loreto. Repositorio Universidad Nacional Agraria La Molina, 1-49. Recuperado de: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3459/K50-H8-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Maradiaga, W., Evangelista, A., Sette, C., Alvez, J., & Fernandes, M. (2017). Producción de briquetas con residuos de cáscara de piñón manso (*Jatropha curcas*) y bagazo de caña de azúcar. Bosque (Valdivia), 38(3), 1-8. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002017000300010>
- Mendoza, J., González, Y., Oviedo, M., Ureta, Á., & Ruiz, A. (2020). Fabricación de biocombustibles sólidos densificados (briquetas) a base de serrín de acacia y estiércol de bovinos en el departamento de Córdoba. Ingeniere. Revista Chilena, 28(3). doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052020000300448>
- Tirado, P. (2015). “Estudio de compactación de la cáscara de nuez para mejorar la calidad de briquetas de biomasa”. Repositorio Universidad Técnica de Ambato, 1-135.
- Vanegas, C. (2016). Manejo del bagazo en la agroindustria de la caña panelera en el nordeste antioqueño a partir de la gestión integral de residuos: Estudio de caso municipio de Yolombó. Repositorio Universidad de Manizales, 1-118. Recuperado de: <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/2880/Tesis%20Con%20correcciones%2014%20nov%20de%202016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Vera, A. (2014). Diseño de briquetas ecológicas para la generación de energía calórica y mejoramiento de ecosistemas en el corregimiento de Nabusímake, municipio de Pueblo Bello - Cesar. Repositorio UNAD, 1-87. Recuperado de: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/6111/92694041.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia (2021). Producción de azúcar en Colombia en 2020. Sector Agroindustrial de la Caña. Recuperado de: <https://www.asocana.org/publico/info.aspx?Cid=215#:~:text=En%202020%20se%20produjeron%2024,bastecer%20una%20ciudad%20de%201>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). Flujo de biomasa. Recuperado de: <https://economiacircular.minambiente.gov.co/index.php/lineas-de-accion/flujo-de-biomasa/>

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2014). Determinantes del Precio de la Tierra. Recuperado de: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Agriculturapecuarioforestal%20y%20pesca/Determinantes%20del%20Precio%20de%20la%20tierra.pdf>

Díaz, P., Benítez, E (2019) Poder calorífico de briquetas elaboradas con biomasa y aglutinantes orgánicos. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8122174>

Balseca, O. (2018) Elaboración, caracterización y posibles aplicaciones de briquetas de residuos de café (BORRA) como biocombustible sólido. Recuperado de: <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/565>

Capítulo 7

Mitigación de impactos en el Parque Natural Nacional El Cocuy a causa del turismo

Laura Juliana Herrera Rodríguez¹
Erika Nayarith Saavedra Gámez²
Sandra Consuelo Díaz Bello³

¹ Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

² Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

³ Facultad de Ingeniería Ambiental, GICAN, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja

1. Introducción

El municipio el Cocuy está ubicado en el noroeste del Departamento de Boyacá, en la majestuosa cordillera de los Andes (cf. figura 1), es uno de los tesoros naturales más importantes de Colombia, donde está el Parque Nacional Natural Nevado del Cocuy. Este parque, que abarca una extensa área de belleza incomparable, ofrece a los visitantes la oportunidad de sumergirse en un ecosistema único y experimentar la grandeza de la naturaleza en su máximo esplendor. Con sus imponentes picos nevados, extensos páramos, lagunas cristalinas y valles verdes, El Cocuy es un verdadero paraíso para los amantes de la aventura y la naturaleza. El parque alberga una variedad excepcional de flora y fauna, incluidas especies endémicas y en peligro de extinción, lo que lo convierte en un refugio vital para la conservación de la biodiversidad.

Además de su enorme valor ambiental, el Parque Nacional Natural El Cocuy desempeña un papel crucial en el turismo y la economía local. Cada año, millones de visitantes nacionales e internacionales acuden a este rincón remoto de Colombia en busca de experiencias únicas y memorables. Los turistas aprovechan la oportunidad de realizar emocionantes caminatas por senderos panorámicos, escalar los imponentes picos y acampar bajo un cielo estrellado que deja sin aliento (Santiago et al., 2021). Es fundamental destacar la importancia de un turismo sostenible en el Parque Nacional Natural El Cocuy. La falta de este frágil ecosistema debe ser una prioridad, asegurando que las actividades turísticas y sus recursos naturales, se realice de manera consciente y respetuosa con el entorno natural (Rodríguez & Rodríguez, 2021).

El tipo de turismo que hay actualmente en el Cocuy es turismo ecológico y no entra en la sostenibilidad del patrimonio, dando a conocer las problemáticas actuales en el mal manejo de los recursos

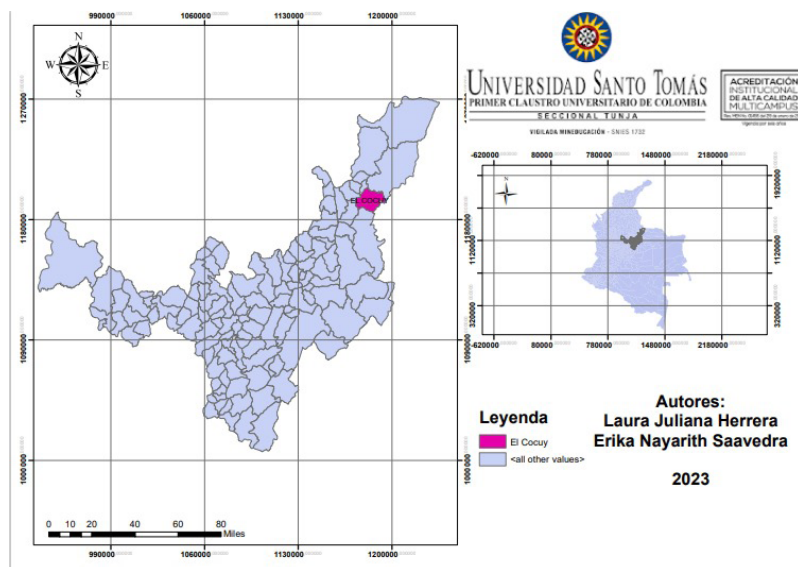
naturales, los desechos e inversión en actividades sustentables (Rodríguez & Rodríguez, 2021), llevando lentamente a este municipio a una limitación de los recursos naturales y una disminución forzada de la economía en la zona, dejando observar que no hay una orientación en el desarrollo e inversión de la economía aplicada en el turismo sostenible (Durán López, 2016). En el PNN del Cocuy existe el turismo ecológico, el senderismo, el montañismo, escalada en hielo y roca y demás actividades que han sido desarrolladas por el cuerpo de empresas inscritas en el municipio (Ramírez, 2014), además de ello estas empresas no cuentan con una educación profesional en los planes de emergencia, no cuentan con un plan de manejo en el PNN del Cocuy actualizado.

La búsqueda de estrategias y transferencia de conocimiento y tecnologías de otros países permiten la implementación de estas misma, el uso de páginas web se ha convertido en una poderosa estrategia para promover el turismo sostenible en destinos como el Parque Nacional Natural El Cocuy. A medida que la tecnología avanza, se presentan oportunidades para informar, educar y conectar a los turistas con prácticas sostenibles, al tiempo que se minimiza el impacto negativo en el medio ambiente. Así mismo permitir dar un servicio que permita esta sostenibilidad y el aumento de la economía (Mora Méndez & Chiriboga Cisneros, 2017).

Las páginas web dedicadas al Parque Nacional Natural El Cocuy pueden proporcionar información detallada sobre las prácticas sostenibles en el área. Esto incluye recomendaciones sobre rutas de senderismo, consejos para minimizar el impacto ambiental y pautas para el comportamiento responsable. Al brindar esta información, se educa a los turistas sobre la importancia de la conservación y se les motiva a tomar decisiones responsables durante su visita (Buitrago, 2005). Su punto más alto, el pico Ritacuba Blanco o Ritak Uwa se ubica a 5380 msnm aproximadamente.

Parque Nacional Natural El Cocuy: Es el parque más conocido de la región, y cuenta con una gran variedad de ecosistemas, desde páramos hasta glaciares. Los visitantes pueden hacer caminatas, escalada en roca y observación de flora y fauna, pero así mismo un gran detalle que ha sido afectado durante el paso del hombre en la tierra ha sido en el Parque Nacional Natural – PNN del Cocuy debido a que en el año 1850 poseía un área glaciaria de 148,7 km² y en el año 2020 posee un área glaciaria de 13,19 km², esto ha sido estudiado por el IDEAM mediante análisis por imágenes satelitales, además de analizar que en la zona urbana hay una reducción demográfica y que en los años que prevaleció el covid-19, se presentó una afectación en la economía debido a que el principal flujo de sustento para la población fue el ecoturismo (Rodríguez & Rodríguez, 2021).

Figura 1. Municipio del Cocuy.



Fuente: Autores.

Se identifica que el “ecoturismo se tiende a interpretar como turismo sostenible pero realmente no es así, ya que esto no es una modalidad turística, sino una forma de gestión” (Limón., 2020) y

una de las falencias es que el plan de manejo PNN el Cocuy esta desactualizado al 2009 (PNNC, 2005) al igual que la ausencia de un Plan de Ordenamiento Ecoturístico (POE) esta (Calderón, 2013) para el municipio del Cocuy. Por eso el objetivo del proyecto es establecer estrategias de mitigación de impactos ambientales y económicos presentes en el Parque Nacional Natural el Cocuy a través de actividades turísticas.

2. Metodología

Se usó una metodología de investigación mixta la cual, se generan actividades cualitativas y cuantitativas que complementan el análisis del proyecto.

Figura 2. Metodología de investigación mixta del proyecto.



Fuente: Autores.

Para la primera fase del proyecto se tiene presente iniciar con una investigación bibliográfica por medio de plataformas y fuentes acreditadas y viables con el objetivo de encontrar artículos, revistas, proyectos investigativos y trabajos de grado relacionados con el propósito de recopilar información de lo anteriormente mencionado sobre las problemáticas ambientales presentadas por causa del turismo en el Parque Nacional Natural – PNN del Cocuy.

En la segunda fase del proyecto se va realizar una matriz de Estudio Impactos Ambientales – EIA mediante los procedimiento de Arboleda (Jorge Alonso Arboleda González, 2008) la cual contiene parámetros de evaluación del tipo de clase (positivo o negativo), presencia (cierta, muy probable, probable, poco probable, muy poco probable), duración (permanencia o tiempo de vida), evolución (el tiempo transcurrido como muy rápida, rápida, media, lenta, muy lenta), magnitud (que es el porcentaje de afectación, muy alta, alta, media, baja, muy baja), por último se quiere obtener un porcentaje de calificación para cada uno de los impactos ambientales identificados por medio de los procedimientos anteriormente mencionados con el objetivo de determinar la importancia con la que se deba solucionar determinado impacto (Jorge Alonso Arboleda González, 2008).

En la tercera fase para las acciones de mejora se realiza la planificación de una página web por medio de la plataforma Godaddy con la cual se pretende personificar todo el territorio del Cocuy, de forma que todas las empresas turísticas del territorio se afilien, tendrá información de conciencia, venta de planes de actividades turísticas sostenibles y razón de ser de la empresa, además se realiza una rúbrica de todo lo que iría dentro de la página como el nombre de la página, razón de ser (misión y visión, propietarios, afiliados, concienciación del ambiente y objetivos) y así mismo, se realiza una rúbrica de la optimización del ecoturismo a turismo sostenible para las empresas turísticas y para sus afiliados, es decir, que se prestará un servicio de asesoramiento para las empresas

turísticas y afiliados para el turismo sostenible y así mismo, se venderán los cupos solo para el territorio del Cocuy para permanecer en la página web y que esta represente el territorio.

Para poder llevar a cabo las acciones de mejora se deben tener en cuenta la realización de la siguiente metodología para no tener errores y estar consciente de que se afronta:

Se genera por medio de la metodología del modelo de negocio CANVA los segmentos de mercado, la propuesta de valor, los canales de comunicación, la relación con los clientes, las fuentes de ingresos, el recurso clave del negocio, las actividades clave, las asociaciones clave y la estructura de los costes por la que la empresa se basa para ser competitiva en el mercado (Herrera, 2015).

Para conocer el entorno de las acciones de mejora que se quieren implementar en el territorio, se desarrolla el método *PESTEL* de Kaplan y Norton (2008) (Juya, 2020) por la que sirve para organizar la información de uso político, económico, social, tecnológico, ecológico y legal del mercado del turismo, aparte de ello, se realizó cada ítem de forma nacional, departamental y local, esta información vendrá de investigación bibliográfica por medio de plataformas y fuentes acreditadas y viables.

Además, se realiza un estudio de mercado por medio de la metodología de las 5 fuerzas de Porter por el cual se investigan “las amenazas de entrada de nuevos competidores, rivalidad entre competidores existentes, amenaza de productos y servicios sustitutos, poder de negociación del proveedor y poder de negociación del cliente” (Krhinis, 2018).

En la cuarta fase se desarrolla por medio de la metodología *DOFA*, el análisis de los elementos de debilidades, fortalezas, oportunidades y amenazas de la empresa en el mercado (Ferrell & Hartline, 2015). Partiendo de lo anterior, se generan en Excel los

cálculos pertinentes para hallar el punto de equilibrio entre los gastos totales anuales y las ventas totales anuales (Ferrell & Hartline, 2015) para determinar la viabilidad del negocio, además de analizar si las acciones de mejora con la página y capacitaciones son viables para el territorio.

3. Resultados

En los resultados de la fase 1 de las problemáticas ambientales para presentar a causa del turismo en el parque natural nacional del Cocuy son:

El suelo en algunas zonas del parque presenta “filtración de agua, compactación y contaminación del suelo, además de pérdida de coberturas, contaminación del agua, todo lo anterior es presentado por las acciones como el tránsito de caballos, excretas de caballos y campistas, alta transición de personas y producción de basuras” (Ramírez, 2014). Así mismo, se reconoce que existe una generación de ruido y contaminación en las vías de los senderos el cual ocasiona pérdidas de biodiversidad y migración de flora y fauna, debido a el desarrollo turístico (Calderón, 2013).

El territorio no posee un control de los prestadores de servicio, tampoco se ejecutan las normas oficiales para usar los senderos, se excede el número de visitantes y animales, por esa razón las estrategias que existen para mitigar los impactos al parque no son suficientes, debido a que no se logran identificar todas las organizaciones que trabajan en el mismo sector, esto pasa debido a la ausencia de articulación del *Plan de Ordenamiento Ecoturístico* y la actualización del Plan de Manejo del Parque.

En la fase 2 se presenta resumida la matriz de impacto de arboleda. Esta se generó con los criterios de importancia con respecto al resultado de la calificación ambiental, lo cual evidencia cuales de los aspectos ambientales poseen más urgencia a tratar.

- » **Aspecto ambiental: Transitar en territorio de conservación con una cantidad considerable de caballos y personas.**
 Impacto ambiental: Compactación y contaminación del suelo
 Valoración: Relevante
 Impacto ambiental: Contaminación del agua
 Valoración: Irrelevante
 Impacto ambiental: Pérdida de coberturas
 Valoración: Relevante

- » **Aspecto ambiental: Excretas de caballos y personas.**
 Impacto ambiental: Cambiar o emigrar a la fauna nativa y flora
 Valoración: Relevante
 Impacto ambiental: Contaminación del agua
 Valoración: Relevante
 Impacto ambiental: afectaciones a la salud de los visitantes
 Valoración: Irrelevante

- » **Aspecto ambiental: Botar basura por los senderos del parque y zonas en donde acampan.**
 Impacto ambiental: Generación de lixiviados
 Valoración: Grave
 Impacto ambiental: Contaminación del aire
 Valoración: Grave

- » **Aspecto ambiental: Generación de ruido.**
 Impacto ambiental: Cambiar o emigrar a la fauna nativa.
 Valoración: Grave

Tabla 1. Matriz de Arboleda.

MATRIZ EPM O ARBOLEDA PARA EVALUAR LOS IMPACTOS AMBIENTALES										
FACTOR AMBIENTAL	ASPECTOS AMBIENTALES	IMPACTO AMBIENTAL	C	P	D	E	M	Ca		IA
								(-)	(+)	
agua, suelo, social, aire, económico	Transitar en territorio de conservación con una cantidad considerable de caballos y personas	Compactación y contaminación del suelo	P	1	0.8	1	1	7.3		Relevante
		Contaminación del agua	P	0.2	0.5	1	1	1.28		Irrelevante
		Perdida de coberturas	P	1	0.5	1	1	6.4		Relevante
	Excretas de caballos y personas.	Cambiar o emigrar a la fauna nativa y flora	P	1	0.7	1	1	7		Relevante
		Contaminación del agua	P	1	0.4	1	1	5.4		Relevante
		afectaciones a la salud de los visitantes	P	0.6	0	1	0.4	1.04		Irrelevante
	Botar basura por los senderos del parque y zonas en donde	Generación de lixiviados	P	1	0.9	1	1	9.7		Grave
		Contaminación del aire	P	1	1	1	1	8.6		Grave
	Generación de ruido.	Cambiar o emigrar a la fauna nativa.	P	1	1	1	0.8	7.48		Grave

Fuente: Autores.

Por lo cual se requiere de forma urgente buscar una solución para el adecuado manejo de las basuras en los senderos y en la moderación del ruido de los visitantes.

