

MUTIS



Ipomoea horsfalliae
Benjamín Córdova Valderrama, 2018

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano
Jefatura de Publicaciones
Carrera 4 n.º 23-76, Módulo 29, of. 203
Piso 2, Bogotá, D. C., Colombia
Tel: (571) 242 7030, Exts. 3120-3132

Rector
CARLOS SÁNCHEZ GAITÁN

Vicerrector Académico
ANDRÉS FRANCO HERRERA

Vicerrectora Administrativa
LILIANA ÁLVAREZ REVELO

Jefe de Creación
CLAUDIA ANGÉLICA REYES

Jefe de Investigación y Consultoría
NÉSTOR E. ARDILA

Decano de la Facultad de Ciencias Naturales
e Ingeniería
ISAAC DYNER REZONZEW

Jefe de Publicaciones
MARCO GIRALDO BARRETO

Coordinador Editorial
JUAN CARLOS GARCÍA SAENZ

Coordinación gráfica y diseño y diagramación
LUIS CARLOS CELIS CALDERÓN

Corrector de estilo
LEONARDO PAIPILLA PARDO

Coordinación editorial y revisión
MARY LIDIA MOLINA BERNAL

Distribución y ventas
SANDRA GUZMÁN

Asistente administrativa
MARÍA TERESA MURCIA

Mutis es una publicación electrónica semestral de ciencia e investigación editada por la Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Los artículos publicados son responsabilidad de sus autores y no comprometen la posición editorial de *Mutis*.

Editor
GERARD OLIVAR TOST

Editor de sección
JAVIER HERNÁNDEZ FERNÁNDEZ

Comité Editorial
ISAAC DYNER REZONZEW
Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Colombia
MICHAEL J. AHRENS
Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Colombia
LEONARDO MARIÑO RAMÍREZ
NCBI - National Center for Biotechnology Information,
Bethesda MD, EE. UU.
MYRON SPECTOR
Harvard University, EE. UU.

Comité Científico
MÓNICA PUYANA HEGEDUS
Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Colombia
ANDRÉS FELIPE SUÁREZ ESCOBAR
Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Colombia
ALBA GRACIELA ÁVILA
Universidad de los Andes, Colombia
ANDRÉS FELIPE LÓPEZ
Universidad de La Sabana, Colombia
LORENA NOVOA APONTE
The National Institutes of Health, Bethesda MD, EE.UU.

Actualmente el contenido está indexado e incluido en Google Scholar, Academia.edu, BASE, Dialnet, Dimensions, Directory of Research Journals Indexing, Electronic Journals Library, Latindex, MIAR, Mendeley, PERIODICA, Publindex - Categoría C, PKP index, ROAD, Ulrich's Periodicals Directory, AmeliCA, DOAJ, Ebsco (fuente académica), Redib



CONTENIDO

Vol. 10 n.º 2 – II. Edición 2020

EDITORIAL

Vacunas y vacunación contra el COVID-19

Javier Hernández Fernández

5

ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN – RESEARCH ARTICLES

Rentabilidad económica y análisis de sensibilidad del proceso de producción de cerveza a partir de sorgo rojo CIAP R-132 a escala piloto

Economic Profitability and Sensitivity Analysis of the Beer Production Process from Red Sorghum CIAP R-132 at Pilot Scale

Amaury Pérez Sánchez, Delcio Venâncio de Magalhães Malengue e Isnel Benitez Cortés

10

Análisis de la generación de GEI en la cuenca del río Bogotá (Colombia) y un panorama comparativo entre las cuencas de las capitales de México y Perú

Analysis of GHG Generation in the Bogotá River Basin (Colombia) and Comparative Panorama with the Basins of the Capital Cities of Mexico and Peru

Diana Lucía Cristancho Montenegro, Jessica Estefanía Rojas Bernal, Juliana Bohórquez Mesa y María Fernanda Dueñas Escudero

25

IPBES para ciudadanos: breve aproximación a la Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos

IPBES for Citizens: A Brief Approach to the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services

Albaluz Ramos Franco y Leyde Katerine Cabrera Ruíz

37

Estudio holístico de la producción de papel a partir de cáñamo industrial en el contexto colombiano

Holistic Study on the Production of Paper from Industrial Hemp in Colombia

Johana Catalina Manosalva Barrera, Javier Andrés Dávila y Julián Andrés Quintero

51

Registro preliminar de la herpetofauna asociada a bosque de galería y a la subcuenca del río Camoa de la Reserva El Caduceo, San Martín, Meta, Colombia

Preliminary Checklist of the Herpetofauna of the Gallery Forest and the Camoa River Sub-basin at El Caduceo Nature Reserve, San Martín, Meta, Colombia

Valentina Giraldo Gutiérrez, Laura Nathaly Pachón Pontón, Daniela Trujillo Cortes, Juliana Andrea Peñaranda Carrillo y Jordan Steven Ruíz Toquica

70

Instrucciones para autores

79

Vacunas y vacunación contra el COVID-19

Nos enfrentamos a la pandemia de COVID-19 causada por el coronavirus SARS-CoV-2, descrito en la ciudad de Wuhan, China, en diciembre de 2019. El virus rápidamente se dispersó a 180 países desde septiembre de 2020, produciendo algo más de 33 millones de casos y un millón de muertes en todo el mundo.

El coronavirus ha infectado hasta hoy (marzo 15 de 2021) a 119.925.270 personas, ocasionando 2.654.847 muertes en todo el mundo (Johns Hopkins University, 2021). Esta representa la mayor pandemia en el planeta en los últimos años. En Colombia se han infectado 2.294.617 personas, de las cuales 60.950 han fallecido (INS, 2021). De otro lado, en Estados Unidos se han realizado 370.395.115 pruebas diagnósticas para COVID-19, mientras que en Colombia la cifra llega a 8.471.710, ubicando al país en el puesto 11 a nivel mundial por cantidad de infectados.

Por otra parte, en Colombia se han secuenciado 554 genomas de coronavirus, identificándose 54 linajes diferentes, entre los que se encuentra el linaje brasileño, que es altamente contagioso. Un dato sin duda preocupante. En total, se han secuenciado en el mundo 780.146 genomas del coronavirus (GISAID, 2021). La mayor cantidad de personas infectadas está en el rango de 20-39 años, mientras que el grupo menos afectado comprende aquellos individuos entre 90 y 100 años (figura 1). Además, el mayor número de fallecidos está entre 60-89 años. No obstante, entre el grupo de menores entre 1 y 9 años han fallecido 83 individuos (figura 1).

A la fecha, se han administrado en el mundo un total de 345,2 millones de dosis de vacunas y hasta el momento han sido aprobadas 10 vacunas. Entre estas, las más utilizadas son la de Pfizer-BioNTech (72 Países), Oxford-AstraZeneca (68) y Moderna (32).

La vacuna Pfizer-BioNTech, también llamada Comirnaty o tozinameran (BNT162b2), fue anunciada el 9 de noviembre de 2020. Al respecto, se encontró que la administración de dos dosis separadas por un período de tres semanas registran una eficacia de más del 90 %. Esta vacuna se basa en RNA mensajero de la proteína exterior del coronavirus, llamada spike. Los días 2 y 11 de diciembre, el Reino Unido y la Administración de Medicamentos y Alimentos de Estados Unidos (FDA), respectivamente, aprobaron de emergencia esta vacuna e iniciaron la inmunización de su población. En Israel, país que también inició la vacunación masiva en diciembre de 2020, se confirmó la efectividad de este tipo de vacuna, tal como habían indicado ensayos previos. Así, la alianza Pfizer-BioNTech espera producir 2.000 millones de vacunas para diciembre de 2021.

El reto de Comirnaty es la necesidad de refrigeración. En principio se anunció que esta debería mantenerse a -70 °C, aunque luego la empresa fabricante afirmó que la vacuna podría permanecer estable a temperaturas entre -25 y -15 °C.

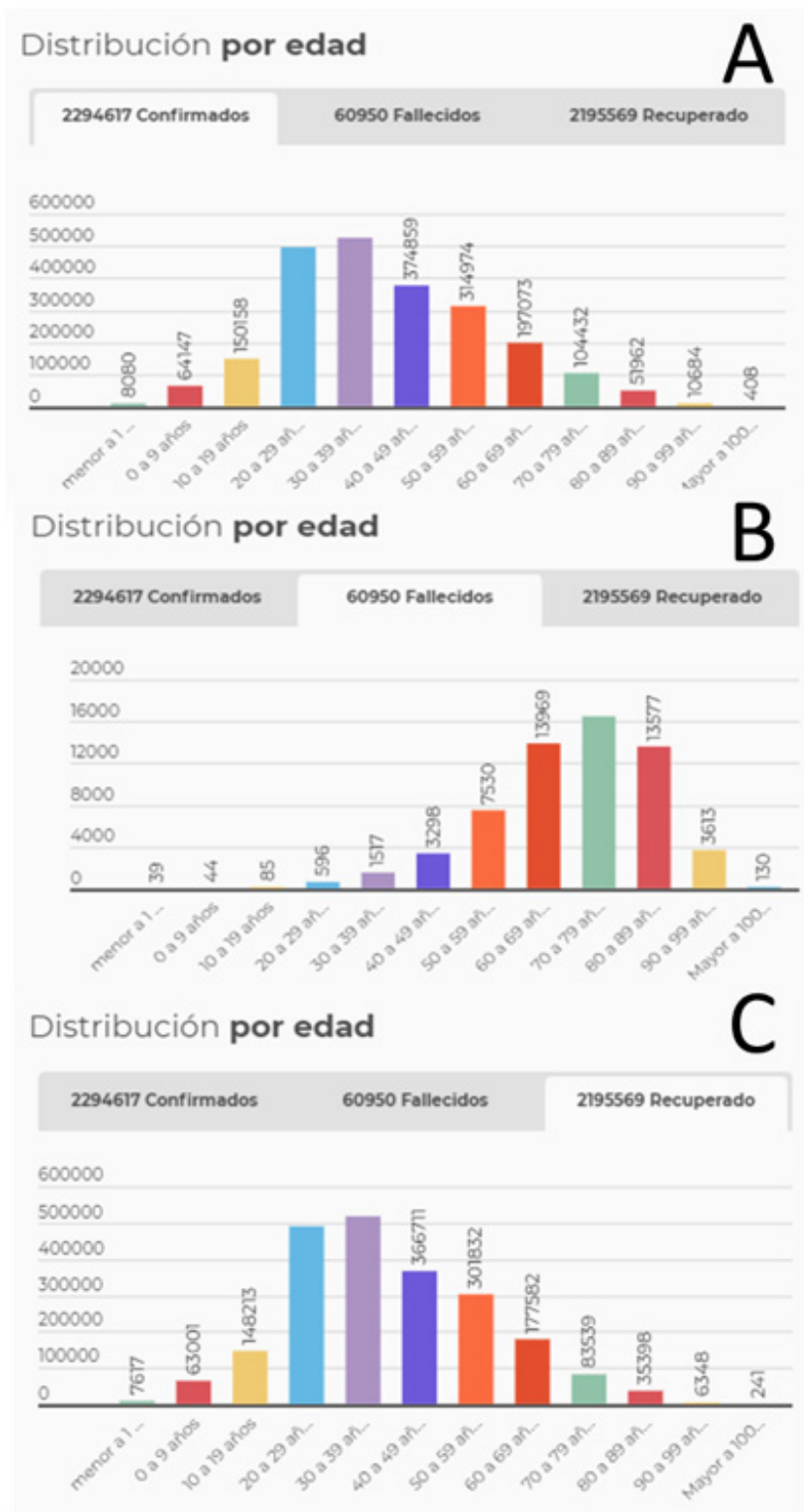


Figura 1. Estadísticas del covid-19 por edad en Colombia. A: casos confirmados; B: fallecidos; C: recuperados.

Fuente: INAS (2021).

Las variantes emergentes del coronavirus pusieron en entredicho la vacuna. Sin embargo, en estudios entregados el 8 de marzo del presente año, Pfizer y BioNTech anunciaron que Comirnaty presentaba efectividad contra la variante brasilera (P1), aunque resulta ser menos efectiva contra la variante B.1.351 (de Sur África). Además, Pfizer y BioNTech realizan actualmente ensayos para mujeres embarazadas, por lo que pronto sabremos si la vacuna protege a esta población y es segura.

Por su parte, la vacuna de Oxford-AstraZeneca fue objeto de muchas pruebas para abrirse campo entre los biológicos que debían utilizarse para inmunizar a la población. Al respecto, se encontró que dos dosis separadas por un período de 12 semanas reportaban una eficacia de 82,4 %. Esta vacuna, llamada AZD1222, integra RNA mensajero de la proteína spike del coronavirus dentro de un adenovirus de chimpancé. El Reino Unido y Argentina fueron los primeros países en aprobar este tipo de vacuna. Posteriormente, un buen número de países hizo lo mismo (68); entre estos, Colombia. La compañía fabricante espera producir cerca de 2.000 millones de dosis durante el 2021, anunciando además que realizaría pruebas con la vacuna Sputnik V (de origen ruso), que también utiliza adenovirus, para determinar si una combinación de ambas vacunas aumenta la eficacia. A pesar de los resultados reportados, tres países (Dinamarca, Islandia y Noruega) suspendieron el uso de esta vacuna el 11 de marzo debido al riesgo detectado en cuanto a la producción de coágulos sanguíneos.

La vacuna de Moderna, también llamada mRNA-1273, fue autorizada por la FDA, en Estados Unidos, una semana después de la de Pfizer-BioNTech. Esta vacuna tiene el mismo principio de RNA mensajero de la proteína spike. De esta se deben administrar dos dosis con dos semanas de diferencia para obtener una eficacia de 94,5 %. Moderna trabaja para producir entre 600 y 1.000 millones de dosis para el 2021. Además de Estados Unidos, la vacuna mRNA-1273 ha sido aprobada en Canadá, el Reino Unido, la Unión Europea y 32 países más.

De otro lado, la vacuna rusa Sputnik V fue producida en el Instituto Gamaleya. Su principio es similar la vacuna de Oxford-AstraZeneca, es decir, RNA mensajero de la proteína spike dentro de dos adenovirus, llamados ad5 y ad26. De esta se deben aplicar dos dosis, separadas por tres semanas, para obtener una eficacia de 91,4 %. Hoy día, 51 países han autorizado la utilización de Sputnik V.

Además de las anteriores, la vacuna Sinopharm-Beijing, también conocida como BBIBP-CorV, fue creada por el Beijing Institute of Biological Products y producida por la compañía Sinopharm como una vacuna inactivada del coronavirus, es decir, una vacuna tradicional que utiliza todo el genoma del virus. El fabricante indica que se deben colocar dos dosis de esta con tres semanas de separación para obtener una eficacia entre el 79,34 y 86 %. Sinopharm planea producir 3.000 millones de dosis al año.

La vacuna Sinovac, también llamada CoronaVac, ha sido producida por una compañía privada China. Como en el caso de Sinopharm, Sinovac es una vacuna inactivada del coronavirus. Dos estudios produjeron eficacias distintas frente a su uso: 50,38 % en Brasil y 83,5 % en Turquía. De esta vacuna, también aprobada en Colombia, se deben administrar dos dosis separadas por un período de dos semanas.

Sumándose al grupo de inmunizantes aprobados, la vacuna Sinopharm-Wuhan fue producida por Wuhan Institute of Biological Products como una vacuna inactivada, igual que la BBIBP-CorV y CoronaVac. El 25 de febrero fue aprobada su utilización en China.

Por otro lado, la vacuna Johnson & Johnson es la primera que utiliza una sola dosis. Desarrollada por Janssen Pharmaceutica, una división de Johnson & Johnson con sede en Bélgica, en colaboración con Beth Israel Deaconess Medical Center (Boston, Estados Unidos), está basada en DNA que codifica la proteína spike del coronavirus insertado en el ad26. Esta vacuna puede ser refrigerada a 2-8°C hasta por tres meses y la empresa fabricante prometió producir 1.000 millones de dosis para 2021. Esta es la tercera vacuna en ser aprobada en Estados Unidos.

Por último, la vacuna Bharat Biotech fue producida por el Indian Council of Medical Research y el National Institute of Virology, en India. La compañía de origen indio Bharat Biotech produce Covaxin, vacuna del coronavirus inactivado. De esta se deben administrar dos dosis en un período de cuatro semanas para obtener una eficacia de 80,6 %.

Producir una vacuna es un proceso que generalmente requiere años de investigación y la realización rigurosa de pruebas clínicas. Durante el año pasado, muchos países y sus equipos científicos iniciaron el diseño para la producción de vacunas contra el COVID-19 seguras y efectivas. La ciencia ha actuado en consecuencia a una velocidad inusitada. El desarrollo producido es inimaginable. Actualmente se están evaluando 76 vacunas en humanos —de las cuales 22 han llegado a las etapas finales de prueba— y por lo menos 77 en animales. Esto representa un total de 156 vacunas en desarrollo.

Las evaluaciones realizadas a las vacunas contra el COVID-19 han demostrado seguridad y eficacia, como se muestra en la tabla 1. Así, los beneficios de una vacuna deben superar los riesgos conocidos para que se utilice como “Autorización para Uso de Emergencia”.

Tabla 1. Vacunas utilizadas para inmunizar a la población mundial contra el COVID-19

Vacuna	N.º de países	País productor	Eficacia (%)
Pfizer-BioNTech	72	Estados Unidos/Alemania	95
Oxford-AstraZeneca	68	Reino Unido/Suiza	82,4
Moderna	32	Estados Unidos	94
Gamaleya (Sputnik V)	51	Rusia	91,6
Sinopharm-Beijing	17	China	79,3-86
Sinovac	18	China	50,3-83,5
Sinopharm-Wuhan	2	China	72,5
Johnson & Johnson	5	Estados Unidos	61-72
Bharat Biotech (Covaxin)	3	India	80,6
Vector Institute (EpiVacCorona)	1	China	NS

Fuente: elaboración propia.

A pesar de lo anterior, no sabemos con certeza cuánto tiempo dura esta protección. Sin embargo, el riesgo de enfermarse gravemente y morir a causa de COVID-19 es alto. Las vacunas contra esta enfermedad ayudarán a proteger a la población, al crear una respuesta de generación de anticuerpos (sistema inmunitario) sin que se deba padecer la enfermedad.

Detener la pandemia dependerá de cómo usemos todas las herramientas que se han puesto a nuestra disposición. Aún hace falta conocer mucho acerca del COVID-19. Por ahora, parece que vacunarse es una alternativa para evitar la infección o, por lo menos, desarrollar una sintomatología más leve.

REFERENCIAS

- Dong, E., Du, H., & Gardner, L. (2020). An interactive web-based dashboard to track COVID-19 in real time. *Lancet Inf Dis.*, 20(5), 533-534. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30120-1](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30120-1)
- GISAID (2021). *Genomic epidemiology of hCoV-19*. <https://www.gisaid.org/>
- Instituto Nacional de Salud [INS]. (2021, marzo 13). COVID-19 en Colombia. <https://www.ins.gov.co/Noticias/Paginas/Coronavirus.aspx>
- Johns Hopkins University (2021, marzo 15). *COVID-19 data in motion*. <https://coronavirus.jhu.edu/covid-19-daily-video>
- Our World in Data (2021, marzo 13). *Coronavirus Pandemic (COVID-19)*. <https://ourworldindata.org/coronavirus>
- Zimmer, C., Corum, J., & Wee, S. L. (2021, marzo 13). *Coronavirus vaccine tracker*. <https://www.nytimes.com/interactive/2020/science/coronavirus-vaccine-tracker.html#soberana2>

Javier Hernández Fernández

Editor Revista Mutis

<https://orcid.org/0000-0001-8442-9266>

<https://doi.org/10.21789/22561498.1737>

Rentabilidad económica y análisis de sensibilidad del proceso de producción de cerveza a partir de sorgo rojo CIAP R-132 a escala piloto

Economic Profitability and Sensitivity Analysis of Beer Production Process from Red Sorghum CIAP R-132 at Pilot Scale

Amaury Pérez Sánchez^{ab}, Delcio Venâncio de Magalhães Malengue^{ac},
Isnel Benitez Cortés^{ad}

^a Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Aplicadas, Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz", Cuba

^b amaury.psanchez@reduc.edu.cu <https://orcid.org/0000-0002-0819-6760>

^c <https://orcid.org/0000-0002-1534-0927>

^d <https://orcid.org/0000-0003-2427-640X>

RESUMEN

En el presente trabajo se efectuó la simulación de una planta de producción de cerveza a escala piloto (150 L/lote), empleando sorgo rojo CIAP R-132 como materia prima principal. Se efectuó un estudio de sensibilidad consistente en 11 corridas experimentales, mediante el cual se evaluó la influencia de tres variables iniciales (capacidad de producción de cerveza por lote, costo de adquisición del sorgo rojo y precio de venta de la botella de cerveza) sobre tres indicadores económicos de importancia: valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR) y período de recuperación de la inversión (PRI). Se deben invertir \$ 570.000 pesos cubanos (CUP) para erigir la planta de producción, el costo unitario de producción alcanzó un valor de CUP 12,82/ botella, mientras que se obtuvo un valor de VAN, TIR y PRI de CUP 480.000, 28,83 % y 3,82 años, respectivamente, lo cual califica al proyecto como económicamente rentable y factible desde el punto de vista inversionista.

Se obtuvieron ecuaciones que establecen la correlación estadística existente entre las tres variables de entrada y las tres de salida. Se empleó el simulador SuperPro Designer® v.8.5 para efectuar la simulación y el software Statgraphics Centurion xvi® para el procesamiento estadístico de los datos.

Citation: Pérez-Sánchez, A., de Magalhães-Malengue, D. C. y Benitez-Cortés, I. (2020). Rentabilidad económica y análisis de sensibilidad del proceso de producción de cerveza a partir de sorgo rojo CIAP R-132 a escala piloto. *Mutis*, 10(2), 10-24. <https://doi.org/10.21789/22561498.1665>

Recibido: Febrero 7, 2020. **Aceptado:** Junio 15, 2020.

Copyright: ©2020. Pérez-Sánchez, A., de Magalhães-Malengue, D. C. y Benitez-Cortés, I. This is an open-access article, which permits unrestricted use, distributions and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Competing Interests: The authors have no conflict of interest.

Palabras clave: análisis de sensibilidad, cerveza, rentabilidad económica, simulación, sorgo.

ABSTRACT

This work presents the simulation of a pilot scale beer production plant (150 L/batch) with red sorghum CIAP R-132 as the main raw material. A sensitivity study consisting of 11 experimental runs was carried out, through which the influence of three initial variables (beer production capacity per batch, purchasing cost of red sorghum, and sale price of the beer bottle) was evaluated over three important economic indicators: Net present value (NPV), internal rate of return (IRR), and payback time (PT). Results show that \$ 570,000 Cuban pesos (CUP) must be invested to erect the production plant, the unit cost of production reached a value of CUP 12.82/bottle, while NPV, IRR and PT values were CUP 480,000, 28.83% and 3.82 years, respectively, which qualifies the project as economically profitable and feasible from the investor's point of view. Several equations were obtained that establish the statistical correlation between the three input variables and the three output variables. The SuperPro Designer® v.8.5 simulator was used to carry out the simulation, as well as Statgraphics Centurion XVI® software for the statistical processing of data.

Keywords: Sensitivity analysis, beer, economic profitability, simulation, sorghum.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la industria química cubana debe basar su desarrollo en investigaciones hacia la búsqueda de productos que puedan resultar atractivos desde el punto de vista de su uso, calidad y mercado, lo cual conllevaría también a su factibilidad técnica, económica y ambiental (Nieblas *et al.*, 2016).

El sorgo constituye el quinto cereal más importante en el mundo, después del arroz, el trigo, el maíz y la avena, siendo el principal cereal alimenticio para alrededor de 750 millones de personas viviendo en regiones tropicales semiáridas de África, Asia y Latinoamérica (Ramatoulaye *et al.*, 2016). Este cereal contiene varias propiedades beneficiosas y se ha demostrado que su cultivo es económicamente rentable, teniendo en cuenta su bajo costo de producción, resistencia a la sequía y altas temperaturas, dadas sus características de rusticidad, y la realización de varias cosechas o cortes, además de no contener el gluten que afecta a los enfermos celíacos, por lo que se constituye en una excelente alternativa para la sustitución de importaciones (Rodríguez *et al.*, 2015).

La cerveza es una expresión genérica para designar a la bebida resultante de fermentar, mediante levadura seleccionada, el mosto procedente de la malta de granos de cereal (solo o mezclado con otros adjuntos cerveceros transformables en azúcares por digestión enzimática). Esta bebida es sometida previamente a

un proceso de cocción y aromatización de sus extractos o concentrados con flores de lúpulo (Gallardo *et al.*, 2013).

En la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba, se ha trabajado por varios años en el desarrollo y la obtención de productos a partir del sorgo, entre los que se encuentran la producción de jarabes dextrinizados (Rodríguez *et al.*, 2015), maltina (Díaz, 2014; Gallardo *et al.*, 2013), cerveza (Carvajal, 2014; Nieblas *et al.*, 2016; Ortega, 2016; Pino, 2017) y etanol (Gallardo *et al.*, 2011).

La simulación de procesos para la evaluación de alternativas y la mitigación de pérdidas en un proceso determinado juega un papel muy importante para obtener el modelo final de la simulación, ya que este puede revelar a gran escala si un proceso futuro puede dar resultados acertantes (o no) en cuanto a su factibilidad técnica y económica (Auli *et al.*, 2013). La simulación de una planta química consiste en la creación de un modelo de proceso o de costo, entendiéndose por modelo una descripción del comportamiento de un proceso real, el cual sea capaz de predecir la salida (esto es, las respuestas) en función de las entradas. Entre los múltiples simuladores de procesos existentes en la actualidad, SuperPro Designer® es uno de los más relevantes para la industria de procesos químicos, siendo empleado fundamentalmente para la

realización de balances de masa, estudios de factibilidad y análisis económicos de variantes, así como en el diseño y la evaluación conceptual de procesos y plantas químicas (Aguiar *et al.*, 2018; Csighy *et al.*, 2017; Govindarajan *et al.*, 2019; Lam *et al.*, 2014; Mani *et al.*, 2016).

Entre los indicadores más importantes para evaluar un proyecto en ingeniería química desde el punto de vista económico se encuentran el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el período de recuperación de la inversión (PRI) (Sayar *et al.*, 2019). El VAN da cuenta del valor del dinero en el tiempo y es la diferencia entre el valor presente de todos los flujos de caja positivos (presentes y futuros) y los flujos de salida al contado, tales como la inversión de capital; se trata de una medida de la factibilidad del proceso propuesto. La TIR no es más que la tasa de descuento que hace igual a cero el valor del VAN a lo largo de un tiempo predeterminado de vida del proyecto. Este constituye generalmente una base comparativa excelente para evaluar el proyecto en el ambiente económico local. Por último, el PRI se refiere a la duración requerida para que los ingresos totales igualen la inversión de capital inicial (Peters *et al.*, 2003).

El análisis de sensibilidad se emplea para determinar la manera en que determinado proceso reacciona a cambios en variables claves, tanto de diseño como de operación, del proceso bajo estudio. Este análisis presenta múltiples beneficios, entre los que sobresalen el estudio de la influencia de los cambios efectuados en variables de entrada sobre variables de salida, verificar que es factible la solución a las especificaciones de diseño, representar gráficamente las influencia de las variables iniciales y estudiar las variables que fluctúan en el tiempo a través de un método en estado cuasi-estacionario (Ibrahim *et al.*, 2020). Hasta la fecha, son varios los autores que han efectuado estudios de sensibilidad en diversos procesos químicos, entre los cuales se pueden mencionar el diseño de un absorbedor para la captura de dióxido de carbono utilizando aminas (Razi *et al.*, 2013), la evaluación técnica y económica del proceso de producción de biodiésel (Tang *et al.*, 2015), la producción de Heparinasa I expresada en *Escherichia coli* (Ernst *et al.*, 1997) y la producción de etanol a partir de biomasa lignocelulósica (Rao, 2005).

El sorgo rojo, variedad CIAP R-132, ha sido utilizado para evaluar el proceso de molienda en húmedo de la extracción del almidón contenido en los granos (Rodríguez *et al.*, 2015); la producción de jarabes dextrinizados mediante hidrólisis enzimática del almidón, aplicando la enzima α -amilasa (Rodríguez *et al.*, 2015); como componente adjunto mezclado con cebada para la obtención de cerveza y malta a escala piloto (50 L) (Nieblas *et al.*, 2016); y como única materia prima para la obtención de cerveza a escala de laboratorio (Alfonso, 2018). Sin embargo, hasta la fecha, no se ha reportado su empleo de forma integral para la producción de cerveza a escala de planta piloto, por lo que no se conoce qué valores tendrán los principales indicadores técnicos y económicos de una planta de este tipo.

Considerando los elementos hasta aquí descritos, el objetivo general del presente trabajo consiste en determinar la rentabilidad técnica y económica del proceso de producción de cerveza a partir de sorgo rojo CIAP R-132 a escala de planta piloto (150 L/lote) en el contexto económico actual de Cuba. Además, se efectúa un estudio de sensibilidad con el fin de evaluar la influencia que presentan tres variables iniciales, (i) capacidad de producción de cerveza por lote, (ii) costo de adquisición del sorgo rojo y (iii) precio de venta de la botella de cerveza, sobre tres importantes parámetros económicos del proceso de producción evaluado: VAN, TIR y PRI. Por último, se determinó la correlación estadística existente entre las tres variables iniciales seleccionadas y los parámetros económicos VAN, TIR y PRI, para así obtener correlaciones que describan cuantitativamente la relación estadística existente entre estas variables.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del proceso de producción de cerveza a partir de sorgo rojo CIAP R-132

En la figura 1 se muestra el diagrama de bloques en los que se exponen las principales etapas del proceso de producción de cerveza a partir de sorgo rojo CIAP R-132.

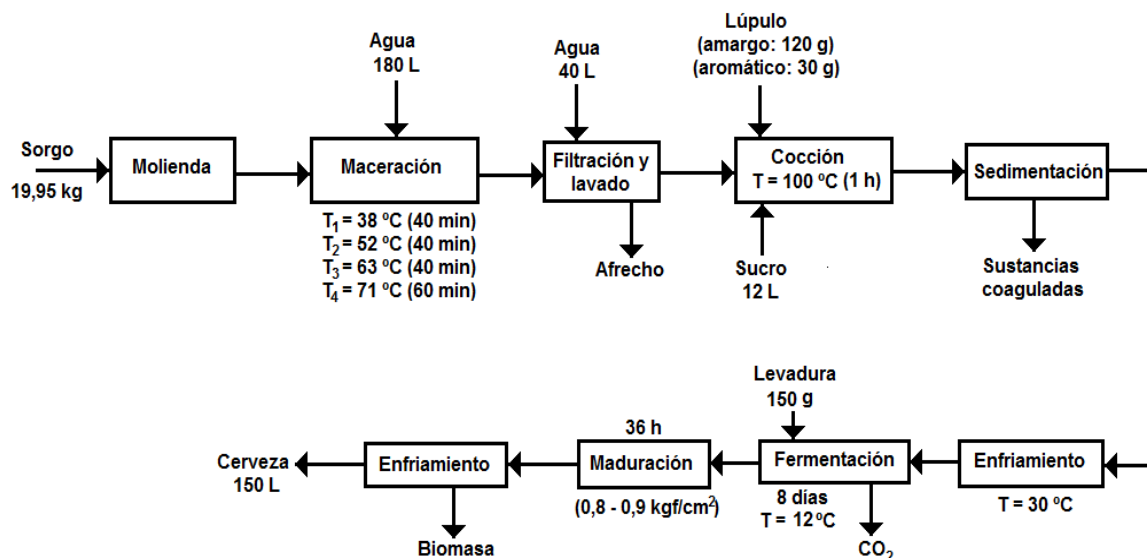


Figura 1. Diagrama de bloques del proceso de producción de cerveza a partir de sorgo rojo CIAP r-132. Fuente: elaboración propia.

Este proceso cuenta con dos subetapas principales, siendo la primera la subetapa en caliente donde se realizan las siguientes operaciones:

1. Molienda
2. Maceración
3. Filtración y lavado
4. Cocción del mosto
5. Sedimentación

La segunda subetapa, conocida como etapa en frío, consta de las siguientes etapas:

1. Enfriamiento
2. Inyección de la levadura y fermentación
3. Maduración
4. Enfriamiento, reposo de la cerveza y extracción de la levadura
5. Envasado

En este caso, el proceso en caliente tiene como objetivo principal disolver las sustancias de la malta y los sucedáneos empleados, desdoblándolos en azúcares fermentables para obtener un mosto libre de contaminación y de sustancias insolubles que sea adecuado para ser fermentado. En esta etapa del proceso ocurren una serie de operaciones con los objetivos descritos a continuación.

Molienda

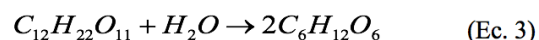
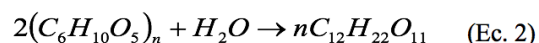
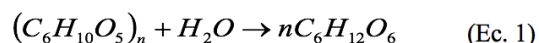
Se trituran 19,95 kg de sorgo en un molino de disco para reducir su tamaño hasta obtener una consistencia de harina granulada, con vistas a favorecer la posterior sacarificación del almidón durante el proceso de maceración.

Maceración

La maceración se realiza para lograr la conversión de los almidones contenidos en el sorgo en azúcares fermentables (sacarificación). Para ello, se comienza agregando 180 L de agua al macerador y luego los 19,95 kg de sorgo

previamente molidos. Durante el proceso de maceración se llevan a cabo 4 pausas o escalones de temperaturas. En primer lugar, se calienta el agua contenida dentro del macerador hasta una temperatura de 38 °C, a partir de la cual se le agregó el grano de sorgo; esta pausa de temperatura se mantiene durante 40 minutos. Posteriormente, se incrementa la temperatura de la mezcla hasta 52 °C y se mantiene en este valor también durante 40 minutos. Transcurrido este tiempo, se incrementa la temperatura del mosto hasta 63 °C y se conserva durante 40 minutos. Por último, se realiza un incremento de la temperatura hasta 71 °C, permaneciendo en este valor durante 60 minutos. Cumplido este tiempo se incrementa la temperatura del líquido macerado hasta 78 °C con el fin de detener la actividad enzimática. Todo el proceso de maceración se efectúa a una velocidad de agitación de 60 rpm. Una vez finalizado el proceso de maceración, al mosto se le aplica la prueba del yodo a fin de comprobar si existió sacarificación del almidón durante el proceso de maceración; es decir, si el almidón se desdobló en azúcares simples. En el mosto filtrado y enfriado también se mide el valor de Brix y el pH.

La reacción de hidrólisis enzimática del almidón se describe mediante las ecuaciones 1, 2 y 3 (Suárez *et al.*, 2019):



Filtración y lavado

Se procede a separar el líquido (mosto) del sólido (afrecho). Esta separación se realiza en un colador metálico a través del cual fluye el mosto filtrado, siendo almacenado en un recipiente colector metálico. A la torta de afrecho acumulada en el colador se le realiza un lavado con agua a 75-78 °C con el fin de que continúen disolviéndose los azúcares contenidos en esta mezcla sólida. El líquido de lavado es recogido en el mismo recipiente donde se colectó el mosto durante el primer filtrado. El afrecho agotado es comercializado, mientras que el mosto contenido en el recipiente colector es bombeado de vuelta al macerador.

Preparación del sucro

En un recipiente aparte se agregan 10,5 kg de azúcar y 12 L de agua, los cuales son esterilizados a 100 °C por 25 minutos. Una vez concluida la esterilización, la mezcla resultante (sucro) es enfriada.

Cocción

Por medio de la cocción se produce la esterilización y concentración del mosto para que este sea suministrado libre de contaminación microbiana a la etapa de fermentación. En esta operación se logra la coagulación de las sustancias insolubles y la inactivación de las enzimas que hasta este momento siguen realizando su función. En esta etapa se adicionan 120 g de lúpulo amargo, 30 g de lúpulo aromático y los 12 L de sucro. La cocción se realiza durante 1 hora a una temperatura de 100 °C, tras lo cual se añade agua de proceso, previamente esterilizada, hasta completar 150 litros.

Sedimentación

Una vez finalizada la cocción del mosto, este es vertido en un tanque colector metálico y bombeado hacia un sedimentador tangencial (*whirlpool*) para separar la mayor cantidad de partículas sólidas en suspensión que contiene el mosto caliente, la cual está formada por compuestos tanino-proteicos, globulinas y otras partículas finas provenientes del sorgo, así como también del sucro. En este caso, debido a la fuerte rotación que se produce dentro del sedimentador se reúnen o agrupan los coágulos, los cuales se sedimentan y forman un cono de sustancias coaguladas en el fondo del sedimentador, separándose de esta forma las partículas coagulantes que están en suspensión del líquido clarificado. La mezcla sedimentada es enviada para consumo animal.

Por su parte, la segunda subetapa, es decir, el proceso en frío, tiene como objetivo crear un medio adecuado para la fermentación, lograr una fermentación acelerada y obtener un producto que cumpla con las normas de calidad establecidas. Las etapas incluidas en este proceso son:

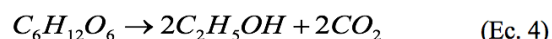
Enfriamiento

Se enfría el mosto contenido en el sedimentador hasta una temperatura de 30 °C, haciendo circular agua de enfriamiento por la chaqueta del equipo, la cual proviene de la torre de enfriamiento.

Inyección de la levadura y fermentación

Su objetivo es lograr una fermentación acelerada y una relación adecuada del microorganismo y la cantidad de mosto a fermentar, ocurriendo la transformación de los azúcares en el mosto en alcohol etílico y dióxido de carbono por acción de la levadura. Una vez que el mosto alcanza la temperatura de 30 °C en el sedimentador, este es bombeado hacia el reactor y, seguidamente, se inyecta la levadura. En el reactor, este compuesto es aireado con un botellón de oxígeno por espacio de una hora, aproximadamente. Toda esta operación se efectúa manteniendo la recirculación del medio fermentativo, lo que facilita la reacción en medio agitado, regulando la entrada del oxígeno necesario para el crecimiento y la propagación de la levadura.

La ecuación de fermentación alcohólica se muestra a continuación (ec. 4):



Una vez aireada, se procede a efectuar la fermentación anaerobia para producir la cerveza, proceso que se lleva a cabo a una temperatura de 12 °C. Diariamente se lleva a cabo un análisis de extracto y pH. Cuando el extracto llega a 5 °Brix se pasa a la etapa de maduración.

Maduración

En esta etapa la presión del fermentador aumenta hasta 0,8-0,9 kgf/cm² y la temperatura se mantiene entre 18-19 °C para saturar la cerveza de CO₂. El extracto debe ir disminuyendo paulatinamente al ser fermentado por la levadura. Así mismo, el pH debe disminuir hasta 3,5-3,8. Cuando el extracto se mantiene constante a un valor límite de fermentación se pasa a la etapa de enfriamiento en el fermentador.

Enfriamiento, extracción de la levadura y reposo de la cerveza

Durante esta etapa se enfría la cerveza hasta 0-2 °C para que precipite la levadura al fondo del fermentador. Esta operación tiene como objetivo separar el resto de la cosecha de levadura sedimentada en el fondo del reactor y eliminar proteínas coagulables, partículas insolubles y sustancias coloidales que no se hayan precipitado en el proceso de fermentación, favoreciendo así la formación de compuestos que apor-

tan el buqué característico de cada tipo de cerveza. En esta etapa, la mezcla se deja reposar por 24 horas y se comienza la extracción de la levadura. Posterior a la extracción se deja reposar por 12 horas. Durante esta operación se debe mantener la presión entre 0,8 y 0,9 kgf/cm² para saturar de CO₂ la cerveza.

Envasado

Una vez extraída la levadura (biomasa) y efectuada la maduración de la cerveza, esta es envasada en botellas de cristal de 350 mL de capacidad.

Simulación del proceso de producción en el simulador SuperPro Designer®

Se empleó el simulador profesional de procesos SuperPro Designer® v. 8.5 para simular el proceso de producción de cerveza a partir de sorgo rojo CIAP R-132, con el fin de aplicar las herramientas de balance de masa y energía, el diseño de equipamiento y los cálculos económicos del proceso bajo estudio (figura 2).

La simulación del proceso productivo en el simulador SuperPro Designer® permitió obtener valores y resultados de un gran número de parámetros técnicos y económicos de importancia para este proceso de producción, entre los cuales se puede mencionar VAN, TIR, PRI, costos fijos, capital de trabajo, costo unitario de producción, margen bruto y neto y porcentaje de retorno de la inversión.

Para efectuar la simulación se asumió un tiempo de construcción de planta de 15 meses, con 3 meses para realizar la arrancada y puesta en marcha. Se consideró un tiempo de vida del proyecto de 15 años, asumiendo que la planta producirá al 100 % durante todo su tiempo de vida. El VAN fue determinado asumiendo una tasa de interés de 11 % y un 32 % de impuestos por concepto de ingresos. El costo de validación y puesta en marcha se asumió como 15 % de los costos fijos directos (CFD), mientras que los costos asociados con el aseguramiento y control de la calidad se suponen como un 15 % del costo total de la mano de obra. Se asume además que no existe rechazo del producto principal (cerveza) por no cumplir con los parámetros de calidad exigidos, que se gastan alrededor de CUP 20.000 anuales para efectuar operaciones de validación del proceso de producción y que el costo relacionado con el tratamiento de residuales corresponde a 25 % del costo total de operación.

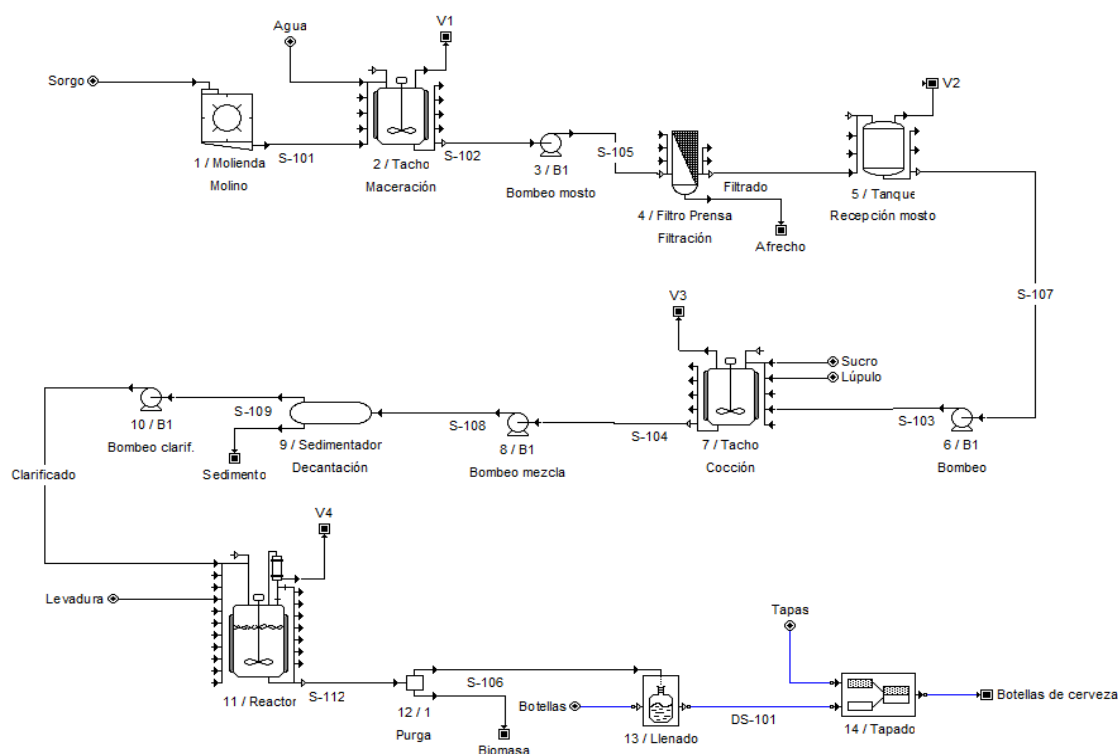


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de producción de cerveza a partir de sorgo rojo CIAP R-132 obtenido mediante el simulador SuperPro Designer®.
Fuente: elaboración propia.

La planta utiliza todos los servicios auxiliares comúnmente consumidos en un proceso de este tipo, es decir, agua de enfriamiento, glicol, electricidad y vapor de agua. Se asume además que la misma trabaja 11 meses al año, con 1 mes para acometer operaciones de mantenimiento y reparaciones de equipos y sistemas auxiliares. Se aplicó un salario nominal promedio de CUP 2,84/hora para los operarios que trabajan en la planta y CUP 5,00/hora para los supervisores y personal de dirección. La tabla 1 muestra los precios de las principales materias primas consumidas, los materiales utilizados, los servicios auxiliares empleados y los productos obtenidos durante el proceso productivo.