En la tercera fase de los resultados se realizó la rúbrica de la página web de la siguiente forma:

Figura 3. Prototipo del inicio de la *página web*.



Fuente: Autores.

Figura 4. Prototipo de la información de afiliados, razón de ser, propietarios y conciencia de la *página web*.



Fuente: Autores.

Figura 5. Prototipo de donde estarán ubicadas las actividades en la *página web*.



Fuente: Autores.

La rúbrica para evaluar las actividades o servicios de las empresas turísticas y negocios para garantizar un óptimo turismo sostenible y gestión ambiental.

Tabla 2. Rúbrica de evaluación de actividades a empresas turísticas.

Nombre de la empresa turística / organización correspondiente.				
Actividad o servicio	Nombre de los encargados y cargo.	Descripción detallada	Utensilios, espacios o recursos naturales a usar.	Aprobado/rechazado
Correcciones o sugerencias				
Restricciones para cumplir por actividad				

Fuente: Autores.

Tabla 3. Rúbrica de evaluación de actividades a afiliados.

Nombre del negocio afiliado / organización correspondiente.				
Actividad o servicio	Nombre de los encargados y cargo.	Descripción detallada	Utensilios, espacios o recursos naturales a usar.	Aprobado/rechazado
Correcciones o sugerencias				
Restricciones para cumplir por actividad				

Fuente: Autores.

Figura 6. Prototipo de poster de concientización.



Fuente: Autores.

Se generó el modelo de *CANVAS* para analizar la competitividad y distinción del negocio del servicio y *página web*.

Figura 7. Modelo CANVAS.



Fuente: Autores.

Para modelo de negocio se presentó la Misión y Visión.

Misión. Somos una empresa privada encaminada al servicio público que pretender dar unificación a estrategias de turismo sostenible que permita dar gozo del Parque Natural Nacional el Cocuy y sus recursos naturales sin afectar estos mismos ni el ecosistema, así mismo permitir el aumento de recursos económicos en la zona.

Visión. Darnos a conocer de manera internacional para así llegar a nuevos turistas y que puedan disfrutar de un turismo sostenible promoviendo el cuidado del medio ambiente y demostrando que este tipo de turismo se puede implementar en otros territorios.

Análisis de PESTEL

En el siguiente resumen se pretende tener en cuenta los aspectos más importantes en cada sector para un entendimiento más a fondo del entorno del territorio y turismo.

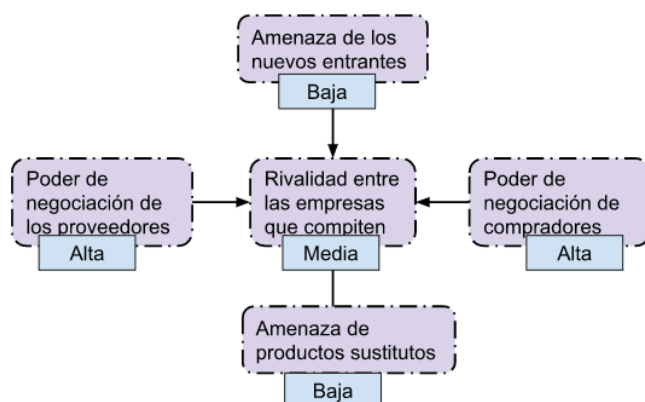
Tabla 4. PESTEL

Sector político/legal	Sector socio / económico
Hay políticas y normas muy importantes que trabajan con la conservación, mitigación, sostenibilidad del medio ambiente y sus recursos naturales para la sociedad, pero el PNN el Cocuy tiene desactualizado los dos planes más importantes del territorio, el Plan de Manejo del PNN el Cocuy y la inexistencia del Plan de Ordenamiento Ecoturístico. También se conoce que en la parte legal se está excediendo el límite de visitantes, además no hay un cuerpo gubernamental que rija el manejo de los guías calificados para trabajar en los senderos. Hay actividades que están prohibidas en ciertas zonas del parque como acampar, defecar, llevar animales y aun así eso sigue pasando debido a que las autoridades pertinentes no han hecho algo al respecto y tampoco se ejercen multas. Hay políticas y normas muy buenas a nivel nacional, pero de forma local no se aplican con el mismo rigor que en otros parques nacionales naturales del país.	El crecimiento de la economía en este sector ha aumentado hasta en un 2.5% permitiendo la disminución del desempleo (Puentes Sandoval, 2020). A nivel social se ha presentado un cambio drástico en la incrementación de turistas y de la economía de manera directa, debido a que hubo una transición de predominar la economía en la agricultura por ecoturismo. Se presenta un conflicto social con las comunidades U' Wa por el uso y contaminación del PNN el Cocuy, también se conocen conflictos sociales entre comunidades civiles por la captación de turistas y competitividad indiscriminada de los guías. En los años que hubo altos picos de contagio del Covid-19, el territorio se vio muy afectado en la economía por el hecho de que el PNN el Cocuy se cerró y protegió, por ende, a las comunidades tuvieron que buscar otro tipo de economía que no fuera turismo para sobrevivir.
Sector Tecnológico	Sector ecológico
En el territorio del PNN el Cocuy y en el municipio se desconoce por parte de la organización encargada del parque la actualización de las páginas web actualizadas lo que genera que otras entidades privadas y de otros territorios sean más vistosos y proporcionen la información pertinente del territorio, el hacer un mejor marketing provoca que el territorio no se personifique de su economía y el control. El territorio en algunas zonas maneja la comunicación satelital debido a que a veces es difícil llegar a las zonas rurales por las condiciones ambientales.	El territorio se ha visto afectado por las actividades antrópicas, tanto por las actividades turísticas como desde hace muchos años por las comunidades indígenas que habitaban en la zona, y actualmente presentándose una sobreexplotación del PNN el Cocuy alterando el ciclo hidrológico del ecosistema, afectando la cobertura vegetal, deterioro de la capa de ozono.

Fuente: Autores.

El uso de la herramienta analítica Porter permite evaluar y comprender el entorno competitivo para poder dinamizar las estrategias de marketing y forma de mercado que opera la empresa. A continuación, se demuestra en la figura 8 se muestra los análisis necesarios para la empresa.

Figura 8. 5 Fuerzas de Porter.



Fuente: Autores.

Amenazas de los nuevos entrantes: Esto puede bajar los compradores ya que son nuevos proveedores del servicio de turismo y así mismo ver ellos que enfoquen van a tener, si las nuevas empresas atraen turismo nacional o extranjeros de tal forma que se determine el coste de las actividades a servir para así disputar los clientes.

Poder de negociación de compradores: Es moderado a partir de las diferentes opciones de servicio que se encuentran en las agencias y así mismo por las temporadas ya que permite la concentración de clientes y asimismo el aumento de compras y determinar precios como toma de decisiones, por eso es necesario tener en cuenta la cantidad de clientes durante todo el año.

Amenaza de productos sustitutos: Esto es bajo debido a que las visitas al nevado buscan experiencias nuevas, permitiendo así los turistas tengan alternativas de destinos y actividades.

Poder de negociación de los proveedores: Es primordial los guías de cada actividad, sin importar que trabajen de forma independiente y dependiendo las temporadas, por lo que da fuerza a la oferta de servicios de turismo en la zona, sin embargo, tienen un control sobre los precios y calidad del servicio que ofrecen. se debe estandarizar los rivales que existen dentro y fuera del municipio del cocuy para así dar un mejor precio y calidad del servicio.

Rivalidad entre las empresas que compiten: Esta es moderada debido a la existencia de la cantidad de competencia en la zona y servicios externos, esta puede variar a partir de las opciones turísticas que se ofrezcan. Otro factor de rivalidad es poder obtener vínculos directos con los proveedores. (Palta, 2016)

Para la fase 4 se desarrolló el análisis *DOFA* el cual ayuda a determinar y analizar las variables externas del mercado e interna del negocio.

Tabla 5. DOFA

Debilidades (interno)	Oportunidades (externo)
Existen temporadas que debilitan la demanda.	Personificación, gestión y control ambiental del turismo en el territorio.
Debe obtener las ventas necesarias para subsistir la página.	Aumento de clientes, economía y empleo en la zona.
Poca diversidad de planes (socios).	Distinción del turismo a nivel nacional.
Fortalezas (interno)	Amenazas (externo)
Innovación, asesoramiento y promoción del turismo sostenible del territorio.	Inestabilidad económica y competencia de agencias de viajes de otros municipios.
Oportunidad de afiliación.	Vulnerabilidad del ecosistema y desastres naturales.
Disponibilidad de atención al público.	Presencia de posible pandemia mundial.
Preservación de los ecosistemas.	

Fuente: Autores.

En las *Amenazas* se puede deducir que, podría existir una inestabilidad de la economía a razón de las agencias de viajes de otros municipios por el marketing que han realizado a través de los años y lo reconocida que son, como segunda amenaza se contempla el posible deterioro y desastres en los ecosistemas del parque debido al deterioro de la capa de ozono y esto perjudica la accesibilidad o preservación del ambiente. Como tercera amenaza se contempla que, si ocurre otra pandemia, esto perjudica tanto a la página y al mercado de turismo en la región, ya que no habría accesibilidad al parque.

Se encontraron *Oportunidades* como la personificación de las nuevas actividades y estrategias de turismo permite la gestión de los recursos del ecosistema, así como el control ambiental de estos en el turismo de la zona, como segunda oportunidad la acción de mejora de la página permite el aumento de clientes, por la razón de ser y concientización del proyecto, además mejora la economía y empleo en la zona, como tercera oportunidad se tiene que estas nuevas estrategias como el asesoramiento y concienciación permite la distinción a nivel nacional.

Dentro de las *Debilidades* se puede determinar que durante el año existen temporadas con baja actividad donde esto debilita la economía y así la demanda en la zona, por esto se puede tener en cuenta la segunda debilidad que es el punto de equilibrio mínimo de ventas que necesita la página para subsistir, como tercera debilidad que se tendría, si no se logran las afiliaciones suficientes de negocios para que la página tenga diversidad de actividades y planes.

En las *Fortalezas* se encontró que se puede brindar asesoramiento a las empresas turísticas con las actividades y su promoción por medio de la página permitiendo así, que los visitantes puedan tener opciones de las diferentes actividades que se puedan realizar en el *Parque Nacional Natural El Cocuy*, ya que cuenta con una belleza natural excepcional, con imponentes picos nevados, páramos y la-

gunas, como segunda fortaleza se cuenta con oportunidades de afiliación en el servicio de asesoramiento y *marketing* en la página, lo cual beneficia en el aspecto económico a las dos partes y como tercera oportunidad es que este proyecto busca la preservación de los ecosistemas con estrategias y actividades que sean amigables con el medio ambiente y satisfagan las necesidad tanto de las empresas como turistas, además de la concientización que se hace en la página web el cual permite que los turistas tengan un acceso directo de la información siendo esto factible para ellos como para nosotros.

Punto de equilibrio o prefactibilidad: Este resultado se halló por medio de 3 componentes, el cual son los costos variables, costos fijos y la suma de los dos anteriores da el costo total de la empresa, el cual representa los gastos del negocio.

Tabla 6. Costos variados.

Costo variables	Mantenimiento de actividades en la página	Empleado de atención al cliente (Página web)	Total costo variables
Mes 1		\$ 1,300.00	\$ 1,300.00
Mes 2		\$ 1,300.00	\$ 1,300.00
Mes 3	\$ 50.00	\$ 1,300.00	\$ 1,350.00
Mes 4		\$ 1,300.00	\$ 1,300.00
Mes 5		\$ 1,300.00	\$ 1,300.00
Mes 6	\$ 50.00	\$ 1,300.00	\$ 1,350.00
Mes 7		\$ 1,300.00	\$ 1,300.00
Mes 8		\$ 1,300.00	\$ 1,300.00
Mes 9	\$ 50.00	\$ 1,300.00	\$ 1,350.00
Mes 10		\$ 1,300.00	\$ 1,300.00
Mes 11		\$ 1,300.00	\$ 1,300.00
Mes 12	\$ 50.00	\$ 1,300.00	\$ 1,350.00
Total	\$ 200.00	\$ 15,600.00	\$ 15,800.00

Fuente: Autores.

Los costos variables de la empresa son los gastos necesarios que debe hacer la empresa y que además varían en el tiempo, en este caso es el mantenimiento de la página y el empleado que manejará la atención al cliente.

Tabla 7. Costos fijos.

Costos fijos	Licencia anual de la página (.com)	Plan de manejo de la página (Anual)	Internet	Total costos fijos (dólares)	Total costos fijos (peso colombiano)
Mes 1	\$ 16.78	\$ 21.99	\$ 19.50	\$ 58.27	\$ 263.85
Mes 2	\$ 16.78	\$ 0.00	\$ 19.50	\$ 36.28	\$ 164.28
Mes 3	\$ 16.78	\$ 0.00	\$ 19.50	\$ 36.28	\$ 164.28
Mes 4	\$ 16.78	\$ 0.00	\$ 19.50	\$ 36.28	\$ 164.28
Mes 5	\$ 16.78	\$ 0.00	\$ 19.50	\$ 36.28	\$ 164.28
Mes 6	\$ 16.78	\$ 0.00	\$ 19.50	\$ 36.28	\$ 164.28
Mes 7	\$ 16.78	\$ 0.00	\$ 19.50	\$ 36.28	\$ 164.28
Mes 8	\$ 16.78	\$ 0.00	\$ 19.50	\$ 36.28	\$ 164.28
Mes 9	\$ 16.78	\$ 0.00	\$ 19.50	\$ 36.28	\$ 164.28
Mes 10	\$ 16.78	\$ 0.00	\$ 19.50	\$ 36.28	\$ 164.28
Mes 11	\$ 16.78	\$ 0.00	\$ 19.50	\$ 36.28	\$ 164.28
Mes 12	\$ 16.78	\$ 0.00	\$ 19.50	\$ 36.28	\$ 164.28
Total	\$ 201.36	\$ 21.99	\$ 234.00	\$ 457.35	\$ 2,070.88

Fuente: Autores.

Los costos fijos son los gastos necesarios que debe ejecutar la empresa y que además en un año tienen el mismo precio, como en este caso con la licencia de la página, el plan de manejo de la página y el *internet*.

En la siguiente tabla se observan los costos totales de la empresa mensual y anual de los costos variables y fijos.

Tabla 8. Costos totales

Costos totales	(peso colombiano)
Mes 1	\$ 1,563.85
Mes 2	\$ 1,464.28
Mes 3	\$ 1,514.28
Mes 4	\$ 1,464.28
Mes 5	\$ 1,464.28
Mes 6	\$ 1,514.28
Mes 7	\$ 1,464.28
Mes 8	\$ 1,464.28
Mes 9	\$ 1,514.28
Mes 10	\$ 1,464.28
Mes 11	\$ 1,464.28
Mes 12	\$ 1,514.28
Total	\$ 17,870.88

Fuente: Autores.

Los costos totales son la suma de los costos variables y fijos, estos son los gastos de la empresa que se deben pagar que como mínimo en ventas se debe recoger.

En la siguiente tabla están previstas las ventas mínimas que debe tener la empresa mensual y anual en unidades.

Tabla 9. Ventas unidades al año.

#	1	1
Ventas en Unidades Año 1	Tarifa de cobro por cada plan de turismo vendido en la página web por persona	Servicio de orientación a las empresas turísticas (sostenibles) e implementación de actividades a la página
Mes 1	17	3
Mes 2	25	

#	1	1
Ventas en Unidades Año 1	Tarifa de cobro por cada plan de turismo vendido en la página web por persona	Servicio de orientación a las empresas turísticas (sostenibles) e implementación de actividades a la página
Mes 3	26	
Mes 4	25	
Mes 5	25	
Mes 6	26	
Mes 7	25	
Mes 8	25	
Mes 9	26	
Mes 10	25	
Mes 11	18	2
Mes 12	19	2
Total	282	7

Fuente: Autores.

En la siguiente tabla se muestran las ventas que debe tener el negocio en dinero de forma mensual y anual.

Tabla 10. Ventas en pesos al año.

#	1	2	Total
Ventas en \$ Año 1	\$ 60,000	\$ 200,000	
Mes 1	\$ 1,020,000	\$ 600,000	\$ 1,620,000
Mes 2	\$ 1,500,000	\$ 0	\$ 1,500,000
Mes 3	\$ 1,560,000	\$ 0	\$ 1,560,000
Mes 4	\$ 1,500,000	\$ 0	\$ 1,500,000
Mes 5	\$ 1,500,000	\$ 0	\$ 1,500,000
Mes 6	\$ 1,560,000	\$ 0	\$ 1,560,000
Mes 7	\$ 1,500,000	\$ 0	\$ 1,500,000
Mes 8	\$ 1,500,000	\$ 0	\$ 1,500,000

#	1	2	Total
Ventas en \$ Año 1	\$ 60,000	\$ 200,000	
Mes 9	\$ 1,560,000	\$ 0	\$ 1,560,000
Mes 10	\$ 1,500,000	\$ 0	\$ 1,500,000
Mes 11	\$ 1,080,000	\$ 400,000	\$ 1,480,000
Mes 12	\$ 1,140,000	\$ 400,000	\$ 1,540,000
Total	\$ 16,920,000	\$ 1,400,000	\$ 18,320,000

Fuente: Autores.