En la tabla 2 se muestran los costos de adquisición de cada equipo empleado en el proceso productivo, los cuales fueron tomados de varias fuentes y referencias bibliográficas (Perry & Green, 2008; Peters *et al.*, 2003; Towler & Sinnott, 2013; Sinnott & Towler, 2019). El producto final obtenido (cerveza) se envasará en botellas de cristal de 350 mL de capacidad.

Tabla 1. Precios de las principales materias primas, los servicios auxiliares y los productos obtenidos utilizados en la simulación del proceso productivo (cifras en pesos cubanos [CUP])

Compuesto	Precio	Unidad
Sorgo rojo CIAP R-132	14,05	CUP/kg
Agua	0,10	CUP/m ³
Lúpulo amargo	51,228	CUP/kg
Lúpulo aromático	65,31	CUP/kg
Azúcar crudo	356,15	CUP/t
Afrecho	60	CUP/t
Levadura	50	CUP/t
Agua de enfriamiento	0,05	CUP/t
Glicol	0,40	CUP/t
Vapor de agua	3,50	CUP/t
Electricidad	1,20	CUP/kWh
Botella 350 mL	0,306	CUP/Ud
Tapas	0,007	CUP/Ud
Cerveza envasada en botellas de 350 mL	24	CUP/botella

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Costo del equipamiento principal empleado en el proceso de producción de cerveza a partir de sorgo rojo CIAP R-132

Equipo	Características	Cantidad	Costo total (CUP)
Molino de discos	40 kg/h	1	10.200
Macerador	200 L	1	13.000
Filtro colador	25 m ²	1	3.000
Tanque recepción mosto	200 L	1	10.000
Sedimentador	200 L	1	14.300
Reactor	200 L	1	15.700
Bomba centrífuga sanitaria	3,5 kW	1	4.900
Total			71.100

Fuente: elaboración propia.

La tabla 3 muestra la composición química porcentual del sorgo y el lúpulo utilizados durante la simulación, datos obtenidos de Díaz (2014) y Pérez (2016), respectivamente. Por último, se escoge una capacidad promedio de producción de la planta de 150 litros de cerveza por lote.

Tabla 3. Composición química porcentual del sorgo y el lúpulo utilizados en la simulación

Componente	Sorgo (%)	Lúpulo (%)
Humedad	10,6	10,0
Almidón	69,3	-
Proteína	12,5	15,0
Grasa	3,4	-
Fibra	2,2	-
Cenizas	2,0	3,0
Resinas	-	15,0
Taninos	-	4,0
Alfa-ácidos	-	8,0
Lignina	-	45,0

Fuente: elaboración propia con base en Díaz (2014) y Pérez (2016).

Evaluación de la sensibilidad de los indicadores seleccionados

Considerando los resultados técnico-económicos obtenidos durante la simulación del proceso productivo a través del simulador SuperPro Designer®, se desarrolló un diseño de experimentos estadísticos del tipo

Superficie de Respuesta por medio del software estadístico Statgraphics Centurion® xvi para evaluar la influencia de tres variables iniciales o de entrada (capacidad de producción de cerveza por lote, costo de adquisición del sorgo rojo y precio de venta de la botella de cerveza) sobre tres importantes parámetros de salida de proceso: VAN, TIR y PRI. De esta manera, se llevará a cabo un estudio de sensibilidad de 3 entradas y 3 salidas.

Para elaborar el diseño de experimentos descrito, a los valores utilizados durante la simulación para las 3 variables iniciales consideradas se le aumentará o disminuirá 20 %. Lo anterior con el objetivo de tomar en cuenta posibles variaciones u oscilaciones de los valores que puedan presentar estas variables en el futuro y evaluar la potencial influencia tales fluctuaciones en los resultados de VAN, TIR y PRI para la planta propuesta.

Se elaboró un diseño de experimentos del tipo superficie de respuesta aleatorizado aplicando la opción "Box-Behnken Design", contenida en el paquete estadístico Statgraphics Centurion®, obteniendo inicialmente 30 corridas experimentales en total. Estas últimas fueron posteriormente optimizadas mediante la herramienta "D-Optimality", contenida en el propio software estadístico, con el objetivo de seleccionar aquellas corridas que presentan mayor influencia estadística sobre las 3 variables de salida tomadas en cuenta, así como también reducir la extensión del estudio de sensibilidad, llegando finalmente a 11 corridas experimentales. En la tabla 4 se muestran los valores que deben presentar cada una de las 3 variables de entrada tomando en cuenta el rango de $\pm 20\%$. Por su parte, la tabla 5 expone los valores que deberán presentar estos 3 parámetros dentro del diseño de experimentos optimizado que contiene las 11 corridas experimentales.

Tabla 4. Valores que deben presentar cada una de las 3 variables de entrada consideradas tomando en cuenta un rango de variación de $\pm 20\%$

Parámetro	Valor utilizado	Valor mínimo (- 20 %)	Valor máximo (+ 20 %)
Capacidad de producción (L/lote)	150	120	180
Costo de compra sorgo (CUP/kg)	14,05	11,24	16,86
Precio de venta cerveza (CUP/kg)	24	19,2	28,8

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Estudio de sensibilidad optimizado que contiene los valores a considerar de cada parámetro de entrada

Corrida	Capacidad de producción (L/lote)	Costo de compra sorgo (CUP/kg)	Precio de venta cerveza (CUP/botella)
1	180	11,24	28,8
2	180	11,24	19,2
3	180	16,86	19,2
4	120	16,86	19,2
5	120	16,86	28,8
6	180	11,24	19,2
7	120	16,86	19,2
8	120	11,24	28,8
9	180	16,86	28,8
10	120	16,86	19,2
11	120	11,24	19,2

Fuente: elaboración propia.

Evaluación de la correlación estadística existente entre las variables de entrada y los indicadores VAN, TIR y PRI

Una vez efectuado el estudio de sensibilidad, se procedió a realizar un análisis de la correlación estadística existente entre las tres variables de entrada consideradas y los tres parámetros económicos de salida evaluados, con el objetivo de obtener correlaciones o ecuaciones que describan, de forma cuantitativa, la relación estadística existente entre las variables de entrada y las de salida. Lo anterior se llevó a cabo utilizando la opción “Multiple Regression” contenida en el software estadístico Statgraphics Centurion® XVI.

Por último, se determinó la corrida (o escenario) con el resultado económico más positivo con respecto a los resultados de VAN, TIR y PRI obtenidos, así como también aquella con el resultado menos favorable.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Principales resultados técnico-económicos obtenidos durante la simulación del proceso de producción de cerveza a escala piloto

La tabla 6 presenta los principales indicadores técnicos y económicos obtenidos durante la simulación del proceso de producción de cerveza en el simulador SuperPro Designer®.

Tomando en cuenta los resultados mostrados en la tabla 6, para una planta con una inversión inicial de CUP 570 000, el proyecto se puede calificar como económicamente rentable y confiable desde el punto de vista inversionista, puesto que el PRI no es superior a 5 años (3,82 años), la TIR es mayor a 25 % (28,83 %) y el VAN presenta un resultado positivo (CUP 480 000), lo cual es un indicativo de rentabilidad de la inversión y ganancias positivas (Baca, 2010; Sinnott & Towler, 2019; Towler & Sinnott, 2013).

Estudios previos relacionados con la evaluación económica de plantas de producción de cerveza empleando sorgo como materia prima obtuvieron los resultados que se muestran a continuación. Carvajal (2014) dimensionó una planta piloto de producción de cerveza empleando sorgo blanco UDG-110 como materia prima, con una capacidad de producción de 100 L/día, obteniendo un costo total de la inversión de CUP 106.965,18, un costo total de producción de CUP 16.755,44/año, una ganancia anual de CUP 28.436,56, un VAN de CUP 75.410,73, una TIR de 24 % y un PRI de 5,5 años. Por su parte, Ortega (2016) diseñó una planta piloto de producción de cerveza de 100 L/día con sorgo blanco UDG-110 como materia prima principal, obteniendo como resultado un VAN de CUP 1.905.901,7, una TIR de 40 % y un PRI de cuatro años y seis meses. Por último, Pino (2017) efectuó el diseño de una planta de producción de cerveza con la misma variedad de sorgo y capacidad de producción, obteniendo los siguientes resultados: VAN de CUP 14.760.706,1, TIR de 250,1 % y PRI de 1 año.

Tabla 6. Principales indicadores técnico-económicos obtenidos durante la simulación del proceso de producción de cerveza en el simulador SuperPro Designer*

Indicador	Valor
Inversión total de capital (CUP)	570.000
Costo de operación (CUP/año)	187.000
Ganancias totales anuales (CUP/año)	351.000
Costo unitario de producción (CUP/botella)	12,82
Retorno de la inversión (CUP)	26,15
Periodo de retorno de la inversión (años)	3,82
Tasa interna de retorno (%)	28,83
Valor actual neto (CUP)	480.000
Costo total directo de la planta (CTDP)	
Costo de compra del equipamiento (CUP)	89.000
Instalación (CUP)	37.000
Tuberías (CUP)	31.000
Instrumentación (CUP)	36.000
Aislamiento (CUP)	3.000
Sistemas eléctricos (CUP)	9.000
Edificaciones (CUP)	40.000
Mejora de terreno (CUP)	13.000
Instalaciones auxiliares (CUP)	36.000
Total CTDP (CUP)	294.000
Costo total indirecto de la planta (CTIP)	
Ingeniería (CUP)	73.000
Construcción (CUP)	102.000
Pagos al contratista (CUP)	23.000
Contingencias (CUP)	47.000
Total CTIP (CUP)	245.000
Capital fijo directo (CFD) = CTDP + CTIP (CUP)	539.000
Otros	
Capital de Trabajo (CUP)	5.000
Costo de arrancada (CUP)	27.000
Producción anual de cerveza (botellas/año)	14.615
Ganancia bruta anual (CUP/año)	42.000
Ganancia neta anual (CUP/año)	76.000
Margen en bruto (%)	18,51 %
Gastos anual por salario (CUP/año)	39.000
Gasto anual por materia prima (CUP/año)	10.000
Gasto por material gastable (CUP/año)	32.000
Gasto anual por consumo de servicios auxiliares (CUP/año)	1.000
Tiempo del lote (h)	241,72 h
Número total de lotes/año	32 lotes/año

Fuente: elaboración propia.

La tabla 7 muestra el desglose de las principales materias primas y materiales consumidos por año y su

influencia porcentual en el costo total de producción.

Tabla 7. Consumo de materias primas y materiales, y su influencia porcentual en el costo de producción

Materia prima o material	Cantidad consumida anual	Costo anual (CUP)	%
Sorgo	638 kg	8.970	63,01
Agua	6 m ³	1	0,00
Sacarosa	336 kg	120	0,84
Lúpulo	5 kg	559	3,93
Levadura	5 kg	11	0,08
Botellas	14.615 Ud	4.472	31,42
Tapas	14.615 Ud	102	0,72

Fuente: elaboración propia.

Evaluación del estudio de sensibilidad efectuado con respecto a las variables iniciales seleccionadas

La tabla 8 muestra los resultados del estudio de sensibilidad efectuado para las 11 corridas consideradas.

Tabla 8. Resultados obtenidos para cada una de las corridas experimentales incluidas en el estudio de sensibilidad efectuado

Corrida	VAN (CUP)	TIR (%)	PRI (años)
1	941.283	33,67	3,15
2	216.285	11,48	5,46
3	197.542	11,17	5,57
4	-44.451	5,70	7,67
5	426.759	17,58	4,02
6	216.285	11,48	5,46
7	-44.451	5,70	7,67
8	439.254	17,89	3,97
9	922.540	32,36	3,28
10	-44.451	5,70	7,67
11	-31.018	6,02	7,49

Fuente: elaboración propia.

Un análisis de la información en la tabla 8 permite establecer que la corrida n.° 1 presenta el escenario económico más optimista y positivo en cuanto a los mayores valores de VAN y TIR y el menor valor de PRI, con CUP 941.283, 33,67 % y 3,15 años, respectivamente. Esto se debe a que esta corrida presenta la mayor capacidad de producción (180 L/lote) con el mayor precio de venta de la cerveza (CUP 28,8/botella), así como el menor costo de compra del sorgo rojo (CUP 11,24/kg); es decir, se produce a la mayor capacidad

de producción posible adquiriendo la principal materia prima consumida en el proceso (sorgo rojo) al menor precio de compra posible y vendiendo el principal producto obtenido (botella de cerveza) al mayor costo de venta posible, lo cual influye positivamente en la rentabilidad global del proceso productivo.

Por otro lado, las corridas n.° 4, 7 y 10 presentaron el peor escenario económico, con un VAN de CUP -44.451, una TIR de 5,70 % y un PRI de 7,67 años. Lo anterior se debe a que en las mismas se tiene el mayor costo de compra del sorgo (CUP 16,86/kg), así como el menor precio de venta de la cerveza (CUP 19,2/botella) para la menor capacidad de producción posible de la planta (120 L/lote).

Vale destacar que la corrida 11 también presentó resultados negativos con respecto a los valores de VAN (CUP -31.018), TIR (6,02 %) y PRI (7,49), lo cual se debe a que esta corrida presenta la menor capacidad de producción de cerveza posible (120 L/lote) y el menor precio de venta de la cerveza (CUP 19,2/botella).

Resultados obtenidos con respecto a la correlación estadística existente entre las tres variables de entrada y los indicadores VAN, TIR Y PRI

Al evaluar la correlación estadística existente entre las tres variables de entrada consideradas (capacidad de producción de cerveza por lote, costo de adquisición del sorgo rojo y precio de venta de la botella de cerveza) sobre tres indicadores económicos importantes del proceso (VAN, TIR y PRI), se obtuvo una ecuación multifactorial para cada uno de los tres indicadores evaluados, las cuales se muestran a continuación.

La figura 3 muestra el diagrama de Gantt obtenido mediante el empleo del simulador SuperPro Designer®.

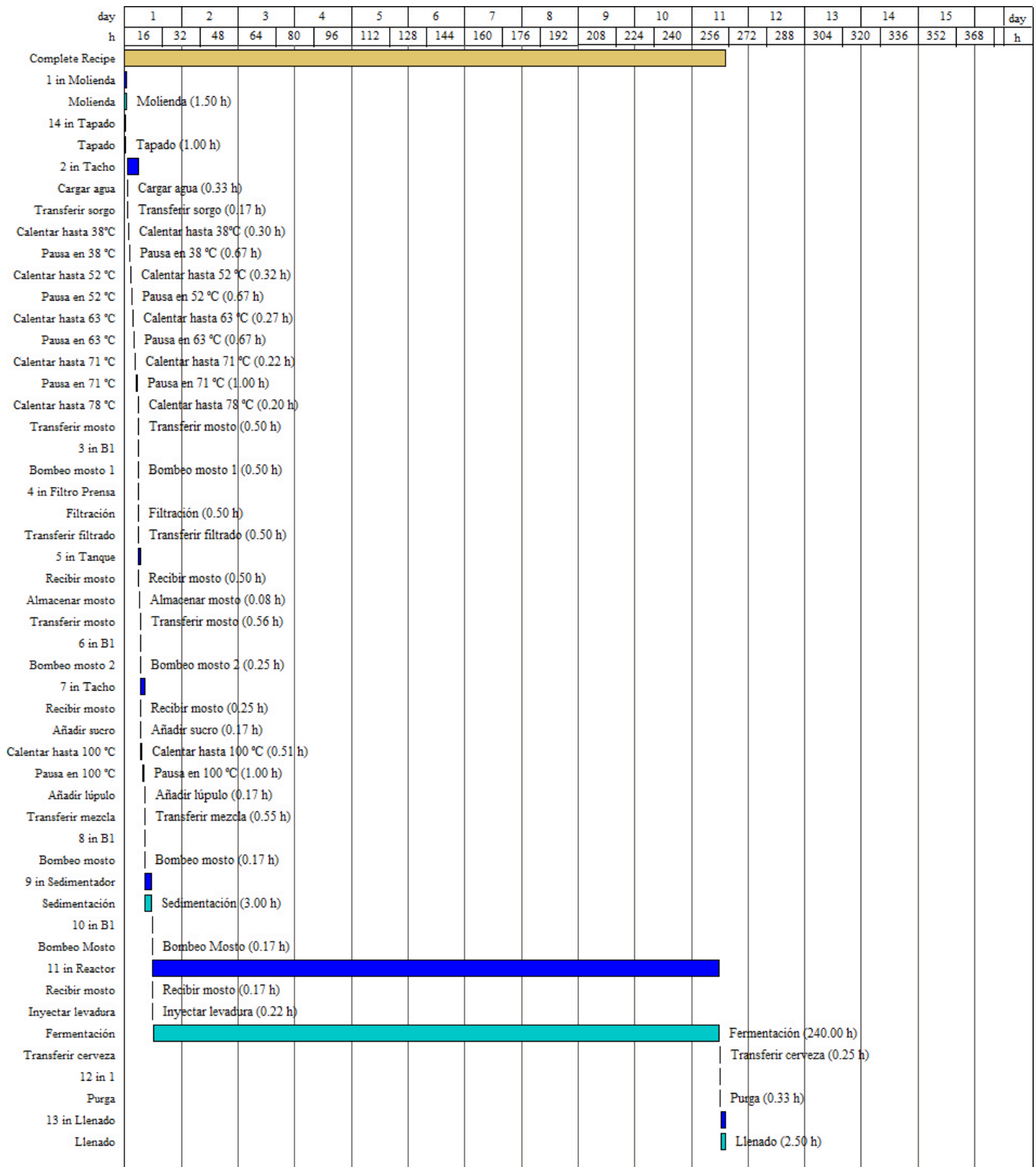


Figura 3. Diagrama de Gantt del proceso de producción de cerveza a partir de sorgo rojo CIAP R-132
Fuente: elaboración propia mediante el simulador SuperPro Designer®.

Valor actual neto (VAN)

$$VAN = -1,84541E6 + 5331,67 * c + 890,517 * cs + 59569,7 * PC$$

Tasa interna de retorno (TIR) [T3]

$$TIR = -28,7312 + 0,0931736 * c - 0,0498962 * cs + 1,25282 * PC$$

Período de recuperación de la inversión (PRI)

$$PRI = 15,9756 - 0,0264757 * c + 0,0415555 * cs - 0,312782 * PC$$

Donde:

c = Capacidad

cs = Costo de compra de sorgo

PC = Precio de venta de la cerveza

La tabla 9 muestra los resultados estadísticos obtenidos para cada uno de los indicadores económicos incluidos en el estudio de correlación estadística efectuado.

Tabla 9. Resultados estadísticos obtenidos durante el estudio de correlación estadística realizado

Parámetro	VAN	TIR	PRI
R-cuadrada (%)	97,7517	99,9114	98,0787
R-cuadrado (ajustado para g.l.)	96,7882	99,8734	94,3981
Error estándar	501137	1,1411	1,3807
Error absoluto medio	389393	0,8350	0,9592
Estadístico Durbin-Watson	2,1785 (P = 0,6812)	2,2796 (P = 0,7439)	1,9050 (P = 0,4904)
Autocorrelación de residuos en retraso 1	-0,1778	-0,2032	-0,0050

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

El proceso de producción de cerveza a partir de sorgo rojo CIAP R-132 a escala piloto (150 L/lote) puede considerarse de rentable desde el punto de vista técnico y económico considerando los valores de VAN (CUP 480.000), TIR (28,83 %) y PRI (3,82 años) obtenidos en este trabajo.

La corrida que mejor escenario económico presentó durante el estudio de sensibilidad efectuado fue la n.º 1, con una VAN = CUP 941.283, una TIR = 33,67 % y un PRI = 3,15 años, mientras que las de peor resultado económico fueron las n.º 4, 7 y 10, con un VAN = CUP -44.451, TIR = 5,70 % y PRI = 7,67 años.

Se obtuvieron correlaciones estadísticas que permiten relacionar cuantitativamente los indicadores VAN, TIR y PRI con tres parámetros iniciales del proceso productivo: (i) capacidad de producción de cerveza por lote, (ii) costo de adquisición del sorgo rojo y (iii) precio de venta de la botella de cerveza.

REFERENCIAS

Aguiar, A. C. D. Osorio-Tobón, J. F., & Silva, L. P. S. (2018). Economic analysis of oleoresin production from malagueta peppers (*Capsicum frutescens*) by supercritical fluid extraction. *The Journal of Supercritical Fluids*, 133, 86-93. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2017.09.031>

Alfonso, H. M. (2018). *Estudio preliminar del proceso de obtención de cerveza a partir de sorgo rojo CIAP R-132 a escala de laboratorio* (tesis de diploma, Universidad de Camagüey, Cuba). Repositorio Universidad de Camagüey.

Auli, N. A., Sakinah, M., Bakri, A. M. M. A., Kamarudin, H., & Norazian, M. N. (2013). Simulation of xylitol production: A review. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(5), 366-372.

Baca, G. (2010). *Evaluación de proyectos* (6.ª ed.). McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V.

Carvajal, N. (2014). *Perfeccionamiento del proceso de producción de cerveza a partir de malta de sorgo*

- (tesis de diploma, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba). Repositorio Universidad Central Marta Abreu de las Villas.
- Csighy, A., András, K., & Vatai, G. (2017). Modelling the partial demineralization process of cow milk by SuperPro Designer. *Hungarian Journal of Industry And Chemistry*, 45(2), 9-12. <https://doi.org/10.1515/hjic-2017-0013>
- Díaz, Y. (2014). *Perfeccionamiento del proceso de malteado de sorgo para la producción de maltinas para enfermos celíacos* (tesis de diploma, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba). Repositorio Universidad Central Marta Abreu de las Villas.
- Ernst, S., Garro, O. A., Winkler, S., Venkataraman, G., Langer, R., Cooney, C. L., & Sasisekharan, R. (1997). Process simulation for recombinant protein production: cost estimation and sensitivity analysis for heparinase I expressed in *Escherichia coli*. *Biotechnology and Bioengineering*, 53(6), 575-582. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0290\(19970320\)53:6<575::AID-BIT5>3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0290(19970320)53:6<575::AID-BIT5>3.0.CO;2-J)
- Gallardo, I., Boffill, Y., Ozuna, Y., Gómez, O., Pérez, M., & Saucedo, O. (2013). Producción de bebidas usando sorgo malteado como materia prima para enfermos celíacos. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 4(1), 61-73.
- Gallardo, I., Rodríguez, L., Boffill, Y., Alemán, L., & Pérez, M. (2011). Producción de bioetanol empleando las enzimas generadas del sorgo malteado. *Afinidad*, 68(552), 144-149.
- Govindarajan, D. K., Meganathan, Y., Udayakumar, G. P., & Kothandan, R. (2019). Techno-economic analysis for the production of ethanol from *Ipomoea batatas* (sweet potato). *American International Journal of Research in Science, Technology, Engineering & Mathematics*, February, 13-24.
- Ibrahim, N. H., Ibrahim, W. H. W., Sakinah, A. M. M., Harun, N., & Othman, M. R. (2020). Sensitivity analysis of xylose production process using aspen plus. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 736, 1-9. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/736/2/022110>
- Lam, K. F., Leung, C. C. J., Lei, H. M., & Lin, C. S. K. (2014). Economic feasibility of a pilot-scale fermentative succinic acid production from bakery wastes. *Food and Bioproducts Processing*, 92, 282-290. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2013.09.001>
- Mani, S., Sundaram, J., & Das, K. C. (2016). Process simulation and modeling: Anaerobic digestion of complex organic matter. *Biomass and Bioenergy*, 93, 158-167. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.07.018>
- Nieblas, C., Gallardo, I., Rodríguez, L., Carvajal, N., González, J. F., & Pérez, M. (2016). Obtención de bebidas y otros productos alimenticios a partir de dos variedades de sorgo. *Centro Azúcar*, 43(3), 66-77.
- Ortega, M. (2016). *Producción de cerveza empleando integralmente el grano de sorgo* (tesis de diploma, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba). Repositorio Universidad Central Marta Abreu de las Villas.
- Pérez, E. J. (2016). *Simulación del proceso de producción de cerveza a escala piloto* (tesis de diploma, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba). Repositorio Universidad Central Marta Abreu de las Villas.
- Perry, R. H., & Green, D. W. (2008). *Chemical Engineers' Handbook* (8.ª ed.). McGraw-Hill.
- Peters, M. S., Timmerhaus, K. D., & West, R. E. (2003). *Plant design and economics for chemical engineers* (5.ª ed.). McGraw-Hill.
- Pino, M. S. (2017). *Tecnología para la producción de cerveza a partir de malta de sorgo para enfermos celíacos* (tesis de diploma, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba). Repositorio Universidad Central Marta Abreu de las Villas.
- Ramatoulaye, F., Mady, C., Fallou, S., Amadou, K., Cyril, D., & Massamba, D. (2016). Production and use of sorghum: A literature review. *Journal of Nutritional Health & Food Science*, 4(1), 1-4. <https://doi.org/10.15226/jnhfs.2016.00157>
- Rao, S. R. (2005). *Biomass to ethanol: process simulation, validation and sensitivity analysis*

of a gasifier and a bioreactor (tesis de maestría, Oklahoma State University). SHAREOK Repository.

Razi, N., Svendsen, H. F., & Bolland, O. (2013). Cost and energy sensitivity analysis of absorber design in CO₂ capture with MEA. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 10, 331-339. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2013.09.008>

Rodríguez, L., Gallardo, I., Nieblas, C., Medina, J., & Ortiz, W. (2015). Obtención de jarabes dextrinizados mediante hidrólisis enzimática del almidón de sorgo. *Centro Azúcar*, 42(4), 49-58.

Rodríguez, L., Gallardo, I., Nieblas, C., & Ortiz, W. (2015). Evaluación de dos variedades de sorgo para la obtención de almidón. *Centro Azúcar*, 42(1), 88-95.

Sayar, N. A., Pinar, O., Kazan, D., & Sayar, A. A. (2019). Bioethanol production from Turkish hazelnut husk process design and economic evaluation.

Waste Biomass Valor, 10, 909-923. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-0103-y>

Sinnott, R., & Towler, G. (2019). *Chemical Engineering Design* (6.^a ed., vol. 6). Elsevier Butterworth-Heinemann.

Suárez, V. D., López, I., & Álvarez, M. (2019). Estimación de la producción de biogás a partir de un modelo de simulación de procesos. *Centro Azúcar*, 46(1), 73-85.

Tang, Z.-C., Zhenzhou, L., Zhiwen, L., & Ningcong, X. (2015). Uncertainty analysis and global sensitivity analysis of techno-economic assessments for biodiesel production. *Bioresource Technology*, 175, 502-508. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.10.162>

Towler, G., & Sinnott, R. (2013). *Chemical Engineering Design: Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design* (2.^a ed.). Elsevier Ltd.

Análisis de la generación de GEI en la cuenca del río Bogotá (Colombia) y un panorama comparativo entre las cuencas de las capitales de México y Perú

Analysis of GHG Generation in the Bogotá River Basin (Colombia) and Comparative Panorama with the Basins of the Capital Cities of Mexico and Peru

Diana Lucía Cristancho Montenegro^{ab}, Jessica Estefanía Rojas Bernal^a,
Juliana Bohórquez Mesa^a y María Fernanda Dueñas Escudero^{ac}

^a Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Universidad Central, Colombia

^b inge.dianacristancho26@gmail.com <https://orcid.org/0000-0001-7417-2583>

^c <https://orcid.org/0000-0001-9917-2504>

RESUMEN

Este trabajo consiste en una revisión sistemática sobre el impacto de las actividades económicas, las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y los factores climáticos (temperatura y precipitación) en la emisión de gases efecto invernadero (GEI), enfocándose primero en la cuenca del río Bogotá y posteriormente realizando un análisis comparativo con las cuencas del Valle de México (México) y el río Rímac (Perú). Debido a que la principal contaminación de las cuencas está dada por descargas de aguas residuales, se han implementado las PTAR para su mitigación. En esta investigación se presenta, el diagnóstico del estado actual de las (PTAR), y un análisis de los factores climatológicos y meteorológicos, además de las posibles afectaciones a nivel salud, aplican-

do la metodología del IPCC de 2006. En el caso de la cuenca del río Bogotá, la mayor generación de GEI corresponde a CH₄ (82,163 %) y N₂O (76,059 %), siendo la cuenca media la que reporta mayores impactos, así: tratamiento mixto (45,1 %) con mayor influencia del cambio climático, actividades económicas industriales con alto impacto (70,17 %), factores climáticos como bajas temperaturas y precipitación media. De las cuencas del Valle de México, la cuenca baja reporta mayor impacto, así: tratamiento aerobio (62,11 %), actividades económicas comerciales (56,10 %), factores climáticos con una preferencia de temperatura y precipitaciones altas. De la cuenca del río Rímac, en Perú, la cuenca media reporta mayor impacto, así: tratamiento mixto (49,4 %), actividades económicas

Citation: Cristancho-Montenegro, D. L., Rojas-Bernal, J. E., Bohórquez-Mesa, J. y Dueñas-Escudero, M. F. (2020). Análisis de la generación de GEI en la cuenca del río Bogotá (Colombia) y un panorama comparativo entre las cuencas de las capitales de México y Perú. *Mutis*, 10(2), 25-36. <https://doi.org/10.21789/22561498.1674>

Recibido: Febrero 26, 2020. **Aceptado:** Junio 15, 2020.

Copyright: ©2020. Cristancho-Montenegro, D. L., Rojas-Bernal, J. E., Bohórquez-Mesa, J. y Dueñas-Escudero, M. F. (2020). This is an open-access article, which permits unrestricted use, distributions and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Competing Interests: The authors have no conflict of interest.



comerciales (59,2 %) y factores climáticos como precipitaciones y temperaturas altas. La validación de los datos anteriores fue confirmada con el inventario nacional de GEI reportado por cada país, evidenciando que el tratamiento, el tipo de actividad económica y el clima son factores que influyen en la generación de GEI. Además, se encontró que las enfermedades cardiovasculares son las afectaciones más recurrentes ocasionadas por la emisión de GEI.

Palabras clave: GEI, cuenca, tratamiento de aguas residuales, actividades económicas.

ABSTRACT

This study consists of a systematic review on the impacts generated by economic activities, wastewater treatment plants (WWTPs) processes, and climatic factors (temperature and precipitation) on greenhouse gases (GHG) emissions, focusing first on the Bogotá River Basin and, subsequently, conducting a comparative analysis with Valle de México (Mexico) and Rímac River (Peru) basins. Since the main pollution source of the basins is wastewater discharges, WWTPs have been implemented for mitigation. This research presents the diagnosis of the current state of WWTPs, an analysis of climatological and meteorological factors, in addition to the possible health effects, applying the 2006 IPCC methodology. In the case of the Bogotá River Basin, the largest generation of GHGs comes from CH₄ (82.163%) and N₂O (76.059%), being its middle basin the most affected, according to results: mixed treatment (45.1%) with great influence on climate change; economic industrial activities with high impact (70.17%); and climatic factors such as low temperatures and average rainfall generating high concentration of GHG. In regard to the Valley of Mexico basins, the lower basin shows greater impact, as follows: aerobic treatment (62.11%), economic trading activities (56.10%), and high temperatures and rainfall. From the Rímac River Basin, in Peru, the middle basin reports greater impact, as follows: mixed treatment (49.4%), economic trading activities (59.2%), and climatic factors such as rainfall and high temperatures. The validation of the previous data was confirmed via the national GHG inventory reported by each country, showing that the treatment used, the type of economic activity and climate are variables that affect GHG emissions. It was also found that cardiovascular diseases are the most recurrent health issues caused by GHG emissions.

Keywords: GHG, basin, wastewater treatment, economic activities.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la calidad del recurso hídrico es un factor de gran importancia para la conservación de los ecosistemas y el desarrollo de la vida, en especial la vida humana. Las actividades antropológicas necesarias para el desarrollo de la humanidad y un sin número de necesidades relacionadas han generado una gran problemática ambiental respecto a la contaminación de los cuerpos de agua receptores y la calidad del aire, situación que afecta de alguna manera la calidad de los ecosistemas y la vida de las comunidades.

Según la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento de Perú:

La descarga directa sin tratamiento previo de las aguas residuales en los cuerpos receptores es uno de los principales factores de contaminación, no solo de los diversos ecosistemas existentes sino

de las actuales fuentes de agua, lo que amenaza la sostenibilidad del recurso y pone en riesgo la salud de la población. Sumando a la enorme cantidad de gases de invernadero que se emiten a la atmósfera, y el problema que esto supone para el medio ambiente, se hace necesario tomar medidas para su reducción (Superservicios, 2017).

La mayoría de las cuencas a nivel mundial presentan condiciones desfavorables en la calidad del agua, por lo tanto, como parte de un intento por mejorar la calidad del agua y su conservación, se han implementado planes de saneamiento como las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), las cuales se encuentran distribuidas en estas (DNP, 2002). Así mismo, el aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) despierta un creciente interés en el sector del agua debido al impacto del cambio climático sobre la disponibilidad del recurso hídrico en algunas áreas (Barbu *et al.*, 2017; Blanco *et al.* 2014; Delga-

do *et al.*, 2014). En cuanto a los procesos en las PTAR, Lizarazo-Becerra y Orjuela-Gutiérrez (2013, p. 19) afirman que:

La temperatura del agua residual es mayor que la del agua potable, esta varía entre 10 y 20 °C debido a que se añade calor al agua en los sistemas de plomería de las edificaciones, lo que genera gran cantidad de gases a la atmósfera.

De acuerdo con investigaciones relacionadas y estudios de impacto ambiental, entre otras investigaciones, autores como Parra *et al.* (2010, p. 87) afirman que: “En general, las PTAR producen la mayor cantidad de gases de CH₄ y CO₂, las cuales corresponden a las fuentes más importantes de emisión de GEI”. A partir de lo anterior, surgen como preguntas de esta investigación los siguientes interrogantes: ¿qué tan influyentes son los factores climáticos y meteorológicos en el aumento de la concentración de GEI en las cuencas de estudio? y “¿qué tan significativas son las actividades económicas y la densidad poblacional en las áreas donde más se generan GEI?”

Se debe tener en cuenta que el proceso de tratamiento de aguas residuales genera emisiones de GEI que, en una u otra medida, influyen en el cambio climático y las condiciones ambientales. Por ello, es necesario realizar una revisión sistemática sobre el estado actual de las PTAR en las cuencas objeto de estudio y analizar su posible impacto ambiental en cuanto a la generación de GEI, respondiendo así al objetivo principal de la presente investigación que es: “Realizar un análisis multidimensional de los procesos de tratamiento de aguas residuales municipales aplicables en los países en desarrollo, considerando diversos factores climáticos”. Mediante la actualización, localización y complemento del diagnóstico del estado actual de las PTAR en la cuenca del río Bogotá (Colombia), con base en la metodología propuesta por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), análogamente se realizará un comparativo de las PTAR de la cuenca del Valle de México (México) y la cuenca del río Rímac (Perú). Además, se estudiará el impacto de algunas actividades económicas y los factores climáticos temperatura y precipitación sobre la emisión de GEI.

MATERIALES Y MÉTODOS

Áreas de estudio

La cuenca del río Bogotá se localiza en el departamento de Cundinamarca (Colombia) y tiene una superficie total de 5.89 km², que corresponden a cerca del 32 % del total de la superficie departamental (CAR, 2006; IDEAM & PNUD, 2016). Esta cuenca cuenta con 63 PTAR (CAR, 2010).

De otro lado, según Rodríguez-Tapia y Morales-Novelo (2013) y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático de México (INECC, 2018), la cuenca del Valle de México se ubica dentro de tres entidades federativas (México, Hidalgo y Tlaxcala), considerando 85 municipios, y cuenta con una superficie de 9.738 km². De acuerdo con cifras de la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, la cuenca registra un total de 227 PTAR (Sedema, 2015).

Por su parte, la cuenca del río Rímac se ubica en la vertiente del Pacífico, enmarcándose en las provincias de Lima, Huarochirí y Yauli, ocupando un área de 3.503,95 km², de los cuales 2.302 km² corresponden a la cuenca húmeda (Astorayme *et al.*, 2016). Según el Observatorio del Agua Chillón Rímac Lurín (2017), la cuenca cuenta con 77 PTAR.

Depuración y clasificación de la información recolectada

Con base en la información presentada en el apartado anterior, y siendo el objetivo de esta investigación, se identificó la localización de las PTAR a lo largo de las cuencas objeto de estudio, teniendo en cuenta la información disponible (estado actual, población, tipo de sistema, caudal de tratamiento y parámetros físico-químicos), como se observa en la figura 1.

De acuerdo con datos suministrados por los entes de control colombianos, se identificó que 45,1 % de las PTAR realizan un tratamiento mixto de aguas, 39,2 % ejecutan tratamiento aerobio y 15,6 % tratamiento anaerobio. Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), la temperatura media anual de la cuenca se encuentra entre 12,8 y 27,8 °C y su precipitación entre 599 y 1.700 mm anuales. Además, en esta habitan 1.297.752 personas y se presenta un acumulado de actividades

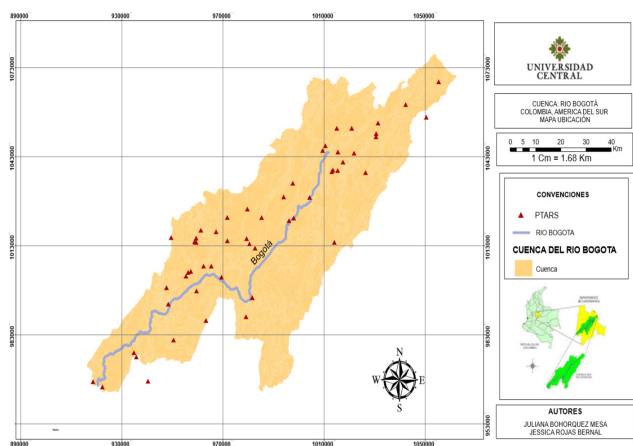


Figura 1. Inventario de PTAR en la cuenca del río Bogotá.
Fuente: elaboración propia con base en USTA (2017) y CAR (2012).

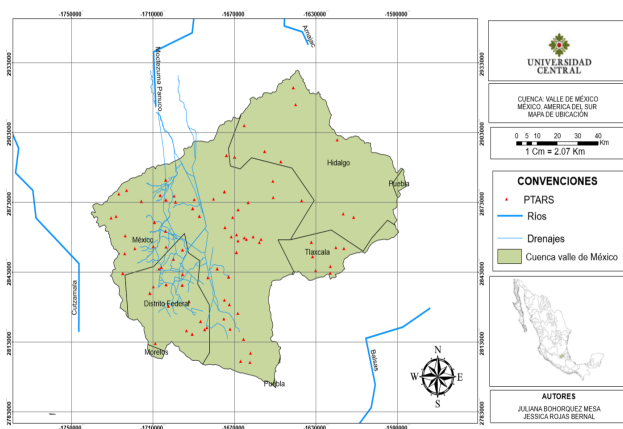


Figura 2. Inventario de PTAR en la cuenca de Valle de México.
Fuente: elaboración propia con datos de Conagua (2015) e INECC (2018).

económicas como industria (70,17 %), agricultura (16,68 %) y comercio (13,15 %), según datos de la Corporación Autónoma Regional (CAR) de Cundinamarca (2012), Vivid Economics (2015) y Gil-Gómez (2014).

Por otro lado, la figura 2 muestra las 227 PTAR existentes a lo largo de la cuenca del Valle de México, con base en información del compendio federal y la Comisión Nacional del Agua de México (Conagua). Del total de estas PTAR, 62,11 % realiza tratamiento aerobio, 22,02 % tratamiento mixto y 11,89 % tratamiento anaerobio. La temperatura promedio más alta en la cuenca del Valle de México es de 24.5 °C y la precipitación promedio más alta de 1.600 mm. El acumulado de la actividad económica en esta región corresponde a comercio (56,10 %), agricultura (26,07 %) e industria (17,82 %) (Sedema, 2015; INECC, 2018).

En el caso del río Rímac, la figura 3 permite evidenciar la ubicación de 77 PTAR a lo largo de la cuenca de este cuerpo de agua. A partir de un diagnóstico realizado por la Sunass, se identifica que 49,4 % de estas PTAR realiza tratamiento mixto, 42,8 % tratamiento aerobio y el 7,8 % restante ejecuta tratamiento anaerobio. La temperatura promedio en esta cuenca es de 14,24 a 19,42 °C y la precipitación promedio de 826,7 mm. En cuanto al acumulado de actividades económicas, el comercio se ubica en el primer lugar (59,2 %), seguido de la agricultura (22,4 %) y la industria (14,3 %), según cifras del Proyecto Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático (CMNUCC, 2009) y Calla-Llontop y Cabrera-Carranza (2010).

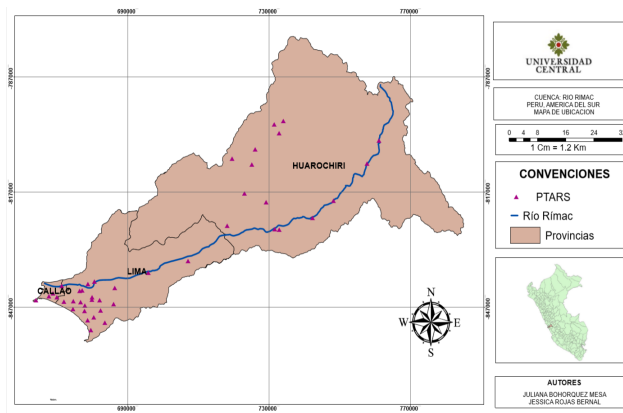


Figura 3. Inventario de PTAR en la cuenca del río Rímac.
Fuente: elaboración propia con base en Observatorio del Agua Chillón Rímac Lurín (2017) y Sunass (2017).

El análisis de los factores climatológicos y meteorológicos influyentes en los procesos desarrollados en las PTAR de las cuencas analizadas y las emisiones de GEI derivadas de ello se lleva a cabo teniendo en cuenta información suministrada por artículos de revisión y cifras de entidades meteorológicas con respecto al área de análisis. A partir del análisis de los factores climáticos precipitación y temperatura se identifican las emisiones de GEI que generan mayor impacto al ambiente.

Para la evaluación de la generación de GEI en las PTAR de Colombia se tomó como referencia el método propuesto por el IPCC en 2017. Para ello, se debe tener en cuenta que los procesos ejecutados por las PTAR pueden generar CH₄ y N₂O, los cuales tienen un potencial de calentamiento global 21 y 310 veces superior al del CO₂, respectivamente. Según la meto-

dología del IPCC (Grillenwater *et al.*, 2008), el CO₂ no debe considerarse en esta ecuación por ser un compuesto de origen biogénico, es decir, el carbono vuelve a la atmósfera de la misma forma en que hubiera ocurrido naturalmente (Nolasco, 2010). En el caso de las PTAR estudiadas en México y Perú no

se consideraron las directrices del IPCC, sino que se tuvo en cuenta el inventario nacional de cada país. En una próxima fase de estudio deberá ejecutarse con mayor profundidad un análisis a la luz de dichas directrices, lo cual no hace parte del alcance del presente trabajo.

RESULTADOS

Evaluación del número de PTAR y tipos de sistemas de tratamiento en cada cuenca

Colombia

La figura 4 permite identificar que los municipios con mayores emisiones de GEI en la cuenca media del río Bogotá son Bogotá y Soacha, mientras que en su cuenca baja son Girardot y Granada, y en el caso de la cuenca alta Chía y Zipaquirá. Estos municipios corresponden a aquellos que registran un gran número de habitantes. En la figura 5 se relacionan las emisiones de GEI de acuerdo con el sistema de tratamiento empleado en las PTAR evaluadas en la cuenca del río Bogotá.

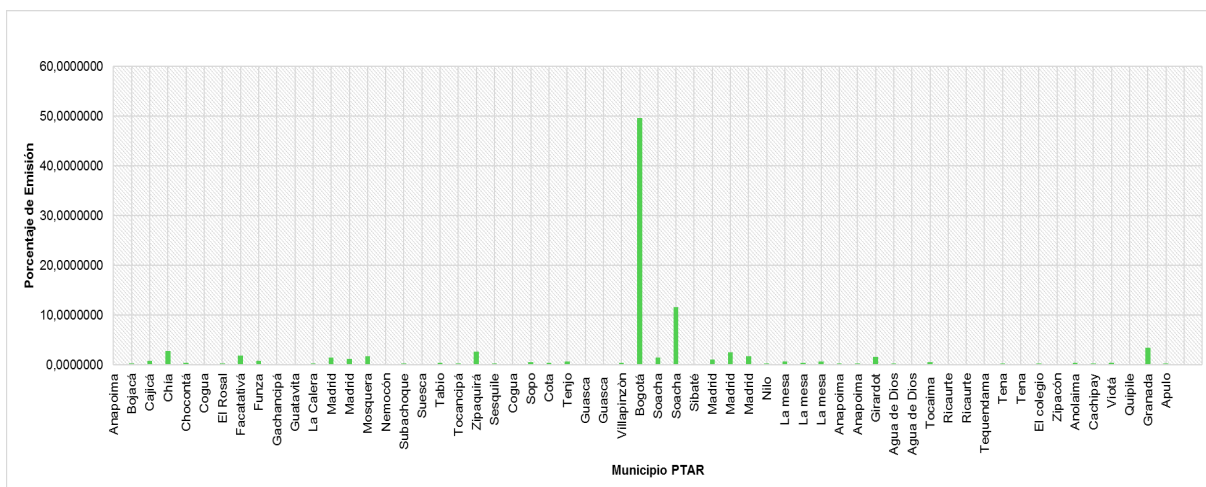


Figura 4. Resultados de GEI en la cuenca del río Bogotá.
Fuente: elaboración propia con base en CAR (2018).