Teniendo en cuenta la tabla 10, se puede ver que el punto de equilibrio mínimo sobre pasa un poco los gastos totales, lo cual no es negativo.

4. Conclusiones

Se reconoce que el territorio del *PNN el Cocuy* tiene varios impactos ambientales, entre esas los más influyentes son las acciones en las actividades antrópicas del humano.

El uso del modelo *CANVAS* permitió tener un análisis de las estrategias necesarias, para poder tener en cuenta los posibles afiliados y recursos necesarios para que se mantenga la empresa.

La creación de la página web permite la factibilidad de la generación de una empresa y así mismo masificar las ventas, el reconocimiento de este mismo y aportar empleo en el municipio.

Por medio del punto de equilibrio, se dieron a conocer los valores mínimos que se requieren para sostener la empresa, viendo así que la creación es relativamente económica, su manejo es accesible y la página es promotora de la concientización ambiental tanto para los clientes como para los afiliados, pudiendo resolver los impactos ambientales a futuro con la gestión y control de las actividades del *PNN el Cocuy*.

Adicionalmente se comprende que, tratando los temas de contaminación ambiental por medio del turismo, disminuiría el conflicto entre comunidades indígenas y civiles, además de proyectar un control en el manejo de los guías y empresas de actividades turísticas.

5. Referencias

Arboleda González, Jorge Alonso. (2008). *Manual de Evaluación de Impacto Ambiental de Proyectos, Obras o Actividades*. 144.

Buitrago, N. Y. N. L. M. D. M. (2005). *Estudio de factibilidad para el montaje de una fábrica de ropa deportiva en el municipio de el Cocuy*. 84. Recuperado de: [https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/19653/Confecciones Deportivas Cocuy.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/19653/Confecciones%20Deportivas%20Cocuy.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Calderón, D. R. (2013). *La participación como base del turismo comunitario y el manejo de los recursos de uso común*. 1–108. Recuperado de: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/14996/CalderonRamirezDanielRicardo2013.pdf?sequence=1>

Ferrell, O. C., & Hartline, M. D. (2015). *Guía Metodológica para el diseño e implementación de estrategias de mercadeo innovadoras*. 1–41. Recuperado de: <https://www.colombiaproductiva.com/CMSPages/GetFile.aspx?guid=b12c50cd-d23e-471c-94b5-2ccb64896313#:~:text=La Matriz DOFA es una,la actuación de la organización>

Herrera, D. (2015). El modelo CANVAS en la formulación de proyectos. *Cooperativismo & Desarrollo*, 23(107), 118–142. Recuperado de: [https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5352671%0Ahttps://files/618/Herrera - 2015 - El modelo CANVAS en la formulación de proyectos.pdf%0Ahttps://files/619/articulo.html](https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5352671%0Ahttps://files/618/Herrera%20-%202015%20-%20El%20modelo%20CANVAS%20en%20la%20formulaci%C3%B3n%20de%20proyectos.pdf%0Ahttps://files/619/articulo.html)

- Juya, L. A. P. (2020). *Formulación de un plan de turismo sostenible en la vereda Yoteguengue, municipio de Campohermoso, Boyacá*. 21(1), 58. Arboleda González, Jorge Alonso. (2008). *Manual de Evaluación de Impacto Ambiental de Proyectos, Obras o Actividades*. 144. Recuperado de: <http://journal.um-surabaya.ac.id/index.php/JKM/article/view/2203>
- Krhinis, B. R. M. (2018). *Facultad de ciencia y análisis comparativo entre las cinco (5) Fuerzas de Porter y el FODA en el Sector Construcción de Edificaciones en Formaleta en Santo Domingo, Distrito Nacional*. 5, 65. Recuperado de: [https://repositorio.unphu.edu.do/bitstream/handle/123456789/763/Análisis Comparativo entre Las Cinco %285%29 Fuerzas de Porter y el FODA en el Sector Construcción de Edificaciones en Formaleta en Santo Domingo%2C Distrito Nacional.pdf?sequence=1&isAllowed](https://repositorio.unphu.edu.do/bitstream/handle/123456789/763/Análisis%20Comparativo%20entre%20Las%20Cinco%20Fuerzas%20de%20Porter%20y%20el%20FODA%20en%20el%20Sector%20Construcción%20de%20Edificaciones%20en%20Formaleta%20en%20Santo%20Domingo%20Distrito%20Nacional.pdf?sequence=1&isAllowed)
- Limón., J. G. A. G. A. de A. (2020). *Guía CETS - Carta Europea Turismo Sostenible en Espacios Protegidos*. (Vol. 21, Issue 1). Recuperado de: <http://journal.um-surabaya.ac.id/index.php/JKM/article/view/2203>
- Mora Méndez, F. M., & Chiriboga Cisneros, E. F. (2017). Turismo Agroecológico: Alternativa de Desarrollo Turístico Sostenible en la Zona Rural de la provincia del Guayas. *INNOVA Research Journal*, 2(5), 152–162. Recuperado de: <https://doi.org/10.33890/innova.v2.n5.2017.270>
- Palta, E. F. B. (2016). *Facultad de ciencias físicas y matemáticas Departamento de Ingeniería Industrial plan de negocio de turismo aventura en la comuna de Pichilemu: "pichilemu aventura". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Erik Fabián Bravo Palta profesor guía : Universidad De Chile*, 1–96. Recuperado de: <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/142778/Plan-de-negocio-de-turismo-aventura-en-la-comuna-de-Pichilemu-Pichilemu-Aventura.pdf?sequence=1>

- PNNC, P. N. N. de C. (2005). *Plan de Manejo 2005-2009 Parque Nacional Natural El Cocuy*. 1-306. Recuperado de: <http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2013/12/PlandeManejoPNNElCocuy.pdf>
- Ramírez, D. R. C. (2014). *La participación como base del turismo comunitario y el manejo de los recursos de uso común. Sendero de Ritakuwas, sierra nevada de el Cocuy, Güicán y/o Chita, Boyacá, Colombia* (p. 13). Recuperado de: <https://revistas.uexternado.edu.co/index.php/tursoc/article/view/4214/4853>
- Rodríguez, M. L. P., & Rodríguez, D. P. G. (2021). *Estrategias para el fortalecimiento de alianzas territoriales en torno al turismo del nevado del Cocuy en el marco de la política de turismo sostenible de Colombia*. 96.
- Santiago, I., Jaqueline, C., & Xavier, P. (2021). *La geografía del turismo: actores y conflictos del turismo en el Parque Nacional Natural El Cocuy*. 23. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/journal/5762/576273412012/576273412012.pdf>

Capítulo 8

Formulación de una estrategia tecnológica para el reconocimiento de los productos locales y apropiación del patrimonio en el municipio de San Eduardo (Boyacá).

Sylvia Melissa Alfonso Torres¹
Alejandra Castro Ortégón²
Lina Patricia Vega³

¹ Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

² Facultad de Ingeniería Ambiental, GICAN, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

³ Facultad de Ingeniería Ambiental, GICAN, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

Resumen

El municipio de San Eduardo se encuentra ubicado en la provincia de Lengupá en el Departamento de Boyacá y se caracteriza por presentar un gran potencial agrícola y cultural, además de variedad de sitios turísticos naturales que no han sido visibilizados en otras regiones de la manera adecuada generando afectaciones como el desconocimiento del territorio por parte de sus habitantes y un escaso crecimiento y desarrollo económico en todo el municipio; es por ello que, se plantea formular una estrategia tecnológica que permita realizar el reconocimiento de productos locales y la apropiación del patrimonio en este municipio, utilizando la metodología de marco lógico como una herramienta para diseñar, planificar, ejecutar y, posteriormente, evaluar el proyecto. De esta forma, se realiza el análisis del entorno y de sus involucrados, así como la estrategia óptima a desarrollar con la cual se diseña la página web “El encanto de San Eduardo” y se lleva a cabo el correspondiente estudio de Prefactibilidad para determinar si la propuesta de negocio es viable. Finalmente, se concluye que el diseño de la herramienta aporta de manera significativa en la visibilización del municipio y, por ende, puede evaluarse a un nivel de detalle de factibilidad.

Palabras clave: Estrategia tecnológica, Marco lógico, Prefactibilidad, Productos, Reconocimiento, Servicios.

Abstract

The municipality of San Eduardo is located in the province of Lengupá in the department of Boyacá and is characterized by having great agricultural and cultural potential, as well as a variety of natural tourist sites that have not been made visible in other regions in the proper way, generating impacts such as the lack of knowledge of the territory by its inhabitants and little growth and economic development throughout the municipality; That is why, it is proposed to formulate a technological strategy that allows the recognition of local products and the appropriation

of heritage in this municipality, using the logical framework methodology as a tool to design, plan, execute and, subsequently, evaluate the project. . In this way, the analysis of the environment and its stakeholders is carried out, as well as the optimal strategy to be developed with which the web page “El encanto de San Eduardo” is designed, and the corresponding pre-feasibility study is carried out to determine if the business proposal is viable. Finally, it is concluded that the design of the tool significantly contributes to the visibility of the municipality and, therefore, it can be evaluated at a feasibility level of detail.

Keywords: Technological strategy, Logical framework, Pre-feasibility, Products, Recognition, Services.

1. Introducción

Con el surgimiento de la globalización, las innumerables innovaciones a nivel tecnológico y el acelerado crecimiento poblacional, la práctica de la agricultura ha retomado fuerza en los contextos de desarrollo de los territorios en términos de crecimiento económico, seguridad alimentaria, reducción de la pobreza que se traduce en el mejoramiento de la salud de la población; de esta manera, se reconoce a la agricultura como factor importante para los ecosistemas interrelacionados de suelo, agua y energía (Balcázar, Hernández, Leibovich, & Perfetti, 2013).

Por su parte, la agricultura en Colombia es uno de los principales ejes de desarrollo tanto a nivel económico como en lo que respecta a seguridad alimentaria; según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) el país presenta potencial para convertirse en una de las grandes despensas del mundo debido a que cuenta con una gran extensión de áreas cultivables (Gaviria, 2021). Sin embargo, este sector del país se ve afectado constantemente por ciertas limitaciones como la falta de oportunidades de expansión y utilización de tecnologías para el mejoramiento de cultivos, infraestructura inadecuada a nivel rural que se suma a las situaciones de conflicto armado que se han presentado a través de la historia del país (Departamento Nacional de Planeación, 2023).

Cabe destacar que, una parte importante del sector agrícola en el país está representado por el Departamento de Boyacá, ubicado al Centro Oriente del país el cual no sólo se destaca por la cantidad de tierras dedicadas a dicha actividad sino, a su vez, por la gran variedad de productos generados allí y permitiendo hacer de este, uno de los más diversificados del sector (Balcázar, Hernández, Leibovich, & Perfetti, 2013). Dentro de dichos productos se encuentran algunos como: papa, trigo, maíz, café, cebolla, tomate, zanahoria, remolacha,

pepino además de frutas como uchucas, gulupa, pitahaya y tomate de árbol en mayor proporción.

De acuerdo con lo anteriormente mencionado, dentro del departamento se presenta una agrupación de municipios por medio de doce provincias: Sugamuxi, Tundama, Valderrama, Norte, Gutiérrez, Centro, Neira, Oriente, Lengupá, Ricaurte, Márquez y Occidente; cada una de ellas representa parte del patrimonio regional caracterizado por ser un conjunto de actividades naturales que han formado parte de las prácticas sociales de los territorios, incluyendo valores que son transmitidos por su potencial de significancia a generaciones siguientes (Rojas, 2021); dicho patrimonio engloba las costumbres culturales, el valor de la biodiversidad nativa de cada territorio y el potencial de conservación y divulgación por parte de sus habitantes (Gobernación de Boyacá, 2020).

De esta manera, dentro del departamento de Boyacá en la Provincia de Lengupá se encuentra el municipio de San Eduardo ubicado al Sur Oriente del departamento, a 108 kilómetros de Tunja, capital del departamento; presenta un área de 110 kilómetros cuadrados, una altura promedio de 1.700 m.s.n.m y una temperatura media de 18°C. Adicionalmente, el municipio limita al Norte con Aquitania y Pesca, al Sur con Páez y Berbeo, al Oriente con Aquitania y Páez y al Occidente con Berbeo y Zetaquirá como se muestra en la Figura 1 (Mora, 2020).

Figura 1. Ubicación del municipio de San Eduardo, Boyacá.



Fuente: Autores.

Por su parte, el municipio se divide en siete veredas: Alejandría, Bombita, Cardozo, Quebradas, Libertad, San Pablo y Villanueva (Albarracín, 2018) y centra sus actividades económicas en la producción agrícola de café, frijol, caña de azúcar, lulo, plátano, tomate de árbol y chonto en mayor proporción y maíz, pitahaya, malanga y chamba en menores cantidades; además de actividades secundarias como ganadería bovina, apicultura, piscicultura y comercio en la zona urbana; sin embargo, se ha presentado una escasa divulgación de sus productos locales así como del patrimonio de índole cultural y ambiental presente en esta zona (Sistema de Información Turística de Boyacá, 2021).

2. Materiales y métodos

A continuación, se describen cada uno de los aspectos metodológicos implementados en el desarrollo del proyecto para dar cumplimiento a cada uno de los objetivos planteados; adicional a ello, se utiliza la metodología de marco lógico como una herramienta para diseñar, planificar, ejecutar y evaluar proyectos.

2.1 Alcance

El proyecto tiene un alcance de tipo exploratorio ya que con este se pretende examinar un tema poco estudiado teniendo en cuenta que, al realizar la respectiva búsqueda de información bibliográfica referente al reconocimiento de productos locales y la apropiación del patrimonio en el municipio de San Eduardo, Boyacá la información es escasa ya que esta temática no se ha abordado con anterioridad (Alcaldía de San Eduardo, 2023).

2.2 Diseño investigativo

Se trabaja con un diseño de tipo experimental (Albarracín, 2018) en el cual se plantea una estrategia tecnológica que responda al problema planteado en el municipio teniendo en cuenta la manipulación de variables dependientes como los productos locales y la apropiación cultural, así como variables independientes como el uso de tecnologías 4G.

2.3 Enfoque

Se plantea un enfoque de tipo mixto ya que se incluyen variables tanto de tipo cuantitativo como de tipo cualitativo para dar respuesta a los objetivos.

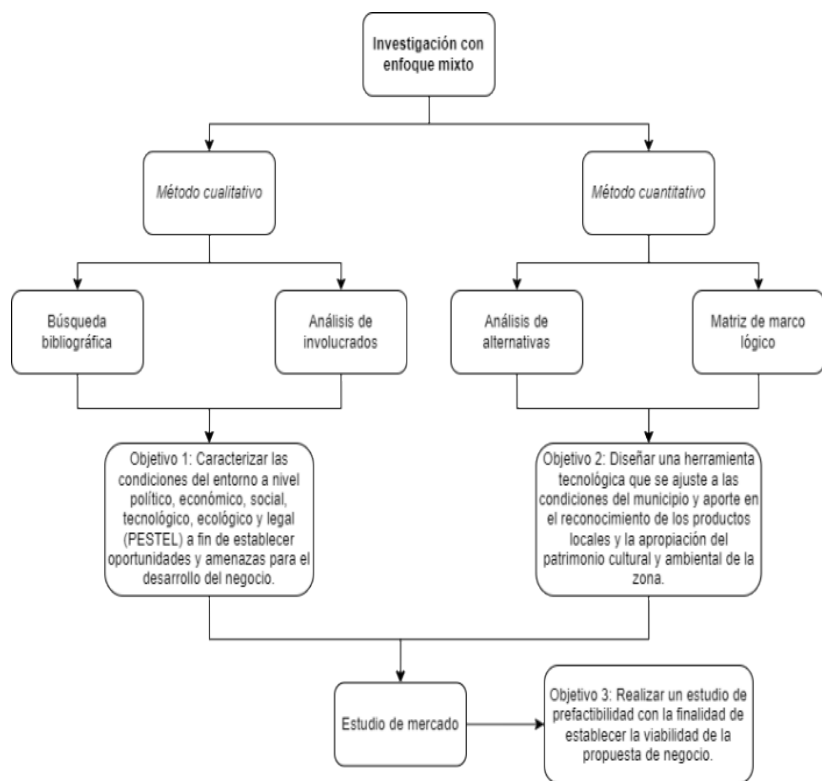
2.4 Unidad de trabajo y unidad de análisis

La unidad de trabajo del presente proyecto es el municipio de San Eduardo, Boyacá; por su parte, la unidad de análisis hace referencia a toda la población a la cual va dirigido el proyecto, incluyendo productores locales, comerciantes, la comunidad en general y los posibles clientes que se ubican fuera del municipio.

2.5 Diseño metodológico o proceso investigativo

A continuación, se presenta el diseño metodológico en el cual se evidencia de manera gráfica cómo se da cumplimiento a los objetivos planteados figura 2.

Figura 2. Diseño metodológico o proceso investigativo.



Fuente: Autores.

2.6 Matriz de variables

Para las variables se establecen los objetivos específicos del proyecto, relacionados con las actividades metodológicas, las variables de trabajo, las técnicas de tratamiento de la información además de los resultados esperados para cada objetivo específico.