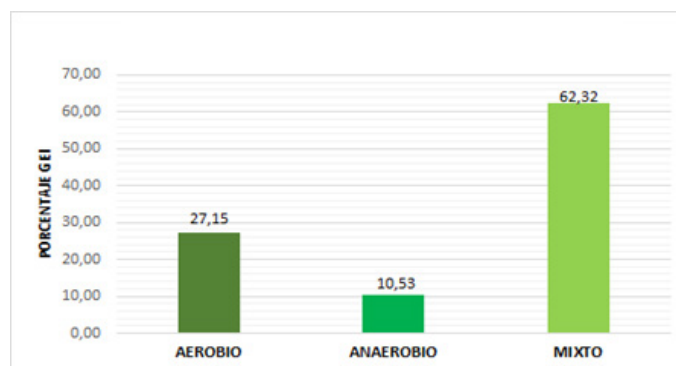


Figura 5. Resultados de porcentaje de GEI.
Fuente: elaboración propia con base en Ashrafi *et al.* (2013), CAR (2018), IDEAM y PNUD (2016), Meneses y Hernández (2004) y Pan *et al.* (2011).

Con respecto al porcentaje de emisiones de GEI en las PTAR analizadas según el sistema de tratamiento implementado en cada municipio, se obtuvo que las plantas con tratamiento mixto registran mayores emisiones de GEI (62,32 %), siendo el tipo de tratamiento más utilizado con tecnología de lagunas de estabilización. Por su parte, las plantas con tratamiento anaerobio son las que menos emisiones generan (10,53 %), con lagunas UASB. Por último, en el tratamiento aerobio la tecnología predominante son los sistema de aireadores. La figura 6 muestra la relación de GEI con respecto al tipo de tratamiento de aguas residuales.

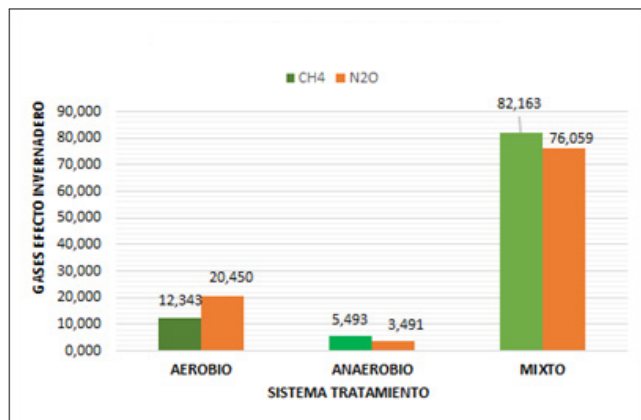


Figura 6. Resultados de GEI según el sistema de tratamiento empleado
 Fuente: elaboración propia con base en CAR (2018), EPA (2010), El-Fadel y Massoud (2001), Kyung *et al.* (2015), Molinos-Senante y Guzmán (2018) y Mouri *et al.* (2013).

Teniendo en cuenta que, bajo ciertas condiciones, durante el tratamiento biológico de aguas residuales se genera metano y óxido nitroso, la figura 5 permite identificar que el GEI de mayor emisión en el sistema de tratamiento anaerobio y el sistema mixto es el metano (5,493 y 82,163 %, respectivamente). Esto puede deberse a que un proceso anaeróbico no requiere suministro de oxígeno (con un consumo energético mucho menor) y genera una cantidad de lodos considerablemente menor. Así mismo, este proceso permite la obtención de metano como producto de la degradación de la materia orgánica, el cual puede ser utilizado con fines energéticos. Por otro lado, se evidencia que el sistema aerobio presenta altos niveles de NO₂ (20,450 %).

Análisis de dispersión de GEI en la cuenca del río Bogotá

A continuación se presenta el mapa de dispersión de GEI en la cuenca del río Bogotá a partir de las emisiones de las PTAR objeto de estudio (figura 7).

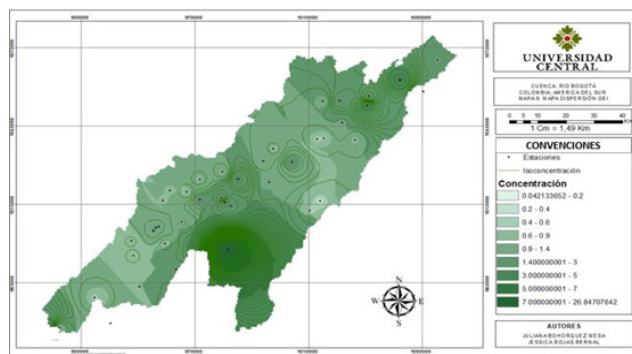


Figura 7. Mapa de dispersión de GEI en la cuenca del río Bogotá
 Fuente: elaboración propia con base en CAR (2018).

Como se aprecia en la figura 7, la contaminación por GEI es mayor en las cuencas media y alta, lo cual se debe a que la principal zona industrial, ganadera y agrícola del departamento de Cundinamarca se encuentra ubicada en estas dos cuencas. Adicionalmente, la población de los municipios aledaños tiende a crecer rápidamente, lo cual afecta a las PTAR de la región, puesto que a mayor concentración de población mayor es el volumen de materia orgánica que debe ser tratado y, por ende, mayor generación y emisiones de GEI.

México

En la cuenca del Valle de México existen 227 PTAR, 141 con tratamiento aerobio (62,11 %), 50 con tratamiento mixto (22,02 %) y 27 con tratamiento anaerobio (11,89 %) (Conagua, 2010; Magallón-Andalón, 2007), de manera que los sistemas de tratamiento más utilizados son lodos activados, las lagunas de estabilización y RAFA o WASB, como se muestra en la figura 8.

Inventario nacional de emisión de GEI

Según cifras del INECC (2015), el 71,11 % de las emisiones de GEI en México resultan de la producción de energía, 7,74 % de procesos industriales, 14,59 % de actividades agrícolas, silvicultura y uso del suelo, y 5 % son ocasionadas por la generación de residuos.

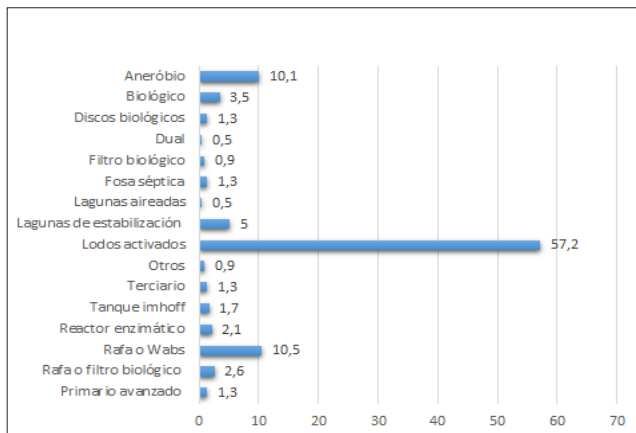


Figura 8. Número de PTAR y tipo de proceso empleado en México
Fuente: elaboración propia con base en Conagua (2010).

Esta última se divide en dos categorías: (i) tratamiento y eliminación de aguas residuales (49 %) y (ii) eliminación de residuos y otros (51 %). Teniendo en cuenta esta última actividad, la emisión total de GEI por el tratamiento y eliminación de aguas residuales en el inventario nacional corresponde a 3,21 % del total de emisiones.

Perú

En el caso de Perú, la tecnología de tratamiento secundario más empleada son las lagunas, bien sea anaerobias, facultativas o aireadas, las cuales están presentes en 75 % de las PTAR de este país, de manera individual o combinada. También se cuenta con tecnología de lodos activados en las variedades de flujo continuo y SBR, lechos fijos sumergidos, filtros percoladores y reactores anaerobios tipo RAFA (Sunass, 2017), como se evidencia en la figura 9.

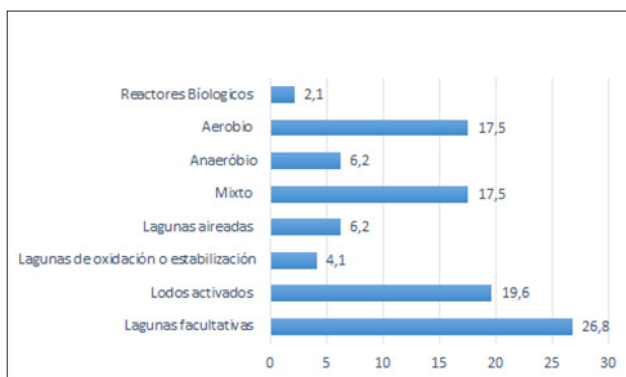


Figura 9. Tipo de sistema y tecnología empleados en las PTAR de Perú
Fuente: elaboración propia con base en Sunass (2015).

Inventario nacional de emisión de GEI

En relación con las actividades económicas, según el Ministerio de Ambiente de Perú (2016), el país reporta un 26 % de emisiones a causa de la producción de energía, 3 % por procesos industriales, 66 % por actividades de agricultura, silvicultura y uso del suelo y 5 % por generación residuos. Esta última variable se divide en dos categorías: (i) tratamiento y eliminación de aguas residuales (15,80 %) y (ii) eliminación de residuos y otros (84,20 %). Teniendo en cuenta estas cifras, las emisiones totales de GEI ocasionadas por el tratamiento y eliminación de aguas residuales en el inventario nacional es de 0,79 %.

Evaluación de los factores climáticos de las cuencas estudiadas

Los factores climáticos y meteorológicos influyen directamente en la calidad del agua, la emisión de GEI y el comportamiento de las PTAR, puesto que las condiciones de alta precipitación y altas temperaturas ocasionan una mayor generación de GEI, siendo la cuenca media del río Bogotá, la cuenca baja del Valle de México y la cuenca media del río Rímac las más afectadas por este fenómeno entre el grupo de cuencas analizadas (figura 10). Las PTAR en estas cuencas, en su mayoría, llevan a cabo tratamiento mixto, por lo cual los gases no logran dispersarse totalmente en la atmósfera.

Análisis de GEI en relación con las actividades económicas de los países evaluados

Dentro de la evaluación realizada de las actividades e industrias que se encuentran en las cuencas principales de Ciudad de México (México), Lima (Perú) y Bogotá (Colombia), se logró identificar la influencia de estas actividades en la emisión de GEI, (tabla 1).

En la tabla 1 se reflejan las actividades económicas más significativas de Colombia, México y Perú, observando que las actividades con mayor generación de GEI son la industria (61,82 %), el comercio (20,54 %) y la agricultura (16,26 %), realizando un promedio. Además, se identificaron los diferentes tipos de GEI generados en cada país, con su respectivo porcentaje, como se observa en la tabla 2.

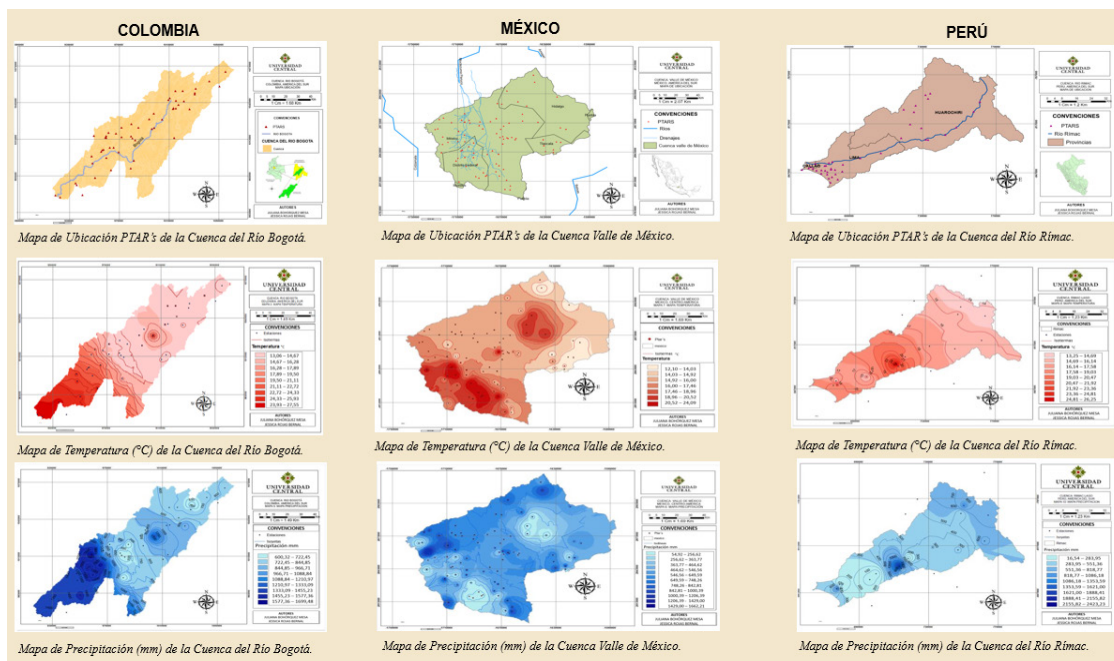


Figura 10. Ubicación de las PTAR, temperatura y precipitación por cuencas
 Fuente: elaboración propia con base en IDEAM y PNUD (2016), INECC (2018) y MAR y ANA (2016).

Tabla 1. Actividades económicas desarrolladas en los países evaluados

Colombia (Cuenca río Bogotá)	México (Cuenca Valle de México)	Perú (Cuenca río Rímac)
Industria (70,17 %) Agricultura (16,68 %) Comercio (13,15 %)	Industria (56,10 %) Agricultura (17,82 %) Comercio (26,07 %)	Industria (59,2 %) Agricultura (14,3 %) Comercio (22,4 %)

Fuente: elaboración propia con base en MinAmbiente (2016), Conagua (2015), CAR (2016) y Fernández-Estela (2011).

Tabla 2. Tipos de GEI generados por las actividades económicas en los países evaluados.

Colombia (Cuenca Río Bogotá)	México (Cuenca Valle de México)	Perú (Cuenca río Rímac)
Ozono, aerosoles ácidos, material particulado y monóxido de carbono afectados por la temperatura, humedad relativa y luz solar, metano y óxido nítrico. Colombia emite 3,66 t CO2 eq. per cápita/año, con el 62,6 % de las emisiones del país.	Monóxido de carbono (CO: 33 mill ton; 70 % del total), compuestos orgánicos volátiles (COV: 6,03 mill t; 13 %), óxido de nitrógeno (NOX: 3,2 mill t; 7 %) y bióxido de azufre (SO2: 2,2 mill t; 5 %). El resto de los contaminantes poseen un porcentaje igual o menor a 2 %.	Emisión de 171.310 giga gramos de dióxido de carbono, metano, óxidos de nitrógeno. De los cuales 35 % corresponde a la tala indiscriminada y 20 % a transporte vehicular y generación eléctrica.

Fuente: elaboración propia con base en U. Loyola Perú (2014) y OMS (2018).

A partir de la información en la tabla 2, se deduce que en los tres países los GEI que más se generan son dióxido de carbono (CO2), metano (CH4), óxido nítrico (N2O) y clorofluorocarbonos (CFC). En cuan-

to a Colombia, según el IDEAM (2015), el CO2 proviene del sector forestal y el CH4 del sector agropecuario. En cuanto a México, según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2010),

el porcentaje de CO₂ se presenta por la quema de combustibles fósiles y los procesos industriales. Por su parte, las emisiones de CH₄ corresponden a la categoría de desechos, energía y agricultura, y las de N₂O al manejo de excretas y el uso de fertilizantes nitrogenados. En cuanto a Perú, según MinAmbiente (2016), se evidencia que el mayor porcentaje de CO₂ se presenta por el uso y cambio del suelo, la silvicultura y la emisión de combustibles en el sector del transporte.

Análisis de posibles afectaciones a nivel salud por la generación de GEI

La tabla 3 da cuenta de las posibles afectaciones a nivel de salud más representativas en México, Perú y Colombia que son ocasionadas por la emisión de GEI. A partir de esta información, se puede observar que en los tres países las afectaciones más comunes son accidentes cardio vasculares (42,2 %), enfermedades pulmonares (14,9 %) y cáncer de pulmón (8,3 %).

Tabla 3. Listado de posibles afectaciones a nivel salud resultado de GEI

	Colombia (C. río Bogotá)	México (C. Valle de México)	Perú (C. río Rímac)
Enfermedades	Dificultad respiratoria, dolor de cabeza, malestar en ojos, nariz y pulmones, el 58% se debe a cardiopatías isquémicas y accidentes cerebrovasculares, el 18% a enfermedad pulmonar obstructiva crónica e inspecciones respiratorias agudas y el 6% se debe al cáncer de pulmón.	La contaminación del aire fue responsable de 3,7 millones de muertes en el planeta (11% por enfermedad pulmonar obstructiva crónica, el 6% por cáncer de pulmón, 40% por enfermedad isquémica del corazón, 40% por accidentes cerebrovasculares y el 3% por infección respiratoria aguda).	20,8% infecciones respiratorias agudas, cáncer de piel, asma y alergias. 11,8% tracto respiratorio agudo, 15,8% enfermedad pulmonar obstructiva crónica, 13% cáncer de pulmón, 10% enfermedad cardíaca isquémica y 28,6% accidentes cerebrovasculares.

Fuente: elaboración propia con base en ULoyola Perú, (2014) INS, (2009) y OMS (2018).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Para la cuenca del río Bogotá (Colombia) se encontró que los registros de precipitación y temperaturas son altos, presentándose una mayor incidencia en la generación de GEI. Además, se identifica que la actividad industrial genera la mayor proporción de emisiones de CH₄ y N₂O (70,17 %). El CH₄ es el gas que genera mayor impacto ambiental en la cuenca media debido a los asentamientos humanos propios de la cercanía a la capital del país, el número de PTAR en operación y las actividades económicas mencionadas. El análisis de dispersión muestra que la concentración de GEI se encuentra en la cuenca media, lo cual se debe, en parte, a las precipitaciones y temperaturas medias observadas. No obstante, prevalece la influencia de las actividades económicas y la densidad poblacional en la concentración de este tipo de gases.

En la cuenca del Valle de México (México) se encontró que el proceso más utilizado en las PTAR es el aerobio con lodos activados. En la cuenca baja se registran altas temperaturas y altas precipitaciones, focalizadas en diferentes puntos de la cuenca. Así mismo, se re-

porta una intensa actividad económica (industria y comercio) y una alta concentración de población debido a su proximidad a la capital del país, lo cual genera un alto impacto ambiental que puede generar mayor calentamiento, alterando así los recursos naturales y la calidad del aire.

En lo relacionado con la cuenca del río Rímac (Perú), se identificó que el proceso más utilizado en las PTAR es mixto con lagunas facultativas. En la cuenca media los registros de precipitación y temperaturas son los más altos, por lo que inciden en gran medida en la generación de GEI debido a que retardan el proceso de dispersión y liberación de emisiones en la atmósfera. Así mismo, el desarrollo de actividades económicas como el comercio, debido a la movilidad por intercambio comercial y los asentamientos humanos, es un factor que influye en la generación de GEI en esta región.

De acuerdo con los resultados de esta investigación, es posible deducir que la mayor concentración de GEI

ocurre en la cuenca de estudio localizada en México, en la cual se observaron altas temperaturas y precipitaciones, además de un mayor número de población. Adicionalmente, este estudio logró identificar posibles afectaciones para la salud humana como consecuencia de las emisiones de GEI, entre las cuales los accidentes cardiovasculares son la patología más común.

REFERENCIAS

- Ashrafi, O., Yerushalmi, L., & Haghghat, F. (2013). Greenhouse gas emission by wastewater treatment plants of the pulp and paper industry. Modeling and simulation. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 17, 462-472. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2013.06.006>
- Astorayme, M. A., Gutiérrez, R. R., García, J., Felipe, O., & Suarez, W. (2016). *Downscaling temporal de un modelo hidrológico a paso diario adecuado en la cuenca del Rímac, Perú*. XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, LADHI.
- Barbu, M., Vilanova, R., Meneses, M., & Santin, I. (2017). On the evaluation of the global impact of control strategies applied to wastewater treatment plants. *Journal of Cleaner Production*, 149, 396-405. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.018>
- Blanco, D., Collado, S., Díaz, M., Suárez, M. P., Pérez, J. A., & Sánchez, J. (2014). Análisis de la huella de carbono en una planta de tratamiento de agua tipo carrusel. *TECNOAQUA*, 6, 52-57.
- Calla-Llontop, H. C., & Cabrera-Carranza, C. (2010). Calidad del agua en la cuenca del Río Rímac, sector de San Mateo, afectado por las actividades mineras. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, 13(25), 87-94. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v13i25.399>
- Comisión Nacional del Agua de México [Conagua]. (2015). *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y tratamiento de aguas residuales en operación*. Conagua
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca [CAR] (2006). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Bogotá*. CAR.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca [CAR] (2012). *Plan de gestión ambiental regional PGAR 2012-2023*. CAR.
- Delgado, L., Poussade, Y., & Aguiló, P. (2014). *Huella de carbono de la regeneración de agua*. <https://www.aguasresiduales.info/revista/articulos/huella-de-carbono-de-la-regeneracion-de-agua>
- Departamento Nacional de Planeación de Colombia [DNP]. (2002, 15 de julio). *CONPES*. <http://www.minvivienda.gov.co/conpesagua/3177%20-%202002.pdf>
- El-Fadel, M., & Massoud, M. (2001). Methane emissions from wastewater management. *Environmental Pollution*, 114, 177-185. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(00\)00222-0](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(00)00222-0)
- Environmental Protection Agency [EPA] (2010). *Greenhouse gas emissions estimation methodologies for biogenic emissions from selected source categories*. <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/greenhouse-gas-emissions-estimation-methodologies-biogenic>
- Fernández-Estela, A. (2017). *Aguas Residuales en el Perú, Problemática y Uso en la Agricultura*. Lima: Autoridad Nacional del Agua Ministerio de Agricultura.
- Gil-Gómez, J. A. (2014). *Determinación de la calidad del agua mediante variables fisicoquímicas, y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del río Garagoa* (tesis de maestría, Universidad de Manizales). Repositorio Universidad de Manizales.
- Grillenwater, M., Saarinen, K., & Ajavon, A.-L. N. (2008). Precursors and Indirect Emissions. En S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara & K. Tanabe (eds.), *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (p. 16). IPCC.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM] & Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]. (2016). *Inventario nacional y departamental de gases de efecto invernadero (GEI) Colombia*. IDEAM & PNUD. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023634/INGEI.pdf>

- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático de México [INECC]. (2018). *Inventario nacional de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero 1990-2015*. INECC.
- Kyung, D., Kim, M., Chang, J., & Lee, W. (2015). Estimation of greenhouse gas emissions from a hybrid wastewater treatment plant. *Journal of Cleaner Production*, 95, 117-123. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.032>
- Lizarazo-Becerra, J. M., & Orjuela-Gutiérrez, M. I. (2013). *Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia* (tesis de especialización, Universidad Nacional de Colombia). Repositorio Institucional Universidad Nacional de Colombia.
- Magallón-Andalón, M. (2007). *Caracterización del lixiviado generado en el vertedero de Metepec y análisis de medios reactivos permeables* (tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de México). Repositorio Institucional Universidad Autónoma del Estado de México.
- Meneses, A., & Hernández, E. E. (2004). Identificación de emisiones directas e indirectas de GEI en el sector tratamiento y disposición de aguas residuales: bases para la formulación de proyectos MDL en PTAR. *BISTUA*, 21(1), 60-69.
- Ministerio de Agricultura y Riego de Perú (2010). *Evaluación de los recursos hídricos en la cuenca del río Rímac*. Ministerio de Agricultura y Riego de Perú.
- Ministerio de Agricultura y Riego de Perú [MAR] & Autoridad Nacional del Agua de Perú [ANA]. (2016). *Priorización de cuencas para la gestión de los recursos hídricos*. MAR & ANA.
- Ministerio de Ambiente de Perú [MinAmbiente]. (2016). *Tercera comunicación nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. MinAmbiente.
- Molinos-Senante, M., & Guzmán, C. (2018). Reducing CO2 emissions from drinking water treatment plants: A shadow price approach. *Applied Energy*, 210, 623-631. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.09.065>
- Mouri, G., Takizawa, S., Fukushi, K., & Oki, T. (2013). Estimation of the effects of chemically-enhanced treatment of urban sewage system based on life-cycle management. *Sustainable Cities and Society*, 9, 23-31. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2013.02.003>
- Nolasco, D. A. (2010). *Desarrollo de proyectos MDL en Plantas de tratamiento de aguas residuales*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Observatorio del Agua Chillón Rímac Lurín. (2017). *Análisis geoespacial de canales de riego en relación a las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y áreas verdes en el ámbito de Lima metropolitana*. Observatorio del Agua Chillón Rímac Lurín.
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2018). *Cambio climático y sus efectos en la salud*. OMS.
- Pan, T., Zhu, X.-D., & Ye, Y.-P. (2011). Estimate of life-cycle greenhouse gas emissions from a vertical subsurface flow constructed wetland and conventional wastewater treatment plants: A case study in China. *Ecological Engineering*, 37(2), 248-254. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.11.014>
- Parra, R., Apaza, M., & Agramont, A. (2010). Estimación de factores de emisión de gases de efecto invernadero en una planta de tratamiento de aguas residuales. *Revista Boliviana de Química*, 27(2), 81-88.
- Proyecto Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático (CMNUCC). (2009). *Inventario nacional integrado de emisiones de gases efecto invernadero del Perú en el año 2000*. MinAmbiente.
- Rodríguez-Tapia, L., & Morales-Novelo, J. A. (2013). Integración de un sistema de cuentas económicas e hídricas en la Cuenca del Valle de México. *Revista Internacional de Estadísticas y Geografía*, 4(1), 72-89.
- Secretaría del Medio Ambiente de Ciudad de México [Sedema]. (2015). *Reporte de plantas de tratamiento de aguas residuales Ciudad de México*. Sedema.

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios [Superservicios]. (2017). *Estudio Sectorial de los servicios públicos domiciliarios de Acueducto y Alcantarillado*. Superservicios.

Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento de Perú [SUNASS]. (2015). *Diagnóstico situacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en las EPS del Perú y propuestas de solución*. Perú.

Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento de Perú [SUNASS]. (2017). *Diagnóstico*

de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento. SUNASS.

Universidad Santo Tomás [USTA]. (2017). Municipios de la cuenca del río Bogotá siguen sin cumplir la norma. *El Buscador*, 3, 18. https://issuu.com/elbuscadorusta/docs/eb-03-2017_web_compressed

Vivid Economics (2015). *Global greenhouse gas abatement opportunities from energy efficiency in wastewater treatment*. Xylem Inc.

IPBES para ciudadanos: breve aproximación a la Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos

IPBES for Citizens: A Brief Approach to the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Servicesu

Albaluz Ramos Franco^{ab} y Leyde Katherine Cabrera Ruíz^{ac}

^{ab} Grupo de investigación Biología para la conservación, Facultad Ciencias Básicas, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia

^b albaluz.ramos@uptc.edu.co <http://orcid.org/0000-0001-6432-4061>

^c leyde.cabrera@uptc.edu.co <https://orcid.org/0000-0003-2223-6877>

RESUMEN

La Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (IPBES) es un órgano multilateral de la Organización de las Naciones Unidas que busca involucrar el conocimiento científico en las decisiones políticas de los Estados Parte. La IPBES está constituida por cinco secciones no jerarquizadas que tienen la tarea de reunir y evaluar toda la información mundial sobre los temas priorizados para elaborar una serie de informes (llamados Evaluaciones), los cuales serán la principal herramienta de los estados para la creación de políticas, normas y programas en pro de la conservación de la biodiversidad. Las Evaluaciones hechas hasta el momento abarcan los temas de polinización y polinizadores, escenarios y modelos de biodiversidad y servicios ecosistémicos, degradación y restauración de la tierra, evaluación regional de biodiversidad y servicios ecosistémicos para cada continente y la Evaluación Global de biodiversidad y servicios ecosistémicos. A partir de sus resultados, se presentan algunas reflexiones sobre las acciones que la sociedad, la comunidad científica y los tomadores de decisiones pueden ejercer para contribuir a la conservación de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos.

Citation: Ramos Franco, A., y Cabrera Ruiz, L. K. (2020). IPBES para ciudadanos: breve aproximación a la Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos. *Mutis*, 10(2), 37-50. <https://doi.org/10.21789/22561498.1616>

Recibido: Junio 1, 2020. **Aceptado:** Agosto 20, 2020.

Copyright: ©2020. Ramos Franco, A., y Cabrera Ruiz, L. K. (2020). This is an open-access article, which permits unrestricted use, distributions and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Competing Interests: The authors have no conflict of interest.

témicos para cada continente y la Evaluación Global de biodiversidad y servicios ecosistémicos. A partir de sus resultados, se presentan algunas reflexiones sobre las acciones que la sociedad, la comunidad científica y los tomadores de decisiones pueden ejercer para contribuir a la conservación de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos.

Palabras clave: ONU, tomadores de decisiones, Evaluaciones, biodiversidad.

ABSTRACT

The Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) is a multilateral body of the United Nations that seeks to involve scientific knowledge in the political decisions by State Parties. The IPBES is made up of five non-hierarchical sections, which have the task of gathering and evaluating all the global information on prioritized topics in order to prepare reports (called Assessments) that will be the main tool of the states for the creation of policies, regulations, and programs aimed at the conservation of biodiversity. Assessments published so far encompass the issues of pollination and pollinators, scenarios and models of biodiversity and ecosystem services, land degradation and restoration, regional assessment of biodiversity and ecosystem services for each continent, and the Global Assessment of Biodiversity and Ecosystem Services. Based on these assessments, recommendations are made on how society, the scientific community and decision-makers can contribute to the conservation of biodiversity and ecosystem services.

Keywords: UN, decision makers, Assessments, biodiversity.

INTRODUCCIÓN

El Convenio de Diversidad Biológica (en adelante CDB) es un tratado internacional que se abrió para firma el 5 de junio de 1992 en la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro (ONU, 1992). Este tratado, ratificado por 196 estados (en adelante “las Partes”), tiene como objetivo la conservación de la diversidad biológica, la utilización de sus componentes y la participación justa y equitativa de los beneficios derivados de la utilización de los recursos genéticos. Este instrumento, netamente gubernamental, requirió desde su inicio la asesoría de expertos en la materia, por lo que establece en su Artículo 25 el Órgano Subsidiario de Asesoramiento Científico, Técnico y Tecnológico (SBSTTA, por sus siglas en inglés). Desde 1994, fecha de entrada en vigor del convenio, hasta la actualidad, el SBSTTA se ha reunido en 22 oportunidades, en las que, de acuerdo con su mandato, produce “Recomendaciones” para consideración de la Conferencia de las Partes, máximo órgano decisorio del CDB que se reúne cada dos años.

Sin embargo, en 2008, la comunidad científica, en particular Laikre *et al.* (2008), alertó sobre la pérdida de objetividad y credibilidad científica de la información que se estaba utilizando en el Órgano. Con el fin de responder a la lluvia de críticas, las Partes iniciaron en 2008 un proceso de negociación en el que destacó el liderazgo de Colombia, el cual finalizó en el 2012 con la creación de la Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos, un nuevo órgano que centraría sus decisiones en la más robusta recopilación de informa-

ción científica a nivel mundial. En 2014 se hace oficial la cooperación entre IPBES y CDB a través de un memorando que establece la sinergia y la no duplicación de funciones y decisiones (Memorando, 2014). A la fecha, IPBES cuenta con 137 estados miembro (IPBES, 2019).

Existe un sinnúmero de publicaciones internacionales que relatan el qué, por qué y para qué de IPBES, incluyendo fuertes críticas a su base conceptual (Braat, 2018; Díaz *et al.*, 2015; Díaz *et al.*, 2018; Faith, 2018; Kenter, 2018; Pascual, 2017; Peterson *et al.*, 2018). Sin embargo, quienes trabajan diariamente en asuntos de biodiversidad y conservación en Latinoamérica y Colombia, los entes territoriales locales, e incluso el ciudadano común, no están familiarizados con esta importante asamblea; probablemente debido a la condición netamente gubernamental que la soporta y la barrera idiomática que predomina, dado que sus discusiones son en inglés. Por lo anterior, este trabajo pretende brindar información básica sobre la IPBES en un lenguaje que cualquier persona interesada pueda entender, discerniendo la importancia de las decisiones que se toman al interior de éste organismo.

OBJETIVOS Y ESTRUCTURA DE IPBES

La Plataforma tiene como fin principal cerrar la brecha existente entre la ciencia y la política, respondiendo las preguntas que los tomadores de decisiones tienen sobre la gestión de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos y acercando el conocimiento que estos necesitan para desarrollar normas o programas que

propendan por la conservación de la los mismos, todo ello en búsqueda del bienestar humano y el desarrollo sostenible a largo plazo (Jonsson *et al.*, 2017). Para esto, se formularon cuatro funciones:

- Aceleración de la generación de conocimiento: a diferencia del consenso existente sobre las ciencias atmosféricas que soportan los Acuerdos de Cambio Climático (Brooks, 2014), la pérdida de biodiversidad no tiene un patrón global exclusivo y existen aún vacíos de conocimiento que requieren ser completados para tomar decisiones políticas al respecto.
- Fortalecimiento de capacidades: como consecuencia del punto anterior, la Plataforma debe identificar necesidades de conocimiento y enfocar la cooperación con entes académicos (como la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [IUCN, en inglés], el Programa Biodiversidad y Gestión de Áreas Protegidas [BIOPAMA, en inglés] y ONU Fellowships Programs) para subsanarlas.
- Evaluaciones: la Plataforma recoge el conocimiento científico, técnico, local e indígena para elaborar documentos llamados “Evaluaciones”, los cuales tienen un componente científico-técnico fuerte y un resumen de fácil comprensión para tomadores de decisiones; más adelante se explicarán cada una de las Evaluaciones hechas hasta la fecha.
- Soporte para la formulación de políticas: la Plataforma facilita a las Partes herramientas para que los dirigentes políticos puedan legislar normas y programas enfocados en atender los resultados de las Evaluaciones; incluso, para que hagan sus propias Evaluaciones nacionales con mayor nivel de detalle (Álvarez-Dávila *et al.*, 2019).

Una vez comprendido el para qué de la Plataforma, es necesario ver cómo está organizada. En ese sentido, la IPBES está constituida por cinco secciones no jerarquizadas entre sí:

- Plenaria: máximo órgano decisorio en el que participan los delegados de los Estados miembros. Esta asamblea se reúne cada año para ajustar y adoptar los documentos resultado de las Evaluaciones (que se explican más adelante).
- Buró: es el cuerpo administrativo que funciona como una Junta Directiva. Tiene un presidente,

cuatro vicepresidentes y cinco oficiales administrativos. Modera las plenarias y participa en la elaboración de los documentos.

- Panel Multidisciplinario de Expertos (MEP): conformado por 25 expertos (cinco por cada una de las cinco regiones de la ONU), quienes son elegidos de entre un grupo de científicos voluntarios que atienden el llamado del buró y sus gobiernos nacionales.
- Secretaría: brazo netamente administrativo que organiza y hace seguimiento a las plenarias y sus decisiones y tiene a su cargo la página web. Tiene su sede permanente en Bonn (Alemania).
- Grupos de soporte: escriben los borradores de los documentos que serán revisados y aprobados en la plenaria, reuniendo el conocimiento existente. Están subdivididos en:
 - a. Grupos de trabajo
 - b. Expertos de alcance
 - c. Expertos para las Evaluaciones específicas

Aunque no se encuentran establecidos como una sección oficial de IPBES, los *stakeholders*, o grupos interesados, son una parte fundamental de la Plataforma. Desde la primera plenaria (decisión IPBES/1/12 anexo II) se dio vía libre a la participación de ONG, universidades y organizaciones académicas en el marco de las plenarias (IPBES, 2016a; ONU, 2019a). Estos grupos deben solicitar el aval ante el Buró y tienen un día completo de discusión interna previo a la inauguración del evento; allí se reúnen las peticiones o comentarios, que pueden o no ser tenidos en cuenta durante las negociaciones del contenido de las Evaluaciones. A diferencia de los delegados estatales, los *stakeholders* no tienen voz ni voto durante la plenaria, y ostentan la categoría de observadores.

Desde enero de 2013, IPBES ha desarrollado anualmente sus plenarias, eligiendo siempre un país miembro como anfitrión. Colombia hospedó esta reunión en 2018, en la ciudad de Medellín (Antioquia).

MARCO CONCEPTUAL

La elaboración de las Evaluaciones requería de un enfoque estandarizado, que garantizara su replicabilidad y calidad. Por esto, un grupo de 84 científicos, encabezados por Sandra Díaz (Bióloga argentina, Ph.D. en Ciencias Biológicas) y con supervisión del MEP—, elaboró lo que se conoce como el marco conceptual de IPBES, adoptado en diciembre de 2013 (decisión IPBES 2/4) y publicado como artículo científico en 2015 (Díaz *et al.*, 2015), el cual retoma la perspectiva básica de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio sobre los servicios ecosistémicos y le da nuevos valores, incluso

un nuevo nombre: contribuciones de la naturaleza a la población (NCP, por sus siglas en inglés). En la figura 1 se aprecian los seis elementos principales del marco conceptual que capturan la complejidad de los retos que se deben superar en aras de lograr una buena calidad de vida para el ser humano en el planeta. De manera general, el esquema del marco conceptual indica la forma en la que los seis elementos interactúan (flechas continuas), cuáles de estas interacciones no son prioridad para la Plataforma (flechas punteadas) y cómo todo esto sucede a través de diferentes escalas temporales y espaciales.

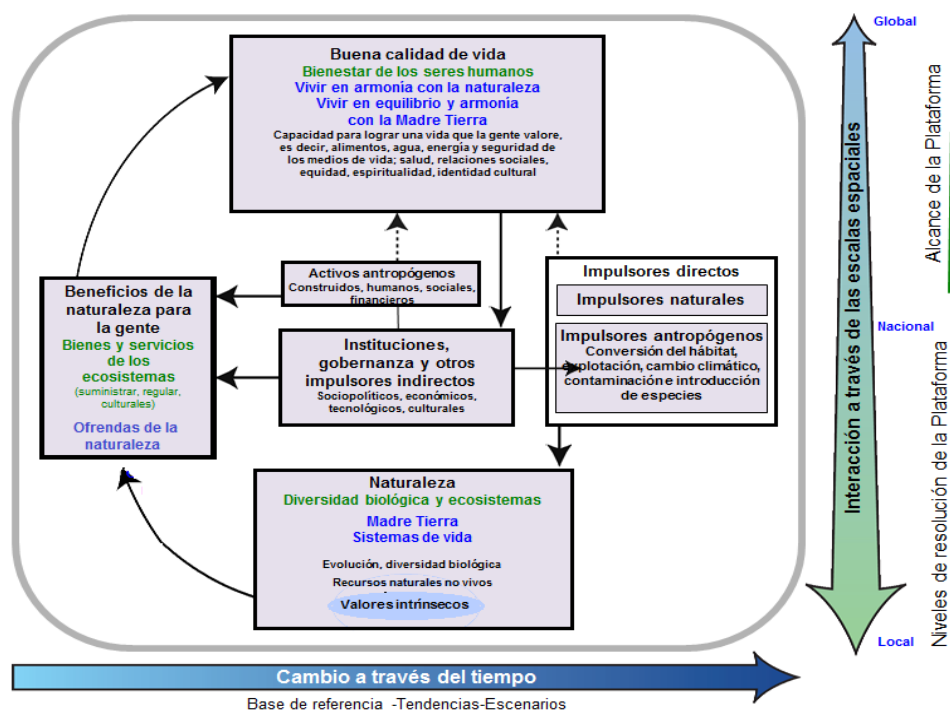


Figura 1. Marco conceptual de IPBES. Fuente: tomado de la Decisión IPBES 2/4 (ONU, 2013a).

PRIMER PROGRAMA DE TRABAJO

En la segunda Plenaria, IPBES aprobó el programa de trabajo para el período 2014-2018, en el cual se establecen acciones concretas para el cumplimiento de sus 4 objetivos (figura 2). A partir de este primer plan de trabajo se establecieron metas anuales de cumplimiento, priorizando algunas ante la urgencia de publicación de Evaluaciones específicas (como la de polinización y polinizadores, como se verá más adelante). En el autoexamen realizado en el IPBES-7 se

revisó el éxito de cada objetivo, destacando el impacto que han tenido las Evaluaciones publicadas y la aceptación general que los estados han tenido hacia estas; tanto que se seguirá el mismo proceso para los próximos años. Otro logro relevante es el aumento de la producción y difusión del conocimiento a nivel global gracias al programa de jóvenes becarios, quienes participan en todas las actividades de cada una de las Evaluaciones propuestas. La primera cohorte se graduó en el IPBES-6 con la publicación de las Evaluaciones regionales.

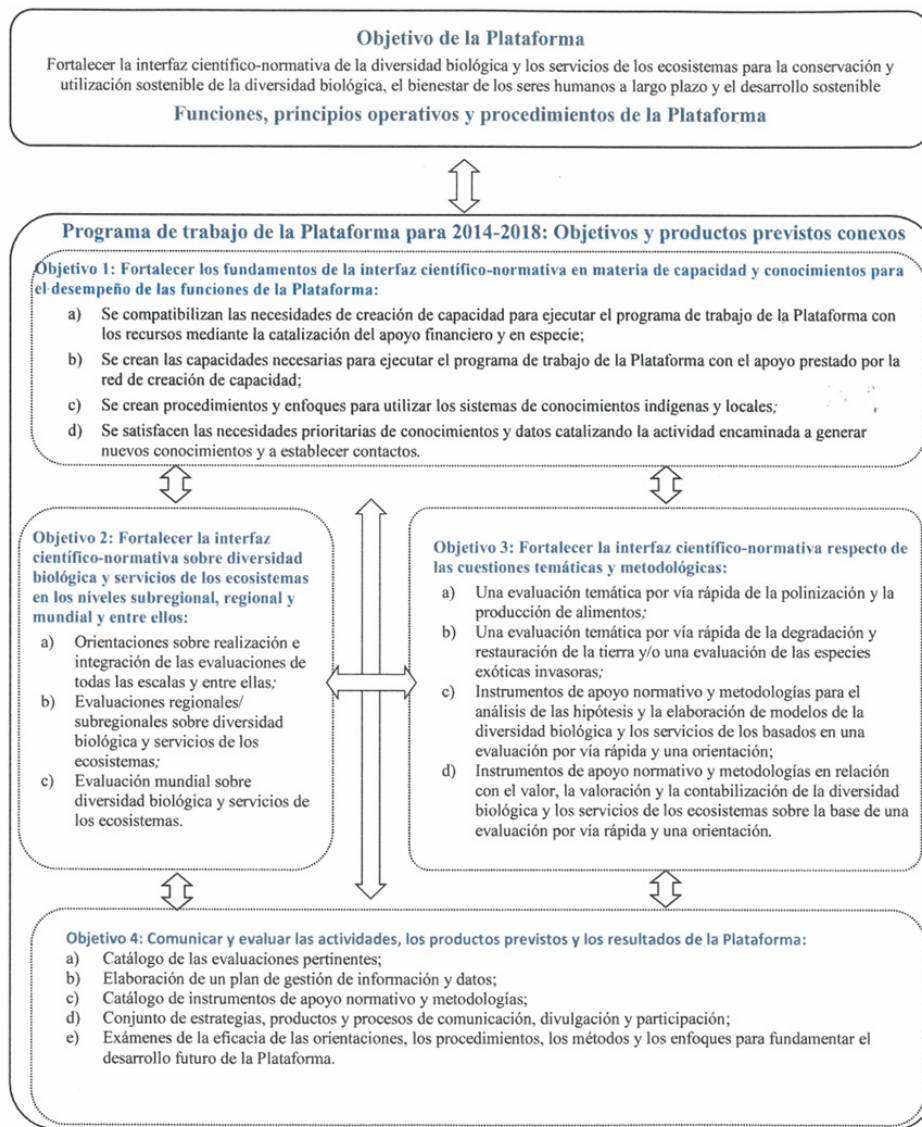


Figura 2. Programa de trabajo 2014-2018.
Fuente: tomado de la Decisión IPBES 2/5 (ONU, 2013b).