2.7 Técnicas e instrumentos

Hacen referencia a los medios con los cuales se da cumplimiento a los objetivos específicos; de esta manera, se encuentran como técnicas las revisiones bibliográficas para realizar la caracterización del entorno a nivel político, económico, social, tecnológico, ecológico y legal (*PESTEL*), además de las encuestas hacia la población involucrada para conocer su nivel de percepción frente a productos del municipio y, de igual forma, se involucran técnicas de análisis estadístico para dar cumplimiento a la realización del estudio de prefactibilidad.

3. Resultados

A continuación, se describen de manera detallada los resultados obtenidos utilizando la metodología de marco lógico y la propuesta por Hernández Sampieri (Hernández Sampieri, 2014).

3.1 Análisis de involucrados

3.1.1 Caracterización de grupos

Dentro de los grupos involucrados en el desarrollo del proyecto se encuentran en primer lugar los pequeños productores locales, situados en la zona rural del municipio y caracterizados por depender de la producción de su parcela para su subsistencia (Albarracín, 2018), de acuerdo con el Plan de Desarrollo Municipal (Mora,

2020) dicha producción se enfoca en cultivos de café, frijol, caña de azúcar, plátano, mora, tomate de árbol, granadilla y lulo, principalmente. Cabe destacar que en este municipio se dan productos exóticos y poco reconocidos como lo es la chamba y la malanga, los cuales tienen una menor producción local.

De la misma manera, se encuentra el grupo de los grandes productores locales caracterizados por cultivar en mayor magnitud los productos propios del municipio, así como tener una facilidad en la comercialización de estos hacia otras regiones ya sea en Miraflores, capital de la provincia de Lengupá, como en Ramiriquí, Ciénega y Tunja en el departamento de Boyacá y Bogotá y Chía, en el departamento de Cundinamarca. Cierta comodidad de comercialización se da principalmente a la capacidad monetaria que presentan para transportar su producción hacia las diversas regiones (Albarracín, 2018).

A su vez, se encuentra el grupo de comerciantes locales dentro de los cuales se destacan los artesanos de productos como canastas y esteras de bejucos, así como las diferentes asociaciones de productores agropecuarios del municipio como Asofrulen, basada en la transformación de productos frutales, Cafesand, en el procesamiento de café, Asocañasand con la comercialización de caña de azúcar y Asomielsand con la comercialización de miel (Mora, 2020). De igual manera, hacen parte de este grupo los pequeños promotores de turismo que existen en el municipio los cuales no cuentan con gran visibilización debido a las pocas garantías en el manejo de zonas apropiadas para tal fin.

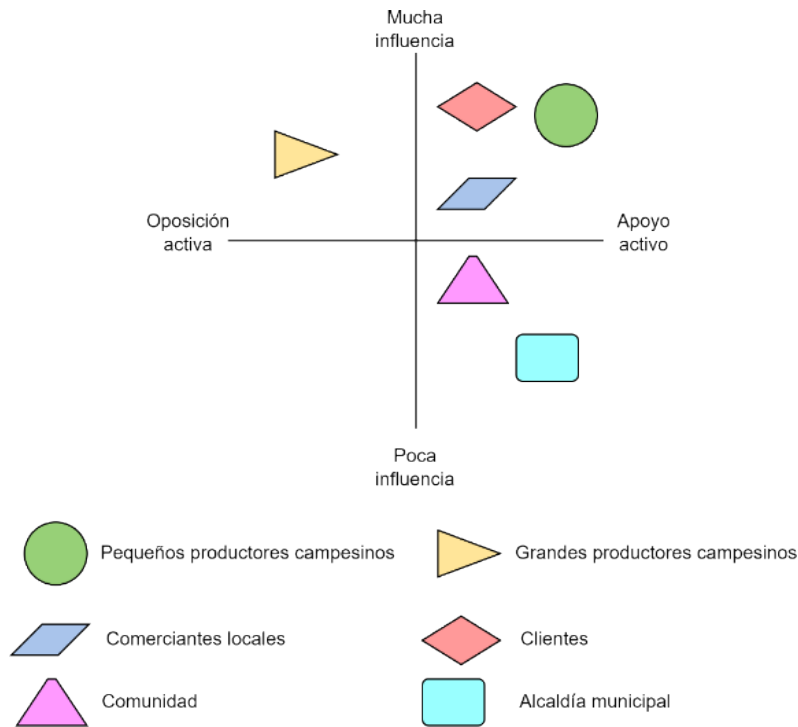
Por su parte, en cuanto al grupo de los clientes se destacan todas aquellas personas principalmente de otras regiones aledañas que accedan a los productos y servicios propios del municipio de San Eduardo, ya sean productos agrícolas como café, frijol, caña de azúcar, plátano y frutales como mora, tomate de árbol, granadilla, lulo y exóticos como chamba y malanga (García, 2021) o productos de

las asociaciones como café procesado, miel y frutales transformados para diversas formas de consumo; adicionalmente, este grupo puede acceder al reconocimiento de servicios turísticos del municipio que influyen de manera directa en el desarrollo del mismo.

Otro grupo de igual importancia hace referencia a la comunidad del municipio de San Eduardo, los cuales, además de dedicarse a las actividades de producción agrícola y comercio a pequeña escala, son los responsables de promover una apropiación de este territorio desde las dimensiones culturales y de riqueza natural con las que cuenta; allí, están incluidos todos los habitantes del municipio de diferentes edades y ocupaciones quienes desconocen su territorio y, por ende, no lo aprovechan de manera adecuada para su desarrollo (Albarracín, 2018).

Finalmente, se encuentra el grupo de la Alcaldía Municipal responsable del desarrollo económico, social y ambiental del municipio; este grupo es relevante ya que por medio de este se pueden generar estrategias que permitan la recopilación de información importante para el desarrollo del proyecto entorno a la producción agrícola, al comercio local y al reconocimiento cultural del mismo. Por ello, se encuentran los grupos involucrados en el presente proyecto, así como la descripción de sus intereses, problemas, mandatos y recursos de acuerdo con la metodología de Marco Lógico. Además, en la Figura 3 se evidencia el mapeo de actores involucrados en el desarrollo del proyecto.

Figura 3. Mapeo de actores.



Fuente: Autores.

Teniendo en cuenta el mapeo de actores participantes en la realización del proyecto, se pueden identificar las clasificaciones de cada grupo de acuerdo con su nivel de influencia y apoyo en la realización del proyecto, de esta forma, se encuentran los grupos de pequeños productores campesinos, comerciantes locales y clientes dentro del cuadrante de apoyo activo y mucha influencia, debido a que estos grupos son fundamentales para desarrollar el proyecto.

Por su parte, en el cuadrante de apoyo activo y poca influencia se encuentran los grupos correspondientes a la comunidad del municipio de San Eduardo y la Alcaldía Municipal ya que, estos grupos representan de igual forma una parte importante en el desarrollo del proyecto, sin embargo, no se relacionan directamente con los

objetivos planteados presentando así poca influencia en el mismo; finalmente, en el cuadrante de mucha influencia y oposición activa se identifica al grupo de grandes productores campesinos teniendo en cuenta que dicho grupo puede afectar el correcto desarrollo del proyecto, impidiendo la comercialización de productos agrícolas locales por parte de los pequeños productores campesinos. Con base en lo anterior, en la Tabla 1 se presentan las estrategias correspondientes con cada grupo de involucrados.

Tabla 1. Generación de estrategias con involucrados.

Grupo	Estrategia
Pequeños productores campesinos	Utilizar la tecnología para dar a conocer a otras regiones los productos agrícolas locales cultivados por los campesinos.
Grandes productores campesinos	Brindar un espacio tecnológico que permita el reconocimiento de su producción a gran escala.
Comerciantes locales	Promocionar sus productos y servicios locales a otras regiones por medios tecnológicos.
Clientes	Generar un espacio virtual de compra de productos y servicios con reconocimiento del patrimonio del municipio.
Comunidad	Realizar un reconocimiento de la riqueza natural y cultural de municipio incentivando el uso de tecnologías.
Alcaldía municipal	Crear un convenio municipal que proporcione información valiosa con el fin de aportar al desarrollo municipal.

Fuente: Autores.

Teniendo en cuenta los grupos involucrados en el desarrollo del proyecto, se establecen ciertas estrategias para cada uno de ellos con el fin de que sean parte activa de este; las estrategias van enfocadas en la utilización de herramientas tecnológicas para diversos fines de acuerdo con los intereses y problemas de cada grupo, bien sea para generar un espacio de comercialización de productos locales como para adquirir estos productos desde otras regiones. Adicionalmente, se pretende promover una estrategia de reconocimiento de riqueza natural y cultural presente en el

municipio además de la creación de un convenio en el cual se suministre información valiosa referente a la producción y el comercio local por parte de los habitantes.

3.1.2 Árbol de problemas

De acuerdo con las características geográficas del municipio de San Eduardo, este se caracteriza por presentar un gran potencial agrícola y productivo (Mora, 2020); sin embargo, este municipio se ha caracterizado a su vez por ser poco reconocido en otras regiones generando así una escasa visibilización de su potencial comercial frente a otras regiones aledañas lo que produce una notoria disminución en la calidad de vida de los habitantes de esta región los cuales no cuentan con buenas oportunidades laborales que les permitan tener un ingreso considerable (García, 2021).

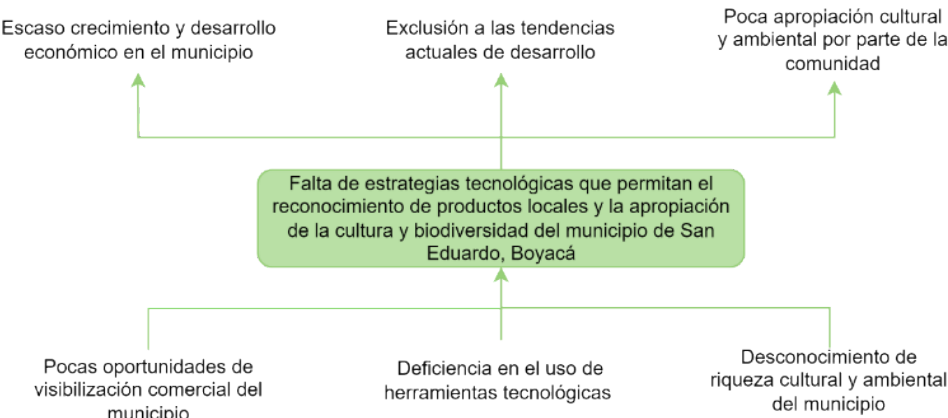
De igual manera, es importante mencionar que en el municipio se presenta una deficiencia en el uso de diversos tipos de herramientas tecnológicas que permitan dar a conocer a las demás regiones las fortalezas del mismo, las cuales están directamente relacionadas con la variedad de producción agrícola que incluye alimentos exóticos propios del lugar y el reconocimiento de sitios turísticos que permitan hacer del municipio un territorio competitivo en busca de su desarrollo en todas las dimensiones (Albarracín, 2018).

De manera análoga, cabe mencionar que en el municipio de San Eduardo existe un notorio desconocimiento del patrimonio de índole cultural y ambiental por parte de sus habitantes lo cual genera una escasa valoración del territorio, poca actitud crítica frente a problemáticas ambientales del municipio y, por ende, poca capacidad de comprender y defender la riqueza de índole ambiental y cultural del lugar (Rojas, 2021); cabe destacar que, esta problemática se evidencia en gran parte de la población sin excepción de edades, sexo u ocupaciones.

A partir de lo anterior, se identifica como problema central la falta de estrategias tecnológicas que permitan el reconocimiento de productos locales y la apropiación de la cultura y biodiversidad del municipio de San Eduardo, Boyacá; por ende, se pueden presentar diversos efectos dentro de los cuales se encuentra el escaso crecimiento y desarrollo económico del municipio que impiden que este sea un referente en cuanto a productividad agrícola y turística para otras regiones tanto de la misma Provincia como de regiones más lejanas.

Adicionalmente, es importante hacer hincapié en que, el municipio presenta cierta exclusión a las tendencias actuales de desarrollo de los territorios las cuales están enfocadas principalmente en el uso de herramientas tecnológicas que promuevan el desarrollo comercial y la expansión de los mercados locales en otras regiones, como se presenta en particular en un municipio de la misma provincia conocido como Zetaquirá, un destino turístico que se ha venido fortalecimiento con la implementación de dichas herramientas con las cuales se ha dado a conocer a las demás regiones, generando impactos positivos en su desarrollo y el bienestar de sus habitantes (Barón & Cote, 2018); de igual manera, se produce falta de apropiación tanto cultural como ambiental por parte de sus habitantes, generando así menores oportunidades del desarrollo y/o mejora en su calidad de vida en este municipio tal como se evidencia en la Figura 4.

Figura 4. Árbol de problemas.



Fuente: Autores.

3.1.3 Árbol de objetivos

De acuerdo con las causas y efectos de la problemática principal que engloba las pocas oportunidades de visibilización comercial del municipio y, por ende, su escaso crecimiento y desarrollo económico se tiene como fin la generación de mayor crecimiento económico en el municipio, teniendo en cuenta a su vez que, la deficiencia en el uso de herramientas tecnológicas se relaciona directamente con la exclusión a las tendencias actuales de desarrollo. Se pretende fomentar un desarrollo a nivel municipal de acuerdo con las tendencias del mercado en las se involucren estrategias para el reconocimiento del patrimonio cultural y ambiental del municipio; por ello, se hace necesario generar mayor apropiación cultural y ambiental por parte de la comunidad del municipio, tal como se evidencia en la Figura 5.

Figura 5. Árbol de objetivos.



Fuente: Autores.

3.1.3.1 Objetivo general

Formular un modelo de negocio desde la incorporación de tecnologías 4G que permita el reconocimiento de los productos locales y la apropiación de la cultura y la biodiversidad en el municipio de San Eduardo, Boyacá.

3.1.3.2 Objetivos específicos

- a. Caracterizar las condiciones del entorno a nivel político, económico, social, tecnológico, ecológico y legal (PESTEL) a fin de establecer oportunidades y amenazas para el desarrollo del negocio.
- b. Diseñar una herramienta tecnológica que se ajuste a las condiciones del municipio y aporte en el reconocimiento de los productos locales y la apropiación del patrimonio cultural y ambiental de la zona.
- c. Realizar un estudio de Prefactibilidad con la finalidad de establecer la viabilidad de la propuesta de negocio.

3.1.4 Análisis PESTEL

En el desarrollo del presente proyecto se realiza un análisis *PESTEL* como instrumento de planificación estratégica que permite caracterizar el contexto del proyecto a nivel político, económico, social, tecnológico, ecológico y legal.

En lo que respecta al componente político entorno a la realización del proyecto se tienen en cuenta en primer lugar aspectos relevantes del *Plan Nacional de Desarrollo 2023 – 2026* enfocados en la consolidación de diferentes capacidades que permitan fortalecer el desarrollo multisectorial del territorio a nivel nacional; adicionalmente, se destaca el fortalecimiento de políticas públicas sobre el desarrollo departamental teniendo en cuenta sectores empresariales, culturales y turísticos consolidados en el *Plan Departamental de Desarrollo 2020- 2023*. De igual forma, se tratan aspectos importantes relacionados con la gestión de proyectos públicos a desarrollar a nivel municipal que permitan disminuir el decrecimiento poblacional de la zona rural debido a la falta de oportunidades educativas y laborales mencionadas en el *Plan Municipal de Desarrollo 2020-2023*.

De la misma manera, se destaca el componente político en el contexto nacional, el cual refleja la importancia de incentivar la economía por medio de la vinculación de patrones ancestrales del territorio a fin de que se pueda impulsar el comercio local utilizando herramientas tecnológicas en cadenas de suministro para pequeños productores. Adicionalmente, a nivel de departamento se busca promover alianzas para dinamizar el sector agrícola por medio de la articulación de productores rurales, generando el desarrollo de proyectos que dinamicen la economía campesina. Paralelamente, en cuanto al municipio de San Eduardo se evalúan estrategias para el fortalecimiento de sectores productivos de la zona basados en la caña panelera y el café por medio del *Programa de Competitividad Estratégica Territorial – CET*.

Por su parte, el componente social menciona la generación de espacios de transformación social para el desarrollo territorial por medio del reconocimiento cultural, artístico y patrimonial del territorio en términos de valoración de riqueza ancestral y de biodiversidad por medio de la apropiación de capacidad en *Ciencia, Tecnología e Innovación– Ctel*, además de la generación de actividades de educación ambiental y la implementación de programas de reconstrucción histórica y cultural en cuanto al patrimonio material e inmaterial.

De acuerdo con el componente tecnológico, se establece una directa relación entre el uso de tecnologías digitales encaminadas a promover el comercio electrónico; de la misma manera se pretende generar avances en la obtención de información y educación tecnológica por medio de las *Tecnologías de la Información y las Comunicaciones – TIC*, beneficiando los programas de conectividad turística, productividad y acceso a mercados y apoyo a sectores productivos sociales y turísticos; de esta manera, cabe destacar que a nivel municipal existe deficiencia en cobertura o acceso a estas tecnologías generando la necesidad de crear espacios de divulgación de información sobre las herramientas que promueven la comercialización de productos locales.

Análogamente, el componente de tipo ecológico plantea el desarrollo de capacidades que estén enfocadas en el aprovechamiento de forma sostenible de la riqueza natural y cultural del territorio teniendo en cuenta el factor turístico que engloba las estrategias de conservación y preservación de la biodiversidad nativa; de la misma forma, en cuanto al departamento se busca realizar campañas basadas en promover la apropiación de la biodiversidad con el diseño de productos propios de las regiones que fortalezcan el reconocimiento de estas como potencias turísticas por medio de la participación eventos ecoturísticos en diferentes niveles. Además de ello, se realiza un enfoque basado en la promoción de propuestas agroturísticas a nivel municipal enfocadas en el desarrollo de

negocios verdes y el mejoramiento de información en cuanto al componente bioético del municipio.