En la sesión siete de la Plenaria (decisión IPBES 7/1) se planteó el establecimiento de un nuevo programa de trabajo, con aplicación a 10 años. Algunas de las temáticas a priorizar son:

- Promoción de la biodiversidad para lograr los objetivos de la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible (ONU, 2015).
- Causas subyacentes de la pérdida de la diversidad biológica (ONU, 2018a, 2018b).
- Medición del impacto de la industria y las empresas y su dependencia de la diversidad biológica.

Se espera que de allí resulten nuevas evaluaciones temáticas con sus respectivos Resúmenes para Tomadores de Decisiones.

EVALUACIONES

Luego de unir los comentarios hechos por los grupos de soporte, los *stakeholders* y el mismo MEP, la Plenaria decide los temas prioritarios a analizar con el fin de presentar un producto escrito: las Evaluaciones. Hasta el momento, existen dos tipologías, una referente a la escala espacial y otra referente a temas específicos.

Las Evaluaciones contienen dos apartes, a saber: (i) un documento completo dividido en capítulos con todas las especificaciones técnico-científicas del tema o escala analizadas y (ii) un resumen para tomadores de decisiones, en el cual se explican los mensajes principales del primer documento y se hace un breve recuento del conocimiento existente sobre el tema. Este último debe ser discutido por la Plenaria antes de ser aprobado y publicado con el fin de que

todas las partes lleguen a un consenso del lenguaje y las posturas políticas que usan sus estados, para que así estas puedan ser aplicadas local y regionalmente.

De manera condensada, se exponen a continuación los temas de la evaluación y sus mensajes principales (figuras 3-7); estos últimos son aseveraciones contundentes y comprobadas con total respaldo científico sobre el presente y futuro del tema en el planeta.

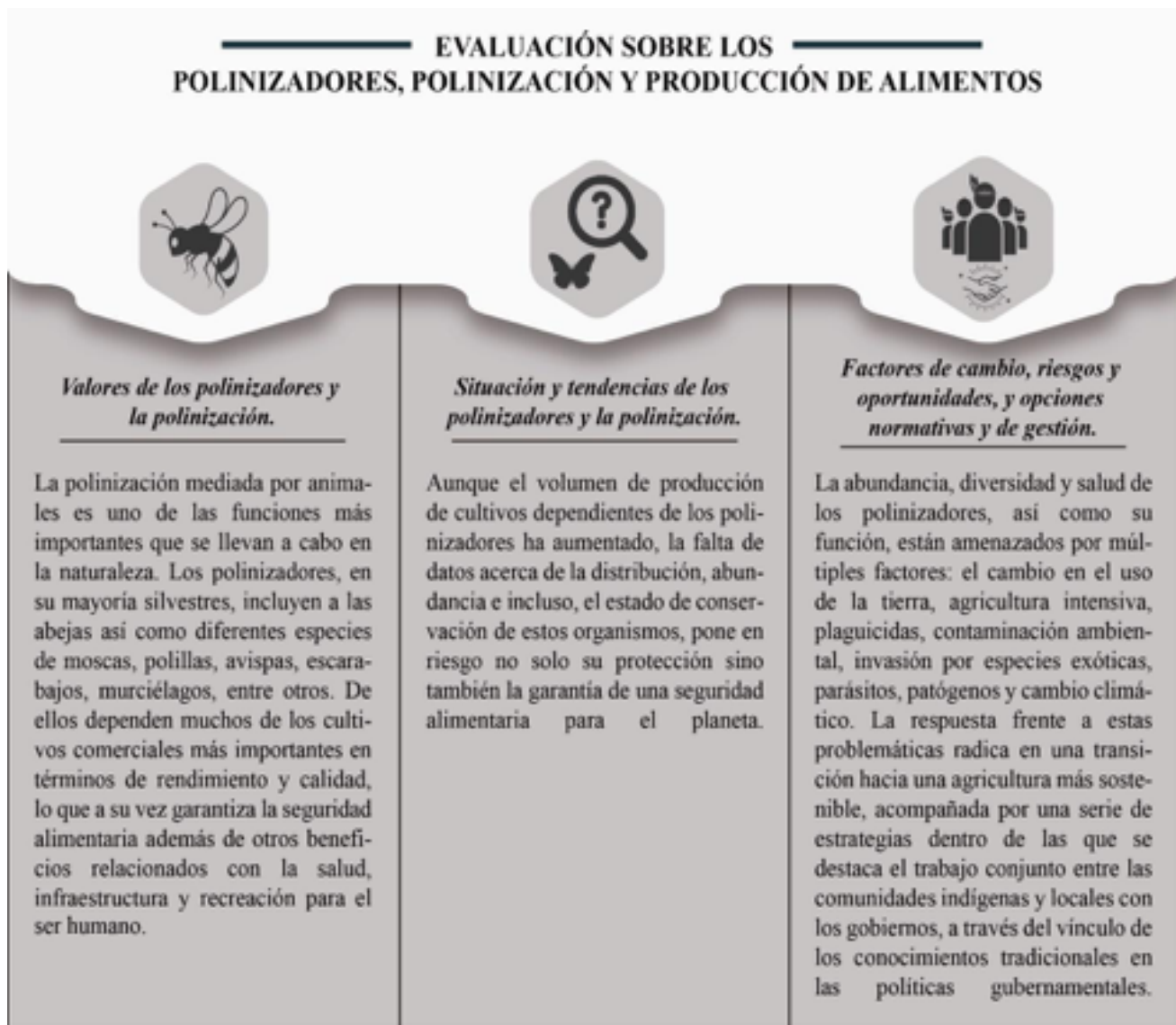


Figura 3. Mensajes principales de la Evaluación sobre polinizadores, polinización y producción de alimentos
Fuente: tomado de la Decisión IPBES 4/19 Anexo II (2016).

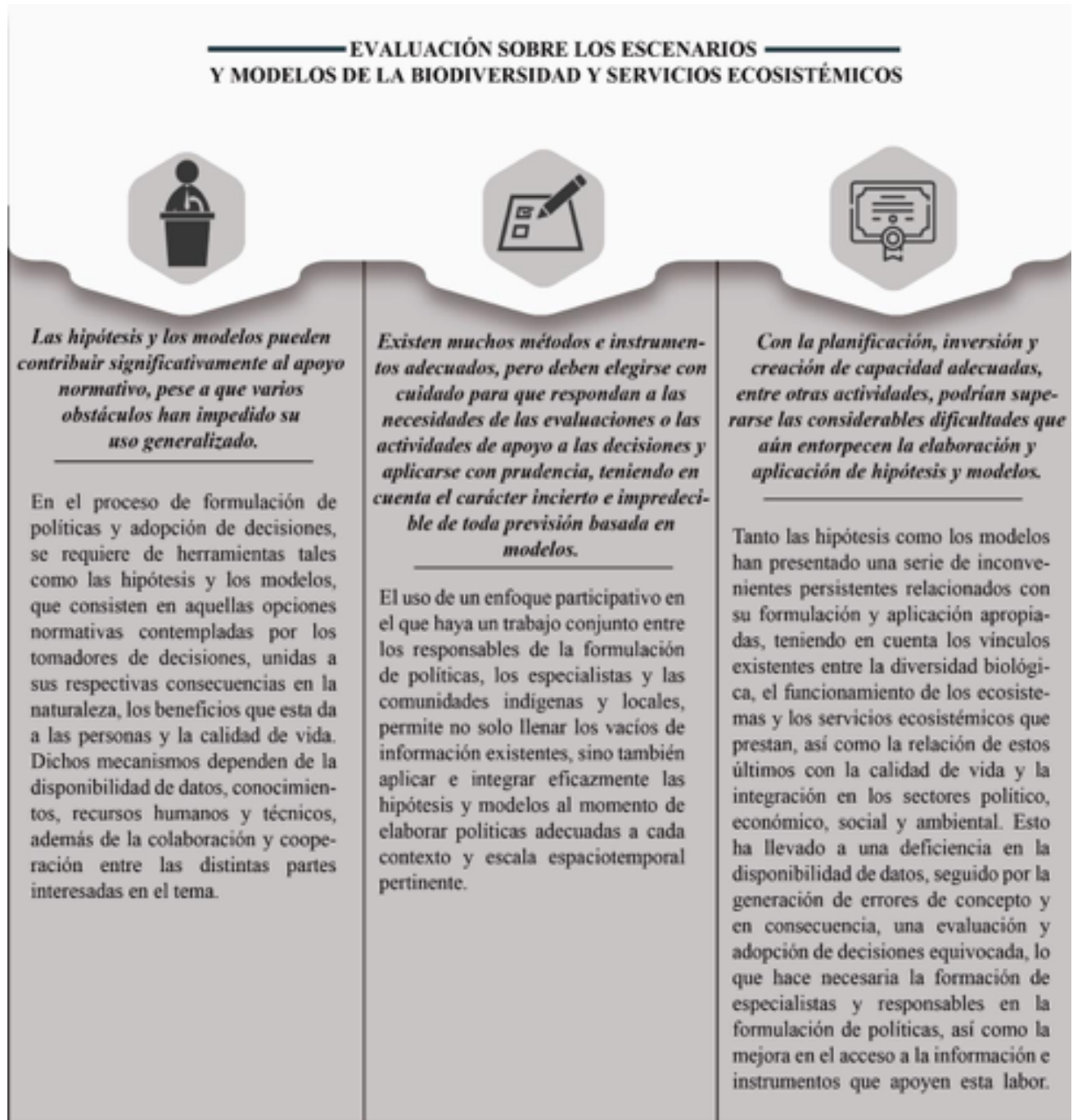


Figura 4. Mensajes principales de la Evaluación sobre los escenarios y modelos de la biodiversidad y servicios ecosistémicos
Fuente: tomado de la Decisión IPBES 4/19 Anexo IV (2016).

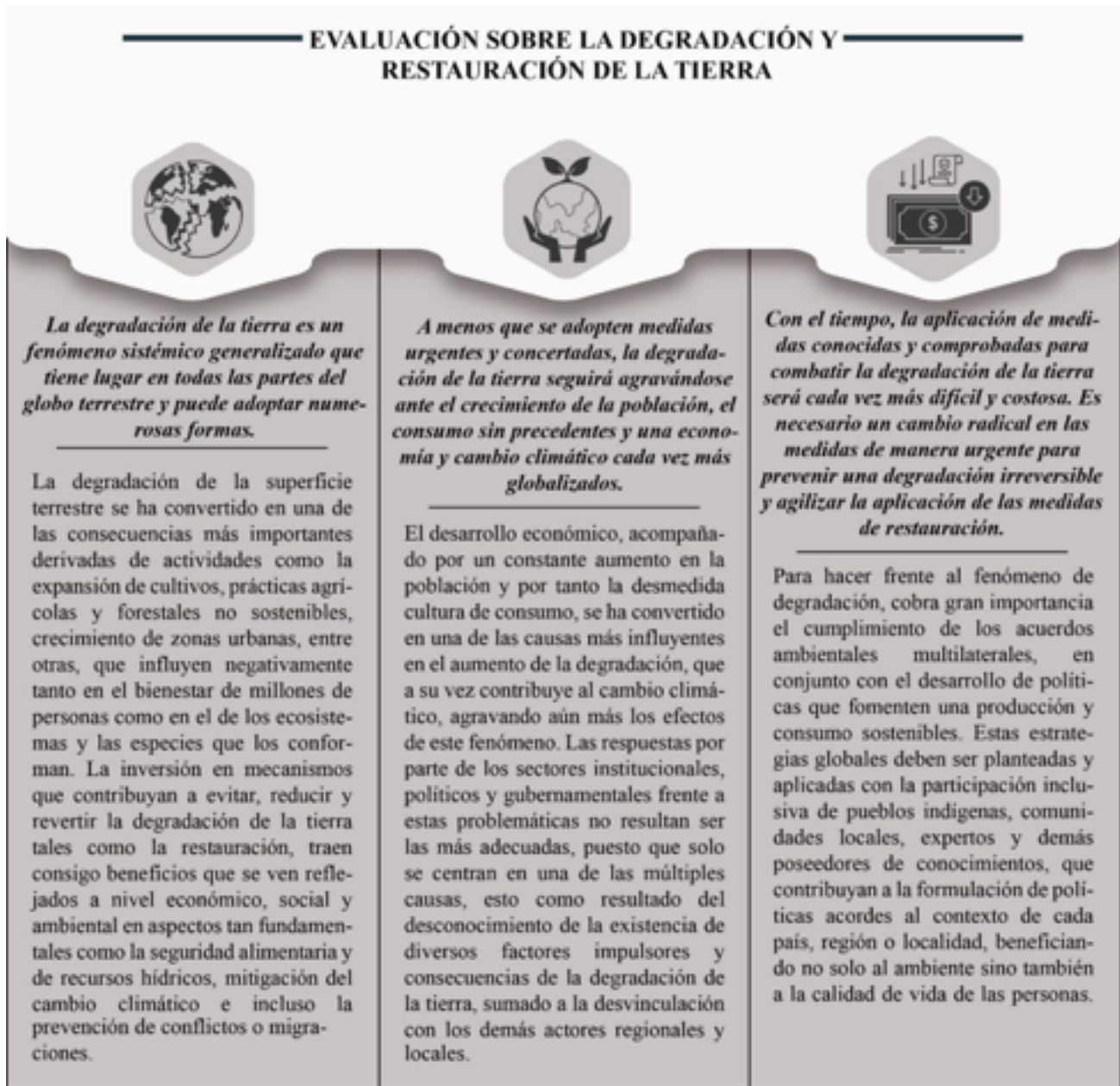


Figura 5. Mensajes principales de la Evaluación sobre la degradación y restauración de la tierra
Fuente: tomado de la Decisión IPBES 6/15 (2018).

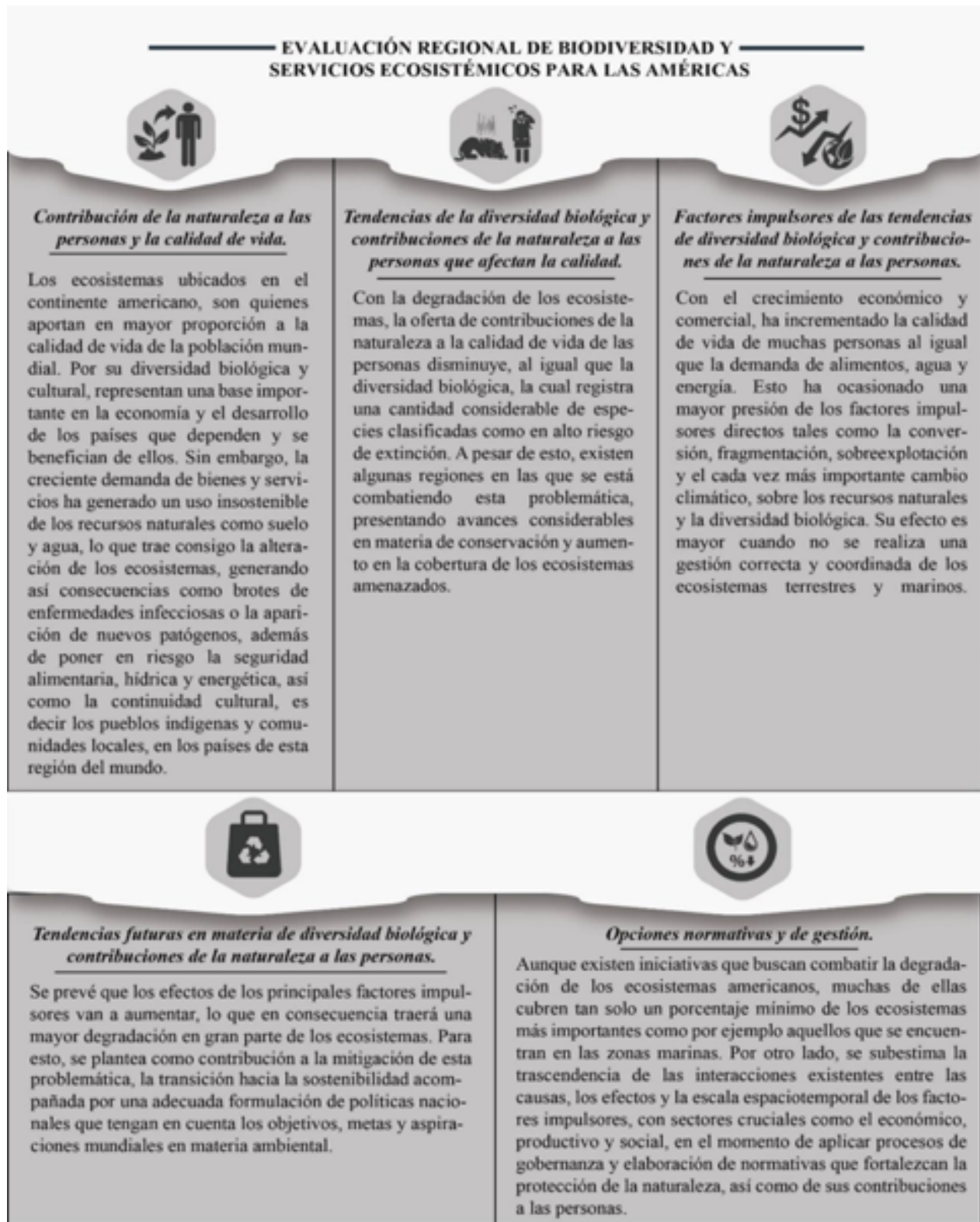


Figura 6. Mensajes principales de la Evaluación regional de biodiversidad y servicios ecosistémicos para las Américas
Fuente: tomado de la Decisión IPBES 6/1 (2018).



Figura 7. Mensajes principales de la Evaluación global de diversidad y servicios ecosistémicos Fuente: tomado de la Decisión IPBES 7/1 (ONU, 2019b).

DESPUÉS DE LAS EVALUACIONES

Luego de comprender qué es la IPBES, es necesario advertir la importancia de la cantidad y gravedad de la información que este órgano científico-político ha logrado compilar desde su creación, así como dimensionar su utilidad frente a un cambio real a nivel regional y local. A continuación, se mencionan solo algunas ideas para su uso y potencialización; sin embargo, el único límite de aplicación de este conocimiento es la voluntad política del tomador de decisiones que quiera usarlo y la capacidad de los movimientos ciudadanos para ejercer presión, acción y cambio.

Tabla 1. Reflexiones a partir de las Evaluaciones

Evaluación	¿Es usted gobernante local o regional?	¿Es usted científico o investigador en biodiversidad?	¿Es usted líder comunitario o pertenece a algún tipo de ONG?
Polinizadores y polinización para la producción de alimentos	<ul style="list-style-type: none"> - Desincentivar el uso de agroquímicos letales y subletales. - Proponer incentivos económicos a la apicultura y sus productos derivados. 	<ul style="list-style-type: none"> - Proponer estudios basados en polinizadores no carismáticos. - Buscar vacíos de conocimiento que puedan ser estudiados, al menos, de manera local. - Aumentar la escala espacial de los estudios de polinización. 	<ul style="list-style-type: none"> - Generar apropiación social del conocimiento respecto a polinizadores no carismáticos. - Proponer proyectos comunitarios que busquen el sostenimiento de los polinizadores urbanos.
Escenarios y modelos	<ul style="list-style-type: none"> - Trabajar de la mano con los científicos que investigan en su jurisdicción. - Formular políticas basadas en la información que los científicos brindan. 	<ul style="list-style-type: none"> - Comunicar a los gobernantes locales y regionales, de manera asertiva y sencilla, los hallazgos de sus modelos de cambio elaborados. 	<ul style="list-style-type: none"> - Exigir a la comunidad científica de la región la divulgación y apropiación del conocimiento que se está generando.
Degradación y restauración de la tierra	<ul style="list-style-type: none"> - Modificar su accionar reactivo a proactivo, tomando decisiones basadas en la inversión preventiva. 	<ul style="list-style-type: none"> - Trascender los muros de las instituciones de investigación para trabajar de manera conjunta con los tomadores de decisiones en proyectos de prevención, mitigación, corrección y compensación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Concientizar sobre hábitos de consumo depredadores. - Educar sobre el impacto real de la globalización del consumo.
Evaluación regional para las Américas	<ul style="list-style-type: none"> - Incluir la información de base de la evaluación en los POT, POMCA o demás instrumentos de planeación territorial. - Proponer incentivos económicos a las empresas y emprendimientos que usen de manera sostenible los recursos biológicos y servicios ecosistémicos. - Incentivar la transición del sector productivo al uso de energías limpias. 	<ul style="list-style-type: none"> - Procurar la generación de conocimiento en todos los capítulos que tienen vacíos. - Buscar la inclusión del conocimiento tradicional e indígena en las investigaciones científicas, evitando a toda costa el colonialismo científico y procurando una sinergia en ambos sistemas acerca de la comprensión de la naturaleza. 	<ul style="list-style-type: none"> - Concientizar a la sociedad sobre el papel fundamental de Latinoamérica como despensa alimentaria del mundo. - Generar un cambio de concepción sobre el origen de los alimentos y el agua que consume la sociedad, realizando el lugar privilegiado que tiene Latinoamérica en la cantidad y calidad de producción de los mismos.

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

La Plataforma Científico-Normativa sobre Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos es una instancia internacional fundamental para la conservación de la diversidad biológica. Este organismo facilita la incorporación del conocimiento científico en las decisiones políticas nacionales de los países miembros,

haciendo esta información comprensible para que los administradores de recursos naturales formulen leyes, desarrollen normas, planes o programas que permitan frenar la pérdida de especies y sus interacciones, conscientes de las implicaciones económicas que dicho detrimento genera, así como su impacto sobre el bienestar de la población humana.

El panorama general que están arrojando las Evaluaciones no es alentador y sin duda alerta a los gobiernos del mundo a tomar medidas urgentes al respecto. También se esperan recomendaciones futuras sobre temas como la industria y su relación con la biodiversidad. De manera resumida se puede afirmar que:

- La biodiversidad y los servicios ecosistémicos de los polinizadores están en riesgo por conductas propias de la aceleración de producción de cosechas y el aumento de su calidad mercantil.
- Existen muchos modelos y escenarios sobre el cambio de la diversidad biológica y sus servicios ecosistémicos, aunque estos no son atendidos por los tomadores de decisiones o no existe suficiente inversión económica para adaptar las políticas a sus resultados.
- La tierra se está degradando y frenar este fenómeno será cada vez más costoso y difícil, sus consecuencias se incrementarán con el cambio climático.
- El continente americano ha puesto en riesgo la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos con la implementación de economías extractivistas y de producción intensiva. A este problema se suma el desconocimiento del estado actual de la diversidad de muchas especies y tipos de ecosistemas.
- Los últimos 50 años han sido fatales para todos los ecosistemas, pues estos han sido seriamente afectados por cuenta de la demanda energética generada, a su vez, por el crecimiento poblacional, comercial y económico.