Con la misma relevancia, se encuentra el componente legal, fundamental en la evaluación del entorno del proyecto; este menciona aspectos importantes relacionados con la normatividad vigente a nivel nacional, departamental y local en los cuales se destaca el correcto aprovechamiento de recursos naturales garantizando el desarrollo sostenible, mencionado a nivel de Constitución Política de Colombia. Así mismo, se efectúan medidas generales en torno a los procesos de desarrollo económico enfocados en la protección de la biodiversidad y el patrimonio por medio de la generación de actividades ecoturísticas que impacten de manera positiva los territorios y su ecosistema.

A nivel de departamento es importante mencionar los avances en cuanto a conservación del patrimonio cultural material e inmaterial, descritos en Resoluciones, Decretos y Leyes expedidas por los entes de la Gobernación de Boyacá así como la creación a nivel municipal del Consejo Consultivo de Turismo encargado de impulsar diversas actividades entorno a conservación, aprovechamiento y resguardo de recursos y atractivos del municipio además de la implementación del Plan Estratégico de Tecnologías de la Información como herramienta en la modernización de servicios tecnológicos locales que mejoren la interacción entre todos los actores municipales. De acuerdo con la caracterización de dichos componentes, en la Tabla 2 se presentan las oportunidades y amenazas que hacen parte del factor externo en la realización del proyecto.

Tabla 2. Identificación de oportunidades y amenazas.

Factores	Oportunidades	Amenazas
Políticos	Desarrollo de capacidades que permitan el progreso multisectorial del municipio de San Eduardo.	Poca participación en el fortalecimiento de políticas públicas entorno a la generación de nuevas oportunidades en el municipio.
Económicos	Apoyo al comercio local por medio electrónicos, creación de rutas artesanales en los territorios.	Falta de alianzas que dinamicen el sector agrícola del municipio en términos de comercialización.
Sociales	Fomento de desarrollo integral por medio del arte, la economía popular y el reconocimiento de patrimonio cultural de la región.	Poca participación de los actores municipales la apropiación del territorio.
Tecnológicos	Estrategias digitales enfocadas en la divulgación de productos locales y turísticos por medio de las tecnologías 4.0.	Dificultad de acceso en la utilización de las TICs en el municipio.
Ecológicos	Promoción de turismo con conciencia ambiental para identificar la biodiversidad nativa del territorio.	Desconocimiento de riqueza ambiental del municipio con pocas oportunidades de desarrollo a nivel de ecoturismo.
Legales	Desarrollo de estrategias ecoturísticas y agrícolas que beneficien a las comunidades aledañas a zonas de interés.	Deficiencia en el desarrollo de capacidades tecnológicas por parte de la comunidad. Desconocimiento del Patrimonio cultural material e inmaterial de la región.

Fuente: Autores.

3.1.5 Análisis de alternativas

De acuerdo con lo planteado anteriormente, se evidencia la necesidad de identificar y evaluar alternativas por medio de la realización de un análisis multicriterio, teniendo en cuenta seis aspectos relevantes con la finalidad de elegir la alternativa que más se ajuste a las condiciones en las que se realiza el proyecto. Para ello, se pondera cada uno de los criterios de 1 a 3, es decir, de que

menos beneficia la elección de cada estrategia, al que beneficia de manera considerable a la misma.

Con respecto a los criterios de selección utilizados, se encuentra en primer lugar el correspondiente a “impacto ambiental” debido a que, con la realización del proyecto se pueden generar impactos de forma positiva, entorno a la realización de buenas prácticas ambientales en la zona de estudio enfocadas en la producción y comercialización de productos locales propios de la región; de igual manera, el criterio de “presupuesto” está relacionado directamente con la cantidad de recursos necesarios para llevar a cabo la realización del proyecto, por ende, es de gran importancia para la determinación de la mejor estrategia con la cual se pueda dar cumplimiento al objetivo del proyecto. Además de ello, se tiene en cuenta un criterio de “impacto social” determinado por el beneficio otorgado a los grupos involucrados en torno al proyecto, lo cual permite obtener una mejor calidad de vida para los mismos.

Por otra parte, se presenta el criterio correspondiente a “sostenibilidad” resaltando la importancia de este en cuanto a garantizar el equilibrio entre componentes de crecimiento económico, conservación del medio ambiente y bienestar a nivel social; por ende, es un pilar fundamental en la determinación de la estrategia más adecuada para el proyecto. De la misma manera, se encuentra el criterio de “impacto turístico” debido a que este relaciona directamente el objetivo del proyecto y la visibilización que se pretende dar en la zona. Finalmente, se encuentra el criterio que relaciona “Costo/Beneficio” el cual está determinado por los impactos positivos que se puedan generar con la implementación del proyecto y el vínculo que tiene con el costo de realizarlo.

De la misma manera, se encuentran las tres estrategias elegidas para dar cumplimiento al objetivo del proyecto relacionado con la formulación de una estrategia tecnológica; estas difieren

en el tipo de herramienta, encontrando en primera instancia la utilización de una aplicación móvil, en segundo lugar, la creación de una *página web* y finalmente la creación de una red social. Por ende, se elige la estrategia de la página web como la más viable para dar cumplimiento con el objetivo del proyecto de modo que sea más accesible a todos los grupos involucrados en este.

3.1.6 Estructura analítica

En lo que respecta a la estructura analítica del proyecto, se tienen en cuenta aspectos importantes relacionados con los componentes del proyecto, es decir, los productos que resultan de cumplir con el propósito u objetivo general de este, así como las actividades a realizar, las cuales definen qué se hará para cumplir con cada una de las estrategias y aportar de manera significativa en los componentes del proyecto. De esta manera, se tienen en cuenta los tres componentes con cada una de las actividades necesarias para dar cumplimiento a estos.

De acuerdo con la información anterior se evidencia de manera clara cada una de las actividades que se encuentran dentro de los componentes, demostrando en primer lugar la caracterización del entorno a diferentes niveles que conforman un PESTEL así como las respectivas actividades para dar cumplimiento a dicho componente dentro de la cuales se destaca la búsqueda bibliográfica de artículos de investigación, la revisión de Planes de Desarrollo a nivel Nacional, Departamental y Municipal y, de igual manera, la identificación de oportunidades y amenazas para la realización del proyecto.

De manera análoga se encuentra el diseño de la herramienta tecnológica para dar a conocer los productos locales del municipio de San Eduardo y fomentar la apropiación del patrimonio en el mismo; por ende, dentro de las actividades a realizar para dar cumplimiento a este componente se encuentra la caracterización de grupos involucrados

teniendo en cuenta sus interés y problemas, la realización de inventario de los productos locales que se pueden incluir dentro de la herramienta tecnológica además de la búsqueda bibliográfica para el posterior diseño gráfico de dicha herramienta.

Finalmente, dentro del tercer componente correspondiente al estudio de prefactibilidad a fin de establecer la viabilidad de la propuesta de negocio, se presentan ciertas actividades relacionadas con los análisis de costos, la recolección de información sobre clientes y competidores, así como el análisis de pertinencia del proyecto y, finalmente, la determinación del punto de equilibrio de este.

3.1.7 Indicadores objetivamente verificables

Teniendo en cuenta los fines de la investigación, el propósito, los componentes y las actividades a realizar, se definen indicadores que responden a las preguntas: ¿Quién?, ¿Dónde?, ¿Cuánto?, ¿Cómo? y ¿Cuándo?, caracterizados por ser realizables, medibles, relevantes e independientes.

3.1.8 Medios de verificación

De la misma manera, se relacionan los medios de verificación para cada uno de los indicadores propuestos anteriormente en los cuales se tiene en cuenta la fuente de información, el medio de recopilación, el responsable de recolección de información, el método de análisis y la frecuencia de este.

3.1.9 Matriz de marco lógico

Finalmente, y para dar culminación a los pasos correspondientes a la metodología de Marco Lógico utilizada en el presente proyecto, se relacionan los supuestos, es decir, factores que garantizan el éxito del proyecto en cada nivel a evaluar con el fin de obtener la matriz de marco lógico.

3.1.10 Diseño de herramienta tecnológica

De acuerdo con los resultados de planificación del proyecto obtenido con la metodología de Marco Lógico, se realiza el diseño de la herramienta tecnológica para dar cumplimiento al segundo objetivo específico. Para ello, se establece el nombre de la *página web* “*El encanto de San Eduardo*” y se realiza el diseño de logo enfocado en ciertas características de este municipio como el Monumento al Arriero y la producción de café como se muestra en la Figura 6.

Figura 6. Logo “El encanto de San Eduardo”.



Fuente: Autores.

De igual forma se plantea el modelo de negocio CANVAS en el cual se plasman aspectos relevantes para el proyecto incluyendo el segmento de clientes, la propuesta de valor, los canales, la relación con clientes, el flujo de ingresos, los recursos clave, las actividades clave, los socios clave y la estructura de costos.

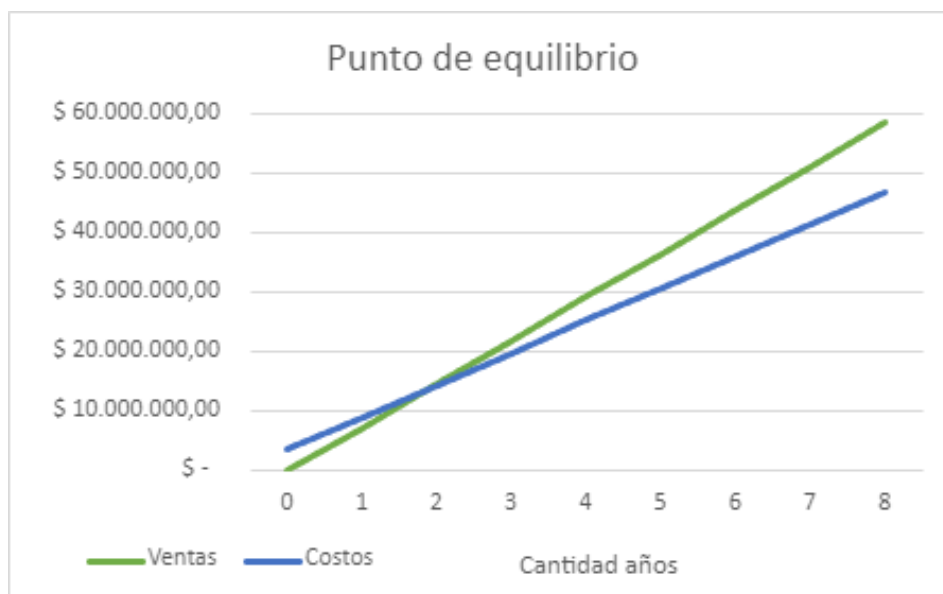
De acuerdo con lo anterior, a continuación, se presenta el enlace para acceder a la *página web* “*El encanto de San Eduardo*” y así

poder identificar las características y componentes más relevantes del municipio: *El encanto de San Eduardo*.

3.1.11 Estudio de mercado

Por su parte, el estudio de mercado se enfoca en evaluar aspectos como el entorno, el cual se identificó con el análisis *PESTEL*, así como la demanda, oferta, precios, comercialización y el plan de mercadeo que se tiene en cuenta en la ejecución de la propuesta de negocio. De manera general, se describen los productos y servicios de *El encanto de San Eduardo*, así como un análisis de competidores tanto internacionales como locales dentro de los que se encuentra *Booking.com*, *Tripadvisor*, *Situr* y *Sumercé*.

Por otra parte, se realiza un aproximado de las posibles ventas que puede tener la página web durante un año con el fin de identificar las unidades anuales a vender y el precio de venta que se establece en \$7.327.000,00 anual; de la misma manera, se identifican los costos fijos y variables existentes durante un año estableciendo estos en \$3.720.000 y \$5.400.000, respectivamente. De esta manera, se obtiene el punto de equilibrio de la propuesta de negocio el cual se evidencia a continuación figura 7:

Figura 7. Punto de equilibrio.

Fuente: Autores.

En este sentido, el punto de equilibrio es 1,93; es decir que, los costos fijos y variables van a ser cubiertos por las ventas aproximadamente en el segundo año de ejecución del proyecto y funcionamiento de la página web ya que para este año las ventas alcanzarán un valor de \$14.654.000 anual y los costos un valor de \$14.520.000. Seguidamente, la realización del proyecto comenzará a generar ganancias.

4. Discusión

De acuerdo con los resultados obtenidos previo a la utilización de la metodología de *Marco Lógico* como herramienta esencial en el diseño, planificación, ejecución y posterior evaluación del proyecto se confirma de manera exhaustiva, por medio de la búsqueda de información bibliográfica referente al municipio que, los factores

del entorno *PESTEL* favorecen la identificación de oportunidades y amenazas entorno al desarrollo del proyecto demostrando que el municipio requiere de más apoyo y gestión a nivel de reconocimiento y adquisición de sus productos para lo cual, es necesario involucrar a todos los grupos poblacionales del municipio en el reconocimiento de estrategias tecnológicas que permitan estar a la vanguardia con otras regiones aledañas que ya implementan tecnologías 4G para dar a conocer sus territorios.

De tal forma, los resultados obtenidos demuestran que la futura ejecución del proyecto podría generar impactos positivos a nivel económico, social y ambiental ya que, por medio de este, se potencia el mejoramiento de las condiciones de vida de los habitantes del municipio además de originar una mayor consciencia sobre el patrimonio de tipo cultural y ambiental que posee este municipio y así llevar a cabo estrategias de preservación y conservación de sus recursos.

5. Conclusiones

El desarrollo del proyecto utilizando herramientas como la metodología de *Marco Lógico* dio cumplimiento a los objetivos que se plantearon teniendo en cuenta las causas y consecuencias de los problemas derivados de la problemática principal referente a la inexistencia de una herramienta tecnológica para reconocer productos locales y apropiarse del patrimonio en el municipio de San Eduardo.

De esta manera, se realizó la caracterización de las condiciones del entorno a nivel político, económico, social, tecnológico, ecológico y legal (*PESTEL*) con la cual se establecieron oportunidades y amenazas para el desarrollo del negocio; con respecto a las oportunidades, estas se centran en potenciar el desarrollo de capacidades que permitan el progreso multisectorial del municipio, fomentando

el comercio local y el desarrollo integral con la utilización de tecnologías 4G. Por su parte, las amenazas reflejan la poca participación dinámica de los actores territoriales del municipio en el fortalecimiento y generación de ideas de negocio.

Así mismo, se dio cumplimiento al objetivo correspondiente al diseño de una herramienta tecnológica como la *página web “El encanto de San Eduardo”* ya que se ajusta a las condiciones del municipio contando con una interfaz sencilla y dinámica además que aporta en el reconocimiento de los productos locales y la apropiación del patrimonio cultural y ambiental de la zona permitiendo que los habitantes del municipio puedan hacer parte de esta incluyendo sus productos y servicios.

Finalmente, se logró realizar el estudio de *Prefactibilidad*, el cual se relaciona con el estudio de mercado donde se identificaron aspectos importantes como el sector a desarrollar, la oferta, la demanda, los competidores y los precios establecidos identificando el punto de equilibrio donde las ventas obtenidas cubren los costos fijos y variables y por ende, se establece que la propuesta de negocio es viable para continuar con un nivel de detalle de factibilidad.

6. Referencias

- Albarracín, M. (2018). Incidencia de la estructura y el potencial productivo ante el cambio demográfico en el municipio de San Eduardo, Boyacá. [Tesis de pregrado]. . Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia. Recuperado de: <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent>.
- Alcaldía de San Eduardo. (2023). Alcaldía de San Eduardo. Recuperado de: <http://www.saneducardo-boyaca.gov.co/>.
- Balcázar, A., Hernández, A., Leibovich, J., & Perfetti, J. (2013). Políticas para el desarrollo de la agricultura en Colombia. Recuperado de: (<https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/61/?sequence=1>).
- Barón, J., & Cote, S. (2018). Investigación en el ámbito turístico y gastronómico. Revista de Divulgación Científica, Tecnológica y Cultural. Recuperado de: https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/3125/Art_11_JBaron_S_Cote.pdf?sequence=1.
- Departamento Nacional de Planeación. (2023). Colombia, potencial mundial de la vida. Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026. Recuperado de: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/portalDNP/PND-2023/2023-02-23-bases-plan-nacional-de-desarrollo-web.pdf>.
- García, N. (2021). Fortalecimiento del proceso de comercialización de la fruta “Chamba” para la asociación de productores de fruta de Lengupá “Asofrulen” en San Eduardo, Boyacá. [Tesis de pregrado]. Corporación Universitaria Minuto de Dios, Bogotá, Colombia. Recuperado de: https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/13090/1/T.A_Cuc aJuan-GarciaNohora_2021.

- Gaviria, A. (2021). Los retos de la agricultura colombiana frente al cambio climático. Centro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para América Latina. Recuperado de: <https://cods.uniandes.edu.co/los-retos-de-la-agricultura-colombiana-frente-al-cambio-climatico/#>.
- Gobernación de Boyacá. (2020). Pacto Social por Boyacá: Tierra que sigue avanzando. Plan de Desarrollo 2020- 2023. Recuperado de: <https://www.boyaca.gov.co/wp-content/uploads/2020/06/pdd2020-2023boy.pdf>.
- Hernández Sampieri, R. (2014). Metodología de la Investigación 6a ed. Mcgraw-Hill/Interamericana Editores, S.a.De C.v. Recuperado de: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>.
- Mora, M. (2020). Acuerdo 010, Plan de Desarrollo Experiencia y cambio para volver al Progreso 2020 – 2023. Municipio de San Eduardo Boyacá, Colombia. Recuperado de: https://saneduardoboyaca.micolombiadigital.gov.co/sites/saneduardoboyaca/content/files/000226/11275_acuerdo-010-de-mayo-31-de-2020.pdf.
- Rojas, Y. (2021). La riqueza ambiental del municipio de San Eduardo, Boyacá. Una experiencia escolar para la apropiación del territorio en los estudiantes de la Institución Educativa Técnica Antonio Nariño. [Tesis de maestría]. . Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Recuperado de: <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/8945>.
- Sistema de Información Turística de Boyacá. (2021). Municipio de San Eduardo. Recuperado de: <https://situr.boyaca.gov.co/municipio-saneduardo/>.

Capítulo 9

Idea de negocio desde la generación de combustible de uso doméstico para la sostenibilidad rural del occidente de Boyacá.

Nicolle Rueda Porras¹
Alejandra Castro Ortegón²
Lina Patricia Vega³

¹ Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

² Facultad de Ingeniería Ambiental, GICAN, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

³ Facultad de Ingeniería Ambiental, GICAN, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

Resumen

En este trabajo se formuló un modelo de negocio para generar combustible de uso doméstico en el occidente de Boyacá, con el objetivo de contribuir a la sostenibilidad de las zonas rurales. Mediante la Caracterización del entorno a nivel *PESTEL* a fin de establecer oportunidades y amenazas para el desarrollo del proyecto, diseñando briquetas a partir de desechos maderables que aportan a la diversificación de las ofertas de bienes producidos en la zona rurales, realizando un estudio de Prefactibilidad a fin de establecer la viabilidad del modelo de negocio. Se identificaron recursos renovables disponibles como residuos maderables, para la producción de briquetas ecológicas. Se observó una demanda significativa de energía en las comunidades rurales, lo que indica un mercado potencial. Este modelo promueve el uso de recursos locales, evitando la deforestación, y mejora la calidad de vida de la población rural. La implementación de este modelo tendría impactos positivos en la sostenibilidad, el desarrollo económico y social de la región, y en la reducción de emisiones contaminantes. Generaría empleo y estimularía actividades relacionadas con la producción y distribución del combustible.

Palabras clave: Briquetas Ecológicas, Sostenibilidad, Deforestación, Negocio verde.

Abstract

In this work, a business model was formulated to generate fuel for domestic use in western Boyacá, with the aim of contributing to the sustainability of rural areas. Through the Characterization of the environment at the *PESTEL* level in order to establish opportunities and threats for the development of the project. Design briquettes from wood waste that contribute to the diversification of the supply of goods produced in rural areas and carry out a pre-feasibility study in order to establish the viability of the business model. Available renewable resources were

identified, such as biomass and wood residues, for the production of ecological briquettes. Significant energy demand was observed in rural communities, indicating a potential market. This model promotes the use of local resources, avoiding deforestation, and improves the quality of life of the rural population. The implementation of this model would have positive impacts on energy sustainability, the economic and social development of the region, and the reduction of polluting emissions. It would generate employment and stimulate activities related to the production and distribution of fuel.

Keywords: Ecological Briquettes, Sustainability, Deforestation, Green business.

1. Introducción

En las zonas rurales del occidente de Boyacá, se enfrentan diversos desafíos relacionados con la sostenibilidad y el acceso a fuentes de energía adecuadas. Uno de los problemas más destacados es la escasez de combustible de uso doméstico, lo que afecta la calidad de vida de las comunidades rurales y contribuye a la deforestación debido a la dependencia de la leña como principal fuente de energía (Barreto, 2023).

En el ámbito de los combustibles de uso doméstico han demostrado que es posible encontrar alternativas más sostenibles y amigables con el medio ambiente (Sainea, Ortegón, & Acosta Castellanos, 2022). La generación de briquetas ecológicas se ha presentado como una solución prometedora para abordar este problema. Las briquetas son bloques compactos de biomasa comprimida que se utilizan como combustible en estufas y chimeneas (Barreto, 2023).

El desarrollo de briquetas ecológicas implica la utilización de residuos agrícolas y forestales como materia prima, lo que reduce la dependencia de la leña y disminuye la presión sobre los recursos naturales. Además, estas briquetas tienen un menor impacto ambiental en comparación con los combustibles fósiles y la leña, ya que generan menos emisiones de gases de efecto invernadero y contribuyen a la reducción de la deforestación.

El problema para resolver es la falta de acceso a combustible de uso doméstico adecuado en las zonas rurales del occidente de Boyacá, lo que afecta la calidad de vida de las comunidades y contribuye a la deforestación. Para abordar este problema, se propone formular un modelo de negocio basado en la generación de briquetas ecológicas (Monroy Sierra, 2023).

El objetivo de este artículo es diseñar un modelo de negocio que permita la generación de briquetas ecológicas en las zonas rurales del occidente de Boyacá, con el fin de aportar a la sostenibilidad de estas comunidades. El modelo de negocio buscará establecer una cadena de producción y distribución eficiente, que permita la fabricación y comercialización de briquetas a precios accesibles para la población rural.

El entorno técnico de partida se basa en la disponibilidad de residuos agrícolas y forestales en las zonas rurales del occidente de Boyacá. Estos residuos se utilizarán como materia prima para la fabricación de las briquetas ecológicas. Además, se requerirá la implementación de maquinaria y equipos adecuados para el proceso de producción, así como el desarrollo de técnicas de compactación y almacenamiento eficientes (Monroy Sierra, 2023).

2. Metodología

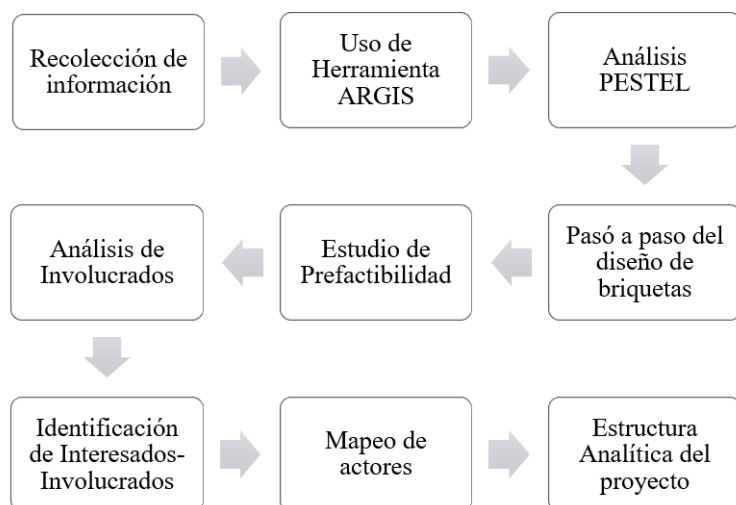
El presente proyecto aplica una investigación cualitativa tipo descriptiva analítica. Descriptiva, ya que se recopiló información sobre el Occidente de Boyacá.

Para esto principalmente, resulta fundamental analizar las características del entorno con el que cuenta la región, por medio de revisión bibliográfica relacionada con la descripción lugar, Mapa de ubicación, se llevó a cabo una revisión exhaustiva de la literatura académica, científica y técnica relacionada con la generación de combustible de uso doméstico, sostenibilidad en zonas rurales y modelos de negocio similares. Se consultaron bases de datos, revistas especializadas y documentos técnicos para obtener información actualizada y relevante para la fabricación de las briquetas ecológicas.

Además, se realizó una búsqueda en línea de informes y estudios de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, así como de agencias internacionales, que abordan temas relacionados con la generación de combustible de uso doméstico y la sostenibilidad en zonas rurales. Se analizaron informes técnicos, políticas y programas implementados en otras regiones o países que podrían proporcionar aprendizajes y buenas prácticas aplicables al contexto del occidente de Boyacá. Se exploraron recursos en línea, como sitios web especializados, blogs y plataformas de conocimiento, para obtener información adicional sobre tecnologías de generación de combustible, aspectos económicos y financieros, impactos ambientales y casos de éxito en la implementación de modelos de negocio similares.

La información recopilada a través de estas fuentes fue analizada y sintetizada para identificar patrones, tendencias y lecciones aprendidas relevantes para la formulación del modelo de negocio. Se utilizaron herramientas de análisis y categorización para organizar y sistematizar la información de manera comprensible y coherente.

Figura 1. Metodología.



Fuente: Autores.

Tabla 1. Fuentes de información

Tipo de Fuente	Descripción
Literatura académica	Artículos científicos y estudios especializados
Informes técnicos	Informes de organismos gubernamentales y ONGs
Políticas y programas	Documentos de políticas y programas relevantes
Recursos en línea	Sitios web, blogs y plataformas especializadas

Fuente: Autores.

Tabla 2. Análisis de la información

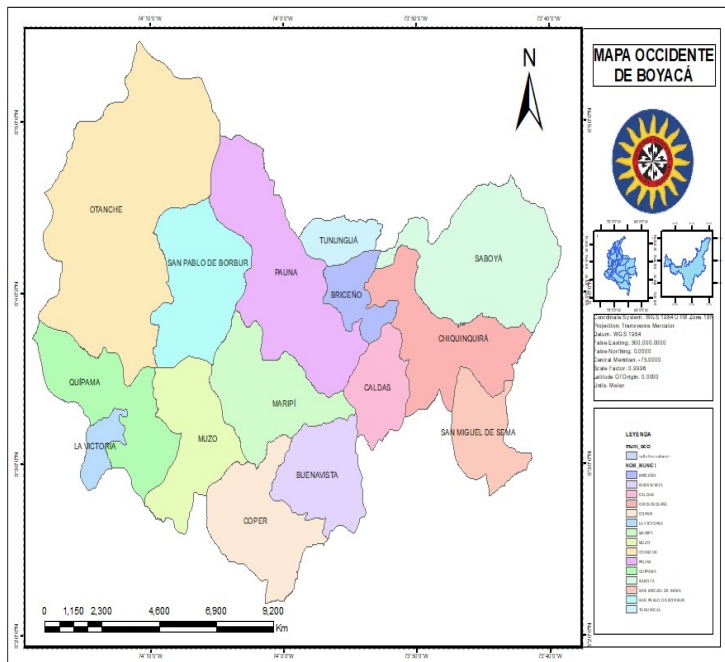
Tema	Patrones identificados
Recursos	Disponibilidad de biomasa y residuos maderables
Demanda	Alta demanda de energía en comunidades rurales
Aspectos legales	Marco legal y regulaciones relacionadas con la generación de combustible
Impacto ambiental	Reducción de emisiones contaminantes y promoción de la sostenibilidad
Casos exitosos	Ejemplos de modelos de negocio similares implementados en otras regiones

Fuente: Autores.

3. Resultados

3.1 Mapa del Occidente de Boyacá

Figura 2. Mapa del Occidente de Boyacá.



Fuente: Autores.

El mapa del occidente de Boyacá realizado en *ArcGIS* proporciona una representación visual de la región, mostrando su geografía. El occidente de Boyacá es una región ubicada en el departamento de Boyacá, en el centro de Colombia. Esta zona se caracteriza por su paisaje montañoso y su abundante vegetación, siendo parte de la cordillera Oriental de los Andes. Esta provincia abarca una extensión de 4.427 km² y tiene como capital a Chiquinquirá. Está compuesta por 15 municipios, siendo Alto Chiquinquirá, Caldas, Saboya y San Miguel de Sema los municipios de mayor altitud, y Buenavista,

Coper, La Victoria, Mariپی, Muzo, Otanche, Pauna, Quípama, San Pablo de Borbur y Tunungua los municipios de menor altitud. La provincia de Occidente se encuentra en la región de Occidente, una de las cuatro regiones naturales del departamento de Boyacá (CAR, 2023).

3.2 Análisis *PESTEL* de Colombia

3.2.1 Análisis Político

En el ámbito político de Colombia, se destaca un sistema democrático con una estructura de gobierno presidencialista. El país ha enfrentado desafíos relacionados con la corrupción, la violencia y la polarización política. Sin embargo, en los últimos años se han realizado avances significativos en la consolidación de la paz y la promoción de la participación ciudadana (Montenegro, 1992).

3.2.2 Análisis Económico

Desde el punto de vista económico, Colombia ha experimentado un crecimiento sostenido en las últimas décadas. El país se caracteriza por ser una economía diversificada, con sectores clave como la agricultura, la minería, el petróleo, la manufactura y los servicios. Aunque se han logrado avances en reducir la pobreza y aumentar la inversión extranjera, aún existen desafíos en términos de desigualdad, informalidad laboral y falta de inclusión económica (Melo, Ramos, & Hernández, 2023).

3.2.3 Análisis Social

En el aspecto social, Colombia es una nación multicultural y diversa, pero también enfrenta desafíos relacionados con la desigualdad, la exclusión social y la violencia. La sociedad colombiana ha trabajado en la construcción de una cultura de paz, la

protección de los derechos humanos y la promoción de la igualdad de género. Sin embargo, persisten problemas como la falta de acceso a servicios básicos, la discriminación y la violencia contra grupos vulnerables (Melo, Ramos, & Hernández, 2023).

3.2.4 Análisis Tecnológico

En el ámbito tecnológico, Colombia ha experimentado un crecimiento significativo en el acceso a las tecnologías de la información y comunicación. El país ha promovido iniciativas para fomentar la innovación, el emprendimiento y el desarrollo de capacidades tecnológicas (Asunto:legales, 2023).

3.2.5 Análisis Ecológico

En cuanto al aspecto ecológico, Colombia cuenta con una gran biodiversidad y recursos naturales, pero también enfrenta desafíos relacionados con la deforestación, la contaminación ambiental y el cambio climático. El país ha implementado políticas de conservación y sostenibilidad, pero se requieren mayores esfuerzos para proteger y preservar el medio ambiente (Parra, 2006).

3.2.6 Análisis Legal

En términos legales, Colombia cuenta con una Constitución que establece un marco jurídico para la protección de los derechos y las libertades fundamentales. Sin embargo, el país enfrenta desafíos en cuanto a la implementación efectiva de la ley, la lucha contra la impunidad y la garantía de acceso a la justicia para todos los ciudadanos. Se han realizado esfuerzos para fortalecer el sistema de justicia y combatir la corrupción, pero aún existen obstáculos que deben superarse (Parra, 2006).

3.3 Análisis *PESTEL* del Occidente de Boyacá

3.3.1 Análisis Político

A nivel político, el Occidente de Boyacá se encuentra bajo la administración de diferentes municipios que conforman la región. Cada municipio cuenta con su propio gobierno local, representado por alcaldes y concejales electos. La participación ciudadana en el proceso político es fundamental para el desarrollo y la toma de decisiones en la región. Sin embargo, es importante abordar desafíos como la corrupción y la falta de transparencia en la gestión pública para fortalecer el sistema político y garantizar la confianza de la ciudadanía en sus representantes (Montenegro, 1992).

3.3.2 Análisis Económico

El sector socioeconómico del Occidente de Boyacá se basa principalmente en la agricultura, la ganadería y la minería. La región es conocida por su producción de cultivos como la papa, la cebolla, la zanahoria, el tomate, el café y los frutales. También se produce leche, carne y otros productos ganaderos.

La minería es una actividad económica importante en la región, especialmente en la explotación de minerales como el carbón y la caliza. Estas actividades generan empleo y contribuyen al desarrollo económico de la región, aunque también tienen impactos negativos en el medio ambiente y la salud de las comunidades locales.

Además, el turismo es una actividad en crecimiento en el Occidente de Boyacá, gracias a su riqueza natural, cultural e histórica. La región cuenta con varios atractivos turísticos, como el Parque Nacional Natural Serranía de las Quinchas, entre otros (Bernal, 2015).

3.3.3 Análisis Social

La región se destaca por su diversidad cultural y multiculturalidad. Las tradiciones arraigadas y las comunidades indígenas presentes en el Occidente de Boyacá son parte integral de su identidad social. Sin embargo, esta diversidad también puede dar lugar a desafíos relacionados con la discriminación y la exclusión de algunos grupos étnicos y sociales (Bernal, 2015).

Uno de los desafíos sociales más importantes en el Occidente de Boyacá es la desigualdad. A pesar de los avances en materia de desarrollo y bienestar, persisten brechas socioeconómicas significativas entre diferentes sectores de la población. La falta de acceso a servicios básicos como salud, educación y vivienda, especialmente en áreas rurales, es un problema que afecta a muchas comunidades (Bernal, 2015).

Además, la migración interna hacia áreas urbanas en busca de oportunidades económicas es una realidad en el Occidente de Boyacá. Muchos jóvenes se ven obligados a dejar sus comunidades de origen en busca de empleo y mejores condiciones de vida. Esta migración puede generar cambios demográficos y desafíos sociales, como la pérdida de tradiciones culturales y el desarraigo de las personas de sus lugares de origen (Bernal, 2015).

Es fundamental abordar estos desafíos sociales en el Occidente de Boyacá mediante políticas y programas que promuevan la equidad, la inclusión y el desarrollo sostenible. Esto implica la implementación de estrategias que garanticen el acceso universal a servicios básicos, la protección de los derechos humanos, la promoción de la participación ciudadana y la valoración y preservación de la diversidad cultural de la región. Asimismo, es necesario fortalecer la inversión en infraestructura social y económica, así como fomentar el desarrollo de programas de capacitación y emprendimiento que generen empleo y oportunidades para la población local (Bernal, 2015).

3.3.4 Análisis Tecnológico

El sector tecnológico del Occidente de Boyacá se encuentra en una fase de crecimiento y desarrollo, con un número cada vez mayor de empresas e iniciativas enfocadas en la innovación y el uso de tecnología para mejorar la calidad de vida de la población. En la región se pueden encontrar varias instituciones educativas y centros de investigación que están trabajando en proyectos de investigación y desarrollo en áreas como la tecnología de la información, la energía renovable, la agricultura de precisión, entre otros.

Además, se han desarrollado iniciativas y programas para fomentar la formación y la capacitación en habilidades tecnológicas y digitales, con el objetivo de mejorar la empleabilidad y la competitividad de los habitantes de la región (Camacho, 2000).

3.3.5 Análisis Ecológico

A nivel ecológico, el Occidente de Boyacá es una región que alberga una rica biodiversidad y cuenta con valiosos recursos naturales. La región está compuesta por extensas áreas de bosques, páramos, ríos y lagunas, que desempeñan un papel fundamental en la regulación del clima, la conservación de la flora y fauna, y la provisión de servicios ambientales.

Sin embargo, el Occidente de Boyacá también enfrenta desafíos ambientales significativos. La deforestación, principalmente impulsada por la expansión de la agricultura y la ganadería, representa una amenaza para los ecosistemas naturales y la biodiversidad de la región. La pérdida de cobertura forestal tiene impactos negativos en la calidad del suelo, la retención de agua y la mitigación del cambio climático.

Además, la contaminación del agua y el suelo debido a la minería y otras actividades industriales también plantean riesgos

para el entorno ecológico del Occidente de Boyacá. La explotación irresponsable de recursos naturales puede causar la degradación de los ecosistemas acuáticos y terrestres, así como la pérdida de hábitats para las especies nativas.

Es fundamental implementar medidas de conservación y gestión sostenible de los recursos naturales en el Occidente de Boyacá. Esto implica promover prácticas agrícolas sostenibles, impulsar la reforestación y restauración de áreas degradadas, fortalecer la protección de los ecosistemas frágiles como los páramos, y fomentar la educación ambiental y la conciencia sobre la importancia de la conservación.

Asimismo, es necesario fortalecer la legislación ambiental y su aplicación, así como fomentar la participación de la comunidad en la toma de decisiones relacionadas con el uso y manejo de los recursos naturales. La creación de áreas protegidas y la promoción del ecoturismo pueden contribuir a la conservación de la biodiversidad y a la generación de beneficios económicos para las comunidades locales.

3.3.6 Análisis Legal

En el Occidente de Boyacá, al igual que en el resto de Colombia, existen leyes y regulaciones que abarcan diversos aspectos, como el derecho laboral, el derecho de propiedad, el derecho ambiental, el derecho comercial y otros aspectos legales relevantes para el desarrollo y el bienestar de la comunidad.

La legislación en materia ambiental es particularmente relevante en el Occidente de Boyacá, debido a su riqueza natural y ecosistemas sensibles. Las leyes ambientales buscan proteger y preservar los recursos naturales, regular la explotación de los recursos naturales, y fomentar prácticas sostenibles que minimicen el impacto ambiental (Pinzón, 2015).

Asimismo, las normativas en el ámbito laboral y de seguridad social garantizan los derechos de los trabajadores y establecen obligaciones y responsabilidades para los empleadores. Estas leyes buscan promover condiciones laborales justas, garantizar la seguridad y de seguridad social garantizan los derechos de los trabajadores y establecen obligaciones y responsabilidades para los empleadores. Estas leyes buscan promover condiciones laborales justas, garantizar la seguridad y salud ocupacional, y regular el sistema de seguridad social (Pinzón, 2015).

3.4 Diseño de Briquetas Ecológicas

3.4.1 Selección de los residuos maderables

Se deben seleccionar los residuos maderables que se utilizarán en la fabricación de las briquetas. Estos pueden incluir aserrín, virutas de madera, ramas y otros materiales de desecho.

3.4.2 Preparación de la materia prima

Los residuos maderables deben ser triturados y secados para obtener un material uniforme y de tamaño adecuado para la fabricación de briquetas. El secado puede ser realizado mediante la exposición al sol o utilizando un horno de secado.

3.4.3 Mezclado de los residuos maderables

Una vez que los residuos maderables están secos y triturados, se mezclan para obtener una mezcla homogénea. Es importante asegurarse de que la proporción de cada material utilizado en la mezcla sea adecuada para obtener una briqueta de alta calidad.

3.4.4 Agregado de aditivos

En algunos casos, se pueden agregar aditivos a la mezcla para mejorar la calidad de la briqueta. Los aditivos pueden incluir agentes

aglutinantes como almidón, lignina o melaza, que ayudan a unir la mezcla de residuos maderables y a mejorar su combustibilidad.

3.4.5 Fabricación de las briquetas

La mezcla de residuos maderables se coloca en una máquina que compacta y moldea la mezcla en forma de briquetas. Las briquetas se pueden fabricar en diferentes tamaños y formas, dependiendo de las necesidades de los usuarios finales.

3.4.6 Secado y almacenamiento

Las briquetas deben secarse durante un período de tiempo antes de ser utilizadas. Una vez secas, se pueden almacenar en un lugar seco y seguro para su uso posterior.

3.4.7 Pruebas de calidad

Antes de su uso, las briquetas deben ser sometidas a pruebas de calidad para asegurarse de que cumplen con los estándares requeridos. Las pruebas pueden incluir la medición de la densidad, la resistencia a la compresión y la capacidad de combustión.

3.5 Empaquetado y comercialización

La producción de briquetas ecológicas a partir de residuos maderables en las zonas rurales del Occidente de Boyacá puede contribuir a la diversificación de la oferta de bienes producidos en la región de varias maneras:

3.5.1 Generación de nuevos productos y oportunidades de mercado

La producción de briquetas ecológicas puede generar un nuevo producto que puede ser vendido en diferentes mercados, lo que puede abrir nuevas oportunidades de negocio para los productores rurales de la región. Además, este producto puede tener un valor

agregado como alternativa más ecológica y sostenible a otras fuentes de energía.

3.5.2 Utilización de residuos maderables

La producción de briquetas ecológicas a partir de residuos maderables permite utilizar un recurso que de otra manera sería desperdiciado. Esto puede ayudar a reducir la cantidad de residuos que terminan en vertederos y contribuir a la preservación del medio ambiente.

3.5.3 Fomento del desarrollo rural

La producción de briquetas ecológicas puede fomentar el desarrollo rural al generar empleo y oportunidades de negocio en las zonas rurales de la región. Además, puede ayudar a diversificar las actividades económicas en estas áreas y aumentar la resiliencia de las comunidades rurales ante posibles crisis económicas.

3.5.4 Contribución a la mitigación del cambio climático

La producción de briquetas ecológicas a partir de residuos maderables puede contribuir a la mitigación del cambio climático al reducir la emisión de gases de efecto invernadero asociados con la quema de combustibles fósiles.

3.6 Estudio de Prefactibilidad

La realización de un estudio de prefactibilidad para establecer la viabilidad de la producción de briquetas ecológicas en el Occidente de Boyacá es una tarea que requiere la evaluación de varios factores clave, incluyendo la identificación de la materia prima, el análisis de la demanda del mercado, la determinación de los costos de producción, la evaluación de la viabilidad financiera, la identificación de los riesgos y oportunidades y la elaboración del informe final con las recomendaciones.

3.6.1 Identificación de la materia prima

La primera etapa en el proceso de producción de briquetas es identificar la materia prima disponible. En el caso de la producción de briquetas ecológicas, se utilizarían residuos maderables. Se deberá identificar el volumen de residuos maderables disponible en la región del Occidente de Boyacá y su costo de adquisición.

3.6.2 Análisis de la demanda

La siguiente etapa es analizar la demanda del mercado para determinar la viabilidad de la producción de briquetas ecológicas en la región. Se debe realizar un estudio de mercado para evaluar la demanda potencial de briquetas ecológicas en la región, y su capacidad de compra (Bernal, 2015).

3.6.3 Necesidad de combustible

En el Occidente de Boyacá, existe una demanda significativa de combustible para cubrir las necesidades energéticas de las comunidades rurales. Muchos hogares y actividades productivas dependen del uso de combustibles para cocinar, calentar y llevar a cabo sus labores diarias. Sin embargo, es importante destacar que existe una preocupación creciente por el impacto ambiental y la sostenibilidad de los combustibles tradicionales utilizados, lo que ha generado un interés en fuentes de energía más limpias y amigables con el medio ambiente, como las briquetas ecológicas.

3.6.4 Potencial de mercado

El Occidente de Boyacá cuenta con una población considerable y una amplia presencia de comunidades rurales. Esta población representa un mercado potencial para las briquetas ecológicas, ya que pueden satisfacer la demanda de combustible de manera más sostenible. Además, la conciencia ambiental y el interés en prácticas más ecológicas están en aumento, lo que crea oportunidades para

promover y comercializar las briquetas ecológicas en la región (Bernal, 2015).

3.6.5 Segmentación de mercado

Es importante identificar los diferentes segmentos de consumidores en el Occidente de Boyacá y comprender sus necesidades y preferencias específicas. Por ejemplo, se pueden identificar segmentos como hogares rurales, pequeñas empresas agrícolas y productores locales. Cada segmento puede tener características distintas en términos de patrones de consumo, capacidad de compra y sensibilidad ambiental. Segmentar el mercado permitirá adaptar las estrategias de marketing y promoción de las briquetas ecológicas a las necesidades específicas de cada grupo.

3.6.6 Educación y concientización

Es importante destacar que el éxito de la demanda de briquetas ecológicas en el Occidente de Boyacá también dependerá de la educación y concientización de los consumidores. Se requerirá una labor de comunicación y difusión para informar a la población sobre los beneficios ambientales, económicos y sociales de utilizar briquetas ecológicas en lugar de combustibles tradicionales como la leña. Además, se pueden desarrollar programas de capacitación y demostración para mostrar cómo utilizar y aprovechar al máximo las briquetas ecológicas (Bernal, 2015).

3.6.7 Análisis de la competencia

Se debe analizar la competencia existente en el mercado de briquetas ecológicas en la región para evaluar la capacidad de la empresa de competir en el mercado. Competidores directos: Es importante identificar a los competidores directos que ofrecen productos similares o que podrían ser considerados como alternativas a las briquetas ecológicas. Estos son proveedores de combustibles tradicionales como leña, carbón o pipetas de gas.

3.6.8 Determinación de los costos de producción

Se debe estimar el costo total de la producción de briquetas ecológicas, incluyendo el costo de la materia prima, los costos de producción, los costos de transporte y los costos de comercialización. Se deben evaluar las posibles fuentes de financiamiento para la inversión en el negocio y establecer los flujos de ingresos y egresos.

3.6.9 Evaluación de la viabilidad financiera

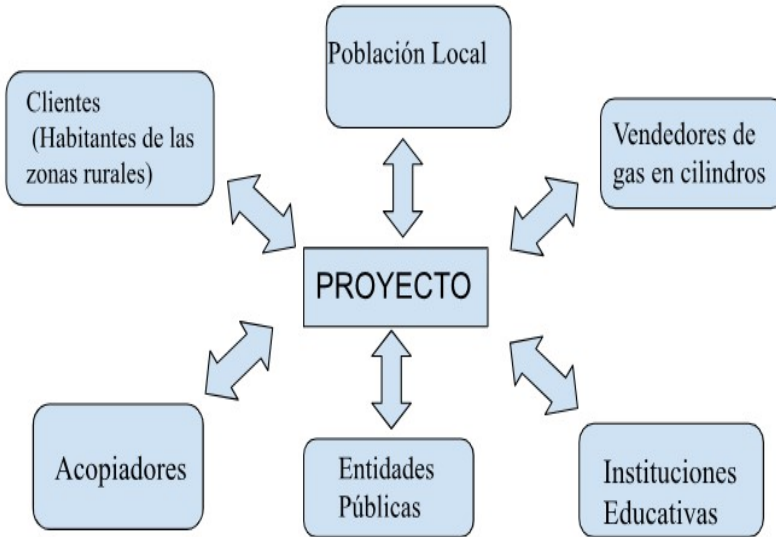
Se deben evaluar los flujos de caja proyectados y realizar un análisis financiero para determinar la viabilidad del negocio. Esto implica la evaluación de los costos de inversión y los ingresos esperados.

3.6.10 Identificación de los riesgos y oportunidades

Se deben identificar los riesgos y oportunidades del negocio, y desarrollar un plan de contingencia para mitigar los riesgos.

3.6.11 Análisis de Interesados - Involucrados

Con el fin de determinar de manera concreta quienes son los involucrados en la propuesta de formular un modelo de negocio, se encuentran priorizados principalmente la población local, teniendo un papel social promoviendo “actividades económicas y el trabajo, para contribuir a la eliminación de las barreras que generan la pobreza e impulsar el desarrollo económico, a partir de la generación de combustible de uso doméstico a fin de aportar en la sostenibilidad de las zonas rurales del occidente de Boyacá”.

Figura 3. Identificación de Interesados - Involucrados

Fuente: Autores.

En el Occidente de Boyacá, la identificación de los interesados e involucrados en el suministro de briquetas ecológicas es crucial para su adopción y éxito en la región. Los habitantes locales son los principales destinatarios de estas briquetas, y su satisfacción y aceptación son fundamentales para lograr un impacto ambiental positivo. Los vendedores y productores de briquetas desempeñan un papel importante en la cadena de suministro, asegurando la calidad y disponibilidad adecuada de las briquetas. Las entidades públicas promueven y regulan estas alternativas sostenibles, mientras que las instituciones educativas y ambientales generan conciencia y capacitación sobre los beneficios de las briquetas ecológicas. La colaboración entre estos actores es esencial para impulsar su adopción y contribuir a la sostenibilidad en el Occidente de Boyacá.

Tal como se muestra en la Figura 1, el análisis de *Interesados - Involucrados* se compone de seis involucrados los cuales podrán

realizar una participación directa o indirecta en la realización del proyecto. En la siguiente tabla se identificará la posición (cooperante y/o beneficiario) de cada uno de los involucrados y cómo estos podrían contribuir en el desarrollo del proyecto.

Tabla 3. Clasificación de los interesados e involucrados.

Grupos	Intereses	Problemas percibidos	Mandatos y recursos
Población Local	• Aprovechar desechos maderables	• Población indiferente al problema	• Botadero de desechos maderables
Clientes (habitantes de las zonas rurales)	• Un producto económico • Contar con nuevas opciones de compra de las briquetas ecológicas	• Enfermedades en el sistema respiratorio como bronquitis debido al humo de leña • Desinformación de los beneficios del producto • Desinformación de las enfermedades causadas	• Técnica y financiera • Capacidad de compra
Vendedores de gas en cilindros	• Que no se vendan las briquetas ecológicas • Que no cumpla con los requerimientos necesarios para ser un combustible apto-Nuevo competidor en su empresa	• Nuevo competidor en su empresa	
Acopiadores	• Ganar dinero • Buscar oportunidades de negocio para incrementar el producto	• Falta de herramientas y recursos	• Ganancia y rentabilidad

Grupos	Intereses	Problemas percibidos	Mandatos y recursos
Instituciones Educativas	• Educación ambiental • Reciclar papel de cuadernos • A final de cada año hacer una recolección de cuadernos y libros que no utiliza	• Desinterés por la participación de parte de las instituciones educativas-	• Disponibilidad de capacitar los alumnos
Entidades Públicas	• Desarrollo regional • Mejorar los indicadores sociales • Disminuir la contaminación	• Desinterés por la participación de parte de las entidades públicas	

Fuente: Autores.

Estos grupos tienen intereses específicos, perciben problemas relacionados con el suministro de combustible, tienen mandatos específicos y disponen de recursos únicos. Comprender estas dinámicas puede ayudar a abordar los desafíos y encontrar soluciones equitativas y sostenibles en el suministro de combustible en el Occidente de Boyacá.

3.7 Generación de estrategias con los involucrados

Tabla 4. Estrategias con los involucrados.

Grupos	Estrategias
Población Local	• Socializar los beneficios sociales y ambientales en la formulación de este proyecto.
Clientes (habitantes de las zonas rurales)	• Generar comunicaciones enunciado nuevos servicios. • Mayor atención a los intereses y necesidades de los clientes.

Grupos		Estrategias
Acopiadores		• Analizar los beneficios económicos de la diversificación de la oferta de bienes y servicios desde la producción de briquetas ecológicas. • Mayor organización y compromiso con la continuidad del proyecto.
Instituciones Educativas		• Orientar el uso de los residuos (cuadernos / libros / lápices). • Realizar reuniones con los directivos para la recolección de estos residuos.
Entidades Públicas		• Realizar cursos para el proceso de fabricación de briquetas ecológicas.

Fuente: Autores.

Los diferentes grupos involucrados en el proyecto de fabricación de briquetas ecológicas en el Occidente de Boyacá han desarrollado estrategias específicas para promover su adopción y asegurar su éxito. Estas estrategias van desde la socialización de beneficios, atención a las necesidades del cliente, análisis económico, educación y capacitación, hasta la orientación del uso de residuos y promoción de la participación comunitaria.

3.8 Mapeo de actores

Figura 4. Identificación de Interesados – Involucrados.



Fuente: Autores.

El mapeo de actores identifica a los habitantes de las zonas rurales como los principales beneficiarios, mientras que los vendedores y acopiadores, instituciones educativas y entidades públicas desempeñan roles importantes en la implementación y éxito del proyecto de fabricación de briquetas ecológicas en el Occidente de Boyacá.

3.9. Estructura Analítica del proyecto

Tabla 5. Resumen Narrativo

ACTIVIDADES
1.1 Revisión bibliográfica de planes de desarrollo nacional, departamental y política publica del occidente de Boyacá
1.2 Revisión bibliográfica de programa de biocomercio de la región Andina y programa nacional de bioetiquetado
1.3 Revisión bibliográfica a fin de identificar aspectos sociales, tecnológicos y ecológicos de la zona de estudio
1.4 Revisión bibliográfica de la normatividad vigente relacionada con aspectos ambientales y emprendimientos sostenibles
2.1 Revisión bibliográfica del entorno político de la ciudad del occidente de Boyacá
2.2 Revisión bibliográfica del entorno económico y social del occidente de Boyacá
2.3 Revisión bibliográfica del entorno tecnológico y ecológico d del occidente de Boyacá
2.4 Revisión bibliográfica del entorno legal del occidente de Boyacá
3.1 Recolección de la materia prima (residuos maderables) del occidente de Boyacá
3.2 Selección de los residuos maderables
3.3 Preparación de la materia prima
3.4 Mezclado de los residuos maderables
4.1 Agregado de aditivos
4.2 Fabricación de las briquetas
4.3 Secado y almacenamiento
4.4 Pruebas de calidad
4.5 Proceso de comercialización del producto
5.1 Realizar un estudio de mercado con la finalidad de conocer la demanda y la oferta existente en el mercado actual
5.2 Diseñar las briquetas ecológicas
5.3 Identificar el punto de equilibrio del proyecto del modelo de negocio para determinar la rentabilidad del mismo en el mercado
5.4 Desarrollar una articulación con comunidad a fin de favorecer los resultados de mejora en el tema de la implementación de las briquetas ecológicas
6.1 Promover la economía circular y la gestión adecuada de los residuos maderables.

ACTIVIDADES
6.2 Reducir la necesidad de extraer y procesar combustibles fósiles
6.3 Reducir gases de efecto invernadero
6.4 Promover la conservación de los recursos naturales.
ACTIVIDADES
1.1 Revisión bibliográfica de planes de desarrollo nacional, departamental y política pública del occidente de Boyacá
1.2 Revisión bibliográfica de programa de biocomercio de la región Andina y programa nacional de bioetiquetado
1.3 Revisión bibliográfica a fin de identificar aspectos sociales, tecnológicos y ecológicos de la zona de estudio
1.4 Revisión bibliográfica de la normatividad vigente relacionada con aspectos ambientales y emprendimientos sostenibles
2.1 Revisión bibliográfica del entorno político de la ciudad del occidente de Boyacá
2.2 Revisión bibliográfica del entorno económico y social del occidente de Boyacá
2.3 Revisión bibliográfica del entorno tecnológico y ecológico d del occidente de Boyacá
2.4 Revisión bibliográfica del entorno legal del occidente de Boyacá
3.1 Recolección de la materia prima (residuos maderables) del occidente de Boyacá
3.2 Selección de los residuos maderables
3.3 Preparación de la materia prima
3.4 Mezclado de los residuos maderables
4.1 Agregado de aditivos

Fuente: Autores.

En el Occidente de Boyacá, se ha propuesto la fabricación de briquetas ecológicas como una alternativa sostenible y renovable para reducir la dependencia de combustibles fósiles. El proyecto busca promover la producción y comercialización de este producto en la región, con el fin de proteger el medio ambiente y mejorar la calidad de vida de la comunidad local. Para lograrlo, se han llevado a cabo estudios exhaustivos para evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental.

El objetivo final de la fabricación de briquetas ecológicas en el Occidente de Boyacá es establecer una producción sostenible y rentable de este producto. El propósito principal es promover el uso de fuentes de energía renovable y reducir la dependencia de los combustibles de lea. Para lograrlo, el proyecto se divide en varios componentes clave. Se realizan estudios de viabilidad técnica, económica y ambiental para evaluar la factibilidad.

Tabla 6. Formulación para la fabricación de briquetas.

Nivel	Descripción	Indicador	Respon- sable	Lugar	Tiempo
Fin	Contribuir a la sostenibilidad de las zonas rurales			Occidente de Boyacá	
Propósito	Formular un modelo de negocio sostenible			Occidente de Boyacá	
Componentes	1. Identificación de fuentes de energía renovable.	1. Porcentaje de viabilidad económico.	Equipo de proyecto	Zonas rurales del occidente de Boyacá	Año 2023
	2. Diseño y construcción de plantas de producción.	2. Número de plantas construidas.			
	3. Establecimiento de canales de distribución.	3. Cobertura de distribución.			
	4. Promover el uso de combustibles limpios	4. Número de personas sensibilizadas			

Nivel	Descripción	Indicador	Respon- sable	Lugar	Tiempo
Actividades principales	1. Estudio de fuentes de energía renovable.				1. Primer trimestre
	2. Diseño de plantas de producción de briquetas ecológicas.		Equipo de implementación	Zonas rurales del occidente de Boyacá	2. Segundo y tercer trimestre.
	3. Diseño de red de distribución.				3. Cuarto trimestre.
	4. Campañas de sensibilización				4. Durante todo el año

Fuente: Autores.

El objetivo final de la fabricación de briquetas ecológicas en el Occidente de Boyacá es establecer una producción sostenible y rentable de este producto. El propósito principal es promover el uso de fuentes de energía renovable y reducir la dependencia de los combustibles fósiles en la región.

Tabla 7. Criterios de validación

Nombre del Indicador	Realizable	Medible	Relevante	Independiente	Total
Porcentaje de viabilidad económica	1	1	1	1	4
Número de plantas de producción construidas	1	1	1	1	4
Cobertura de distribución del combustible	1	1	1	1	4
Número de personas sensibilizadas	1	1	1	1	4
Matriz PESTEL	1	1	1	0	3
Estudio de mercado	1	1	1	1	4
Aumento de utilidad	1	1	1	1	4

Fuente: Autores.

Los criterios de validación se basan en indicadores clave como el porcentaje de viabilidad económica, el aumento de utilidad. Estos criterios permiten evaluar de manera realista y objetiva el éxito y el impacto del proyecto. Se realizará un estudio de mercado para evaluar la demanda. Estos indicadores son medibles, relevantes e independientes, y proporcionarán una base sólida para evaluar el progreso y la efectividad de la fabricación de briquetas ecológicas en el Occidente de Boyacá.

Tabla 8. Análisis Cuantitativo – Cualitativo.

Nivel	Cuantitativos	Cualitativos	Resumen Narrativo
Fin	Aumento en la sostenibilidad de las zonas rurales	Mejor calidad de vida para las comunidades rurales	El proyecto tiene como fin principal contribuir a la sostenibilidad de las zonas rurales del occidente de Boyacá.
Propósito	Formulación de un modelo de negocio	Generación de combustible de uso doméstico sostenible	El propósito del proyecto es formular un modelo de negocio que permita la generación de combustible de uso doméstico
Componentes	Investigación y análisis, Diseño del modelo de negocio, Implementación del modelo de negocio, Campañas de sensibilización, Operación y gestión, Evaluación y mejora, Cierre del proyecto		El proyecto se compone de varias etapas: investigación y análisis, diseño del modelo de negocio, implementación, etc.

Nivel	Cuantitativos	Cualitativos	Resumen Narrativo
Actividades	• Realizar estudios de viabilidad económico. • Establecer alianzas con actores locales. • Construir plantas de producción. • Realizar campañas de sensibilización. • Monitorear y gestionar procesos. • Evaluar impacto y realizar mejoras. • Documentar y cerrar el proyecto.		Algunas de las actividades clave incluyen la realización de estudios de viabilidad, establecimiento de alianzas, construcción de plantas, etc.

Fuente: Autores.

El análisis cuantitativo proporciona datos objetivos y medibles, mientras que el análisis cualitativo proporciona una comprensión más profunda de los factores subjetivos y contextuales.

Tabla 9. Factores de Riesgo.

Nivel	Resumen Narrativo	Financiero	Político	Social	Ambiental	Legal
Fin	El proyecto busca contribuir a la sostenibilidad de las zonas rurales del occidente de Boyacá.	El proyecto requiere una inversión financiera para la construcción de las plantas de producción.	Se deben cumplir los requisitos y regulaciones políticas relacionadas con la generación de combustible.	El proyecto tiene como objetivo mejorar la calidad de vida de las comunidades rurales.	El proyecto promueve el uso de combustibles limpios y la protección del medio ambiente.	El proyecto debe cumplir con las normativas legales y regulaciones aplicables.
Propósito	Formular un modelo de negocio basado en la generación de combustible de uso doméstico sostenible.	El proyecto busca obtener rentabilidad económica a través de la comercialización del combustible.	Se deben considerar los aspectos políticos para establecer alianzas y obtener apoyo para el proyecto.	El proyecto busca generar impacto social positivo en las comunidades rurales.	El proyecto busca contribuir a la conservación del medio ambiente y reducir las emisiones.	El proyecto debe cumplir con las leyes y regulaciones ambientales y de seguridad.

Nivel	Resumen Narrativo	Financiero	Político	Social	Ambiental	Legal
C o m p o - nentes	• Investigación y análisis • Diseño del modelo de negocio • Implementación del modelo de negocio • Campañas de sensibilización • Operación y gestión • Evaluación y mejora, Cierre del proyecto	Elaboración de presupuestos, obtención de financiamiento, gestión de costos y beneficios.	Negociaciones y alianzas con actores políticos, cumplimiento de requisitos regulatorios.	Participación comunitaria, capacitación y entrenamiento, promoción de uso de combustibles limpios.	Gestión de residuos, reducción de emisiones, protección de recursos naturales.	Cumplimiento de leyes laborales, ambientales, de seguridad y propiedad intelectual.
Actividades	• Realizar estudios de viabilidad económica. • Establecer alianzas con actores locales. • Construir plantas de producción • Realizar campañas de sensibilización • Monitorear y gestionar procesos • Evaluar impacto y realizar mejoras • Documentar y cerrar el proyecto	• Elaborar presupuestos y proyecciones financieras • Obtener financiamiento de inversión. • Registrar y reportar los ingresos y gastos • Controlar los costos y beneficios • Realizar auditorías financieras • Presentar informes de rendimiento financiero	• Cumplir con los requisitos regulatorios • Establecer alianzas con actores políticos • Obtener permisos y licencias necesarias • Participar			

Fuente: Autores.

Desde el punto de vista financiero, requiere una inversión inicial para construir instalaciones de producción y debe administrar los costos y los ingresos a lo largo del proyecto. En el frente político,

se deben cumplir los requisitos y regulaciones relacionadas con la producción de combustibles, así como la creación de alianzas y la consecución de apoyos políticos. Desde un punto de vista ambiental, el proyecto tiene como objetivo reducir las emisiones y proteger los recursos naturales, lo que requiere una gestión adecuada de los residuos y la introducción de prácticas sostenibles. Para reducir estos riesgos es necesario realizar estudios de viabilidad económica, crear alianzas estratégicas, cumplir con los requisitos normativos, realizar campañas de información, controlar y gestionar procesos y evaluar efectos y realizar mejoras continuas.

4. Discusión

La formulación de un modelo de negocio basado en la generación de combustible de uso doméstico a partir de briquetas ecológicas elaboradas con residuos maderables es una estrategia prometedora para contribuir a la sostenibilidad de las zonas rurales del occidente de Boyacá. Este enfoque busca aprovechar los recursos forestales existentes en la región, reducir la deforestación y promover prácticas más sostenibles en el sector energético.

Para llevar a cabo este modelo de negocio, es necesario realizar estudios de viabilidad económica que evalúen la demanda del mercado, los costos de producción y los márgenes de rentabilidad. También es fundamental establecer alianzas estratégicas con proveedores de residuos maderables, instituciones educativas, organizaciones comunitarias y entidades gubernamentales para asegurar el abastecimiento de materia prima, la capacitación técnica y el apoyo en la promoción y comercialización del producto. Además, es esencial contar con el respaldo de las comunidades rurales, quienes serán los principales beneficiarios de este modelo de negocio. Para lograrlo, se deben realizar campañas de sensibilización y educación sobre los beneficios ambientales

5. Conclusiones

En conclusión, la formulación de un modelo de negocio basado en la generación de briquetas ecológicas a partir de residuos maderables tiene el potencial de brindar múltiples beneficios en el occidente de Boyacá. Este enfoque permite aprovechar los recursos naturales de manera sostenible, reducir la deforestación y promover prácticas energéticas más limpias y amigables con el medio ambiente. Además, este modelo de negocio puede impulsar el desarrollo económico de las zonas rurales al generar empleo local y promover la creación de una cadena de valor en torno a la producción y distribución de las briquetas. Es fundamental destacar la importancia de establecer alianzas estratégicas con actores clave, como proveedores de residuos maderables, instituciones educativas, organizaciones comunitarias y entidades gubernamentales.

Estas alianzas permitirán asegurar un suministro constante de materia prima, impulsar la capacitación técnica y contar con el apoyo necesario para promocionar y comercializar el producto de manera efectiva. Sin embargo, es importante tener en cuenta los retos y desafíos que pueden surgir en la implementación de este modelo de negocio, como la necesidad de superar barreras regulatorias, la capacitación técnica adecuada, la gestión de costos de producción y la sensibilización de las comunidades locales. Superar estos desafíos requerirá un enfoque integral, que incluya una planificación cuidadosa, un monitoreo constante y la búsqueda de soluciones innovadoras.

6. Referencias

- Asunto:legales. (03 de Junio de 2023). Análisis legal, judicial y el impacto de las leyes de Colombia | Asuntos Legales. Recuperado de: <https://www.asuntoslegales.com.co/analisis>
- Barreto, G. (2023). Análisis de la gestión del Programa “Nos une el medio ambiente y la responsabilidad ambiental” del Municipio de Tunja, Boyacá, en el marco de la implementación del Objetivo de Desarrollo Sostenible N° 13, durante el periodo 2020. 20.
- Bernal, N. (2015). Cuantificación de cadmio en cacao proveniente del Occidente de Boyacá por la técnica analítica de voltamperometría. repositorio uptc. Recuperado el 03 de Junio de 2023, de: <https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/1425>
- Camacho. (2000). Evaluando el estado de la biodiversidad: el caso de la avifauna de la Serranía de las Quinchas, Boyacá, Colombia | Caldasia. Revistas Unal. Recuperado el 03 de Junio de 2023, de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/17>
- CAR (3 de Junio de 2023). Componente descriptivo. Recuperado de: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5acba9d6ec503.pdf>
- Melo, L. A., Ramos, J. E., & Hernández, P. O. (03 de Junio de 2023). La educación superior en Colombia: situación actual y análisis de eficiencia | Revista Desarrollo y Sociedad. Revistas Uniandes. (2017, March 1) Recuperado de: <https://revistas.uniandes.edu.co/index.php/dys/article/view/6696>
- Monroy Sierra, J. M. (enero de 2023). YouTube. Recuperado el 03 de Junio de 2023, de <https://repositorio.iberu.edu.co/entities/publication/213e6db3-1e01-44b5-908b-69fc1bbc018f>

- Montenegro, N. (Septiembre de 1992). Reforma del Estado y desarrollo económico y social en Colombia | Análisis Político. *Revistas Unal* (1992, September 1). Recuperado el 03 de Junio de 2023, de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/anpol/article/view/75094>
- Parra, J. (2006). Familia, poder y esmeraldas. relaciones de género y estructura económica minera en el occidente de Boyacá, Colombia. *SciELO Colombia* (2006). Recuperado el 03 de junio de 2023, de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0486-652520060
- Pinzón, C. A. (2015). Las estrategias de desarrollo en el occidente de Boyacá. *Ri Umng Principal*. Recuperado el 03 de Junio de 2023, de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/13625/Estrategias%20de%20desarrollo%20en%20el%20Occidente%20de%20Boyac%20E1%20Celio%20A.%20Pinz%20F3n%20Castellanos..pdf;jsessionid=4B96F6E2E38FE-9F8E0A34E69DAD7AF5B?sequence=1>
- Sainea, O. L., Ortegón, Y. A., & Acosta Castellanos, P. M. (2022). Bioengineering as a Strategy for the Consolidation of Innovation and Technological Development Processes in the Central Zone of Colombia. In 14th International Conference on Computational Intelligence in Security for Information Systems and 12th International.



Se terminó de editar este libro electrónico en marzo
de 2025 en los talleres de Editorial Jotamar S.A.S.
Tunja, Boyacá, Colombia.



UNIVERSIDAD
SANTO TOMÁS
TUNJA

VIGILADA MINEDUCACIÓN - SNIES 1732