Las opciones con que cuentan los diferentes sectores de la sociedad para poner en práctica las negociaciones realizadas son infinitas y realmente dependen de la voluntad individual y política de cada uno de ellos. Los gobiernos ya no tienen manera de decir que los estudios científicos sobre biodiversidad no son aceptados oficialmente, puesto que las Evaluaciones (basadas en dichos estudios) son jurídicamente vinculantes; es decir, los estados pueden y deben incluir de alguna forma sus contenidos en las políticas nacionales.

AGRADECIMIENTOS

A Young Ecosystem Services Specialits Network (YESS), orgulloso miembro del Ecosystem Services Partnership (ESP), por el aval de representación ante la IPBES 6 y 7. A Ranjini Murali y Hyeonju Ryu por el apoyo a la delegación en París. Al Semillero G.A.I.A. por su incansable labor de investigación formativa en la última década.

REFERENCIAS

- Álvarez-Dávila, E., Ajiaco, R. E., Buitrago, L., González, M., Laverde, O., Ortiz-Gallego, R., Plata, C., Rosselli, L., Sanjuan, T., & Uribe, S. (2019). *Evaluación nacional de biodiversidad y servicios ecosistémicos*. Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <http://www.humboldt.org.co/images/documentos/pdf/evaluacion-nacional-de-biodiversidad-y-servicios-ecosistemicos-borrador-1.pdf>
- Braat, L. C. (2018). Five reasons why the Science publication “Assessing nature’s contributions to people” (Diaz *et al.*, 2018) would not have been accepted in Ecosystem Services. *Ecosystem Services*, 30(A), A1-A2. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.02.002>
- Brooks, T. M., Lamoreux, J. F., & Soberón, J. (2014). IPBES ≠ IPCC. *Science & Society*, 29(10), 543-545. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2014.08.004>
- Convención Sobre la Diversidad Biológica [CDB]. (2014). *Memorandum of Cooperation between The Secretariat of the Convention on Biological Diversity and The Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. IPBES. <https://www.ipbes.net/system/tdf/agmt-ipbes-2014-10-09-mou-en.pdf?file=1&type=node&id=15239>
- Convención Sobre la Diversidad Biológica [CDB] (s.f.). *SBSTTA Recommendations*. Convention on Biological Diversity. <https://www.cbd.int/recommendations/default.shtml>

- Convención sobre la Diversidad Biológica [CDB] (2018). *Decisión adoptada por la Conferencia de las Partes en el Convenio Sobre la Diversidad Biológica*. CDB. <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-14/cop-14-dec-02-es.docx>
- Díaz, S., Demissew, S., Carabias, J., Joly, C., Lonsdale, M., Ash, N., ... Zlatanova, D. (2015). The IPBES Conceptual Framework – Connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.11.002>
- Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martín-López, B., Watson, R. T., Molnár, Z., ... Shirayama, Y. (2018). Assessing nature's contributions to people. *Science*, 359, 270-272. <https://doi.org/10.1126/science.aap8826>
- Faith, D. P. (2018). Avoiding paradigm drifts in IPBES: Reconciling “nature's contributions to people,” biodiversity, and ecosystem services. *Ecology and Society*, 23(2), 40. <https://doi.org/10.5751/ES-10195-230240>
- Jonsson, B. G., Báldi, A., & Lundquist, C. (2017). The Intergovernmental Science Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES). A global model for biodiversity conservation. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09766-9>
- Kenter, J. O. (2018). IPBES: Don't throw out the baby whilst keeping the bathwater; Put people's values central, not nature's contributions. *Ecosystem Services*, 33, 40-43. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.08.002>
- Laikre, L., Jonsson, B. G., Ihse, M., Marissink, M., Dock-Gustavsson, A. M., Ebenhard, ... Wramner, P. (2008). Wanted scientists in the CBD process. *Conservation Biology*, 22(4), 814-815. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.00991.x>
- Organización de las Naciones Unidas [ONU] (1992). *Convenio Sobre la Diversidad Biológica*. ONU. <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas [ONU] (2013a). *Decisión IPBES 2/4: Marco conceptual de la Plataforma Intergubernamental Científico-normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas*. ONU. https://ipbes.net/system/tdf/downloads/Decision_2_4_es_0.pdf?file=1&type=node&id=14651
- Organización de las Naciones Unidas [ONU] (2013b). *Decisión IPBES 2/5: Programa de trabajo para el período 2014-2018*. ONU. https://ipbes.net/system/tdf/downloads/Decision_2_5_es_0.pdf?file=1&type=node&id=14657
- Organización de las Naciones Unidas [ONU] (2015). *Objetivos de desarrollo sostenible*. ONU. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2018a). *Resumen para los responsables de la formulación de políticas del informe de evaluación regional sobre diversidad biológica y servicios de los ecosistemas para las Américas de la Plataforma Intergubernamental Científico-normativa sobre diversidad biológica y servicios de los ecosistemas*. ONU. https://ipbes.net/system/tdf/ipbes_6_15_add.2_spm_americas_spanish.pdf?file=1&type=node&id=28521
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2018b). *Resumen para los responsables de la formulación de políticas del informe sobre la evaluación temática de la degradación y la restauración de la tierra de la Plataforma Intergubernamental Científico-normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas*. https://ipbes.net/system/tdf/ipbes-6-15-add.5_spm_ldr_spanish.docx?file=1&type=node&id=28891
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2019a). *Decisión IPBES 1/12: Informe del primer período de sesiones del Plenario de la Plataforma Intergubernamental Científico-normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (Anexo II)*. ONU. https://ipbes.net/system/tdf/downloads/IPBES_1_12_Es_0.pdf?file=1&type=node&id=12369
- Organización de las Naciones Unidas [ONU] (2019b). *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. ONU.

- Pascual, U., Balvanera, P., Díaz, S., Pataki, G., Roth, E., Stenseke, M., ... Yagi, N. (2017). Valuing nature's contributions to people: The IPBES approach. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 26(27), 7-16. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.12.006>
- Peterson, G. D., Harmáčková, Z. V., Meacham, M., Queiroz, C., Jiménez-Aceituno, A., Kuiper, J. J., ... Bennett, E. M. (2018). Welcoming different perspectives in IPBES: "Nature's contributions to people" and "Ecosystem services". *Ecology and Society*, 23(1), 39. <https://doi.org/10.5751/ES-10134-230139>
- Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas [IPBES]. (2016a). *Resumen para los responsables de formular políticas del informe de evaluación de la Plataforma Intergubernamental Científico-normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas sobre polinizadores, polinización y producción de alimentos*. IPBES. https://ipbes.net/system/tdf/downloads/pdf/ipbes_4_19_annex_ii_spm_pollination_es.pdf?file=1&type=node&id=28364
- Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas [IPBES]. (2016b). *Resumen para los responsables de formular políticas del informe de evaluación de la evaluación metodológica de hipótesis y modelos de la diversidad biológica y los servicios de los ecosistemas*. IPBES. https://ipbes.net/system/tdf/downloads/pdf/ipbes_4_19_annex_iv_spm_scenarios_es.pdf?file=1&type=node&id=28347
- Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas [IPBES]. (2019). *Comunicado de prensa: Las contribuciones de la diversidad biológica y la naturaleza continúan en peligroso declive, alertan los científicos*. IPBES. <https://www.ipbes.net/news/comunicado-de-prensa-las-contribuciones-de-la-diversidad-biol%C3%B3gica-y-la-naturaleza-contin%C3%BAan->

Estudio holístico de la producción de papel a partir de cáñamo industrial en el contexto colombiano

Holistic Study on the Production of Paper from Industrial Hemp in Colombia

Johana Catalina Manosalva Barrera^{ab}, Javier Andrés Dávila^{ac}
y Julián Andrés Quintero^d

^a Grupo de investigación en Ingeniería de Procesos y Sistemas Industriales, Maestría en Ingeniería de Procesos y Sistemas Industriales, Departamento de Ingeniería, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Colombia

^b johanac.manosalvab@utadeo.edu.co <https://orcid.org/0000-0002-0012-0112>

^c javier.a.davilar@utadeo.edu.co <https://orcid.org/0000-0002-4583-7512>

^d Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Santiago de Chile, Chile julian.quintero@usach.cl <https://orcid.org/0000-0003-1224-5649>

RESUMEN

El desarrollo y la investigación de nuevos productos que puedan sustituir parcial o completamente materias primas empleadas para la producción de energía, productos químicos de alto valor añadido e incluso la fabricación de papel, ha permitido que el cáñamo industrial (*Cannabis sativa L.*) se vuelva atractivo como principal materia prima en la reactivación de una economía de base biológica con altas condiciones y capacidades de producción. A partir de lo anterior, el objetivo de este trabajo investigativo es profundizar sobre el potencial del uso de fibra de cáñamo en la industria del papel, soportados en estudios realizados por el Estado Colombiano en lo referente a las disponibilidad de cultivos forestales con fines comerciales, que inicialmente se destinan para la siembra y producción de recursos madereros como el pino y eucalipto. Se ha considerado de importancia demostrar que el

cáñamo, como fuente de producción primaria, brinda ventajas competitivas económicas, ambientales y sociales frente a los cultivos tradicionales, incluso para las nuevas fuentes de investigación de base biológica.

Palabras claves: cáñamo, celulosa, papel, economía verde, holístico.

Citation: Manosalva-Barrera, J. C., Dávila, J. A. y Quintero, J. A. (2020). Estudio holístico de la producción de papel a partir de cáñamo industrial en el contexto colombiano. *Mutis*, 10(2), 51-69. <https://doi.org/10.21789/22561498.1721>

Recibido: Diciembre 7, 2020. **Aceptado:** Diciembre 30, 2020.

Copyright: ©2020. Manosalva-Barrera, J. C., Dávila, J. A. y Quintero, J. A. (2020). This is an open-access article, which permits unrestricted use, distributions and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Competing Interests: The authors have no conflict of interest.

ABSTRACT

The research and development of new products that could partially or completely replace raw materials used for energy production, high



value-added chemical products, and even the production of paper, has allowed industrial hemp (*Cannabis sativa L.*) to become the main raw material for the reactivation of a bio-based economy with high production conditions and capacities. Based on this, the objective of this research is to deepen on the potential use of hemp fiber in the paper industry, supported by studies carried out by the Colombian State regarding the availability of forest crops for commercial purposes, which are basically used for planting and the production of wood resources such as pine and eucalyptus. It has been considered important to demonstrate that hemp, as a source of primary production, provides competitive economic, environmental, and social advantages over traditional crops, even for new sources of bio-based research.

Keywords: Hemp, cellulose, paper, green economy, holistic.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el sector papelerero se ha venido enfrentando a varios problemas relacionados con la escasez de recursos forestales tradicionales, principalmente la fibra de celulosa para la producción de papel. Por ello, el impacto ambiental de esta industria es una de las causas fundamentales de la problemática a tratar (González-García *et al.*, 2010a). Aunque la madera sigue siendo la materia prima esencial en la producción de papel, el consumo y las investigaciones en torno a fibras no madereras han venido mostrando una tendencia creciente en los últimos años (Plazonić *et al.*, 2016). Los problemas ambientales generados por el uso a gran escala de madera han llevado a la industria del papel a enfocarse estratégicamente en el camino del desarrollo sostenible, aunando esfuerzos para reducir significativamente su impacto ambiental y la escases ecológica mediante el uso de especies de fibra de alta calidad y crecimiento más rápido (que los recursos tradicionales) como materias primas alternativas.

El *Cannabis sativa L.*, conocido como cáñamo industrial, es un material orgánico que presenta concentraciones significativas de polisacáridos (lignina, hemicelulosa y celulosa), los cuales son componentes básicos de sus fibras naturales. Esta especie además contiene extractos y otros compuestos que pueden ser el punto de partida para el desarrollo de productos con alto valor agregado (Kitrytė *et al.*, 2018). Adicionalmente, su cepa contiene un bajo nivel (hasta 0,3%) del principal componente psicoactivo de este tipo de plantas, el tetrahidrocannabinol (THC), lo cual hace idóneo su uso para fines industriales. Prueba de ello es que el mercado global de cáñamo consta de más de 25.000 productos en nueve submercados: agricultura, textiles, reciclaje, automotriz, muebles, alimentos y bebi-

das, papel, materiales de construcción y cuidado personal (Johnson, 2018).

El cáñamo es un recurso no maderero con factores característicos desde la siembra, tales como un consumo mínimo de agua, un rápido crecimiento de la planta (en comparación con las plantaciones de eucalipto, pino y caña de azúcar, las cuales son actualmente la materia base de la industria papelerera) (Becerra-Quiroz *et al.*, 2016), versatilidad, fácil manipulación y un rendimiento superior al de otros cultivos no madereros.

En Colombia se han proyectado inversiones de millones de dólares por parte de empresas multinacionales, las cuales ven en el país un punto focal para la producción, comercialización y exportación de productos a base de cannabis no psicoactivo. Ventajas como sus condiciones climáticas y geográficas y el aumento de acuerdos comerciales y legislativos, convierten al país en un lugar estratégico para el crecimiento de la producción de cáñamo.

Expuesto lo anterior, el objetivo de este trabajo es evaluar el uso del cáñamo como fuente primaria en la obtención de pulpa para la producción de papel y su pertinencia como sustituto o complemento de las materias primas convencionales empleadas en la industria colombiana del papel. Para ello, se caracteriza el material lignocelulósico con respecto al contenido de celulosa, hemicelulosa, lignina, humedad, extractivos y ceniza (Moonart & Utara, 2019), obteniendo papel en laboratorio a partir de la fibra de cáñamo. Lo anterior fue posible gracias a la aplicación de metodologías convencionales, empleando el método Kraft para la obtención de pulpa y realizando una evaluación holística del sistema agrícola del *Cannabis sativa L.*

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del material lignocelulósico

Se plantea la metodología propuesta por el National Renewable Energy Laboratory (NREL), que indicará el contenido de componentes aprovechables, tal como celulosa, hemicelulosa, humedad, extractivos y cenizas.

Antes de cada procedimiento, el cáñamo fue sometido a un tratamiento de secado a 80 °C durante 48 horas, procediendo luego a la molienda. El contenido de humedad se determinó mediante el uso de un horno convencional en el que se sometió el cáñamo a una temperatura de 105 °C durante 24 horas. Las muestras se conservaron en un desecador durante 1 hora para alcanzar la temperatura ambiente. Posteriormente, estas fueron pesadas y se procedió a calcular su contenido de humedad siguiendo el protocolo establecido por la NREL (Partisi, 2008).

Los extractos acuosos y de etanol se determinaron utilizando una extracción Soxhlet con agua y etanol, respectivamente, durante 24 horas por triplicado (Han & Rowell, 2008). Los extractos de etanol contienen clorofila y pigmentos naturales (Dávila *et al.*, 2017), por lo que el contenido total es la suma de los extractivos solubles en agua y etanol.

El contenido de lignina se determinó a partir de una deslignificación con ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 72 % por 1 hora. La muestra se trata en un autoclave y se filtra. Posterior a esto, los residuos se lavan con agua caliente y se secan a 105 °C (Han & Rowell, 2008).

El contenido de holocelulosa se determinó con el uso de clorito de sodio (NaClO₂) al 80 % y ácido acético al 96 %; ambos reactivos se agregaron a la muestra cada hora durante 7 horas. Seguido, la mezcla se filtra y se seca a 105 °C.

El contenido de celulosa se obtuvo agregando hidróxido de sodio (NaOH) al 17,5 % cada 5 minutos por 1 hora, a 20 °C. Luego se filtra y se seca a 40 °C. La diferencia entre el contenido de holocelulosa y celulosa es el contenido de hemicelulosa en la muestra. Finalmente, el contenido de ceniza se obtuvo después de incinerar la muestra a 575 °C durante 3 horas, tras lo cual esta se pasa a un desecador por 30 minutos y es pesada. El proceso se realizó por triplicado (Dávila *et al.*, 2017).

Obtención de pasta de celulosa para la fabricación de papel

La obtención de pulpa de celulosa para la producción de papel involucra el desarrollo de pruebas preliminares con material lignocelulósico. El objetivo de dichas pruebas es conocer las variables que afectan la obtención de la pulpa, adquirir experiencia para mejorar en el proceso productivo del papel a base de cáñamo y estandarizar el proceso de obtención de celulosa para fines productivos.

La producción de papel se realizará a través del método Kraft, el cual permitirá obtener papel con una máxima eficiencia del material lignocelulósico en comparación con otros métodos industriales empleados para la producción de pasta de celulosa, como el tipo sulfito o el método de soda (Chávez-Sifontes & Domine, 2010). El método Kraft consiste en:

- Acondicionamiento de la materia prima (determinar el contenido de humedad), donde esta es previamente tratada para la disminución del tamaño de partícula.
- Preparación del licor blanco para la digestión, que involucra alimentación de la materia prima, acondicionamiento del reactor (P = 40 psi; T = 140 °F) y un tiempo de reacción de 4 horas (van-der-Werf *et al.*, 1994).
- Proceso de cocción.
- Suspensión del proceso, permitiendo que la presión y la temperatura desciendan antes de abrir el reactor.
- Separación de la parte sólida y líquida (separación de la pulpa y el licor negro).
- Blanqueamiento de la pulpa, donde esta es lavada y blanqueada tres veces con hipoclorito de sodio al 13 %.
- Homogenización y laminado de la pulpa, donde se homogeniza y se filtra la pulpa, para posteriormente laminarla de forma artesanal.
- Obtención del producto final.

La primera prueba preliminar realizada (Caso 1) se determinó con un peso del 40 % para el hidróxido de sodio, 8 % para el sulfuro de sodio y 12 % para el carbonato de calcio. Determinando las cantidades de los reactivos necesarios para una masa de 60 g de aserrín de pino a un litro de licor, se realiza el respectivo proceso de reacción. Inicialmente, se toman los valores del Caso 1, se determina la humedad, el número de lavados a realizar y el tipo de reactivo para el proceso de blanqueado (tabla 1).

Tabla 1. Condiciones iniciales de la reacción Caso 1 - Relación 3:1

Peso de la muestra inicial (g)	60
NaOH (g)	120
Na ₂ S (g)	24
CaCO ₃ (g)	36
N.º lavados	3
Reactivo	Hipoclorito de sodio (13 %)

Fuente: elaboración propia.

Estudio holístico del proceso agrícola del cáñamo

Zonificación de las plantaciones forestales comerciales

La delimitación de las hectáreas y zonas destinadas para los cultivos de plantaciones forestales con usos comerciales se basó en un estudio realizado por la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA), titulado “Lineamientos de política: Plantaciones forestales con fines comerciales para la obtención de madera y su cadena productiva”, en el cual se ha optado por clasificar las plantaciones forestales en tres categorías de acuerdo con el nivel de aptitud de los terrenos: A1 (aptitud alta), A2 (aptitud media) y A3 (aptitud baja) (UPRA, 2018).

Simulación del sistema agrícola del cáñamo

Con el fin de analizar los impactos directos del sistema agrícola del cáñamo, así como optimizar e identificar mejoras en caso de que la cadena de producción en las zonas destinadas para tal fin se llevara a cabo con este cultivo (Díaz-Martínez & Zárate-Cruz, 2018), la simulación se desarrollará empleando el software FlexSim, en donde se contemplan los procesos de los

dos subsistemas relevantes: producción agrícola y tratamiento del material.

Toma de decisiones

Para desarrollar un criterio que permita tomar la decisión de potencializar el cultivo de cáñamo como material, en aras de generar una economía verde a gran escala y reemplazar los cultivos de plantaciones tradicionales, se utilizará una matriz multicriterio desarrollada en el software Expert Choice (Tavella *et al.*, 2016) y la metodología de procesos jerárquicos, también conocida como *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del material lignocelulósico con respecto al contenido de celulosa, hemicelulosa, lignina, humedad, extractivos y ceniza

El cáñamo, como materia prima, fue producido en un autocultivo ubicado en Silvania (Cundinamarca, Colombia). La matriz vegetal fue fresada utilizando un molino de impacto SK 100 (RETSCH, Alemania) y tamizada por una serie de tamices Tyler (ASTM E-11) de malla 20-80 µm. Luego, la muestra se conservó a -4 °C (figura 1).

De acuerdo con la metodología planteada y descrita por la NREL, en la tabla 2 se detallan los resultados obtenidos en lo referente a la caracterización del cáñamo.

Tabla 2. Caracterización química del cáñamo

Componente	Contenido (%)	Desviación estándar
Lignina	12,8	± 0,0050
Celulosa	50,3	± 0,0043
Hemicelulosa	27,8	± 0,0032
Cenizas	2,3	± 0,0020
Extractivos	6,8	± 0,0420
Total	100	

Fuente: elaboración propia.

Tallos secos de cáñamo



Cáñamo molido

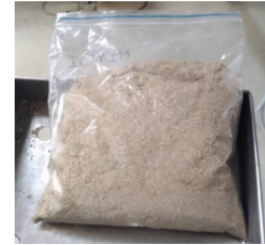


Figura 1. Tallos y cáñamo molido
Fuente: elaboración propia.

Lignina

El contenido de lignina fue de 12,8 %. Comparado con registros de materiales lignocelulósicos similares, como la madera (15-25 %), el bagazo de caña (14 %) y la paja de arroz (6,1 %) (Chávez-Sifontes & Domine, 2010), este contenido es un indicativo de que el cáñamo representa un recurso renovable con potencial de uso industrial, puesto que la lignina tiene aplicaciones que van desde la producción de etanol a partir de la biomasa lignocelulósica, la producción de dispersantes de pesticidas, emulsificantes y sequestradores de metales pesados y la composición de formulaciones para mejorar las propiedades de desempeño de resinas o adhesivos, hasta la producción de carbón activado (Chávez-Sifontes & Domine, 2010).

Celulosa

Los resultados obtenidos indican que el cáñamo es una excelente fuente de celulosa (50,3 %) en comparación con otros materiales lignocelulósicos, como el bambú (34,5 %), el coco (46 %) (Komuraiah *et al.*, 2014), la paja de trigo (30 %), las hojas de maíz (45 %), el residuo de la caña de azúcar (40 %) (Daza-Merchán *et al.*, 2013) e incluso la madera (38-50 %) (Chávez-Sifontes & Domine, 2010), los cuales son las materias primas de mayor potencial en la industria. Es de importancia destacar que no todos los residuos orgánicos son favorables para la obtención de pulpa para la producción de papel. Así, los residuos con potencial de producción están por encima del 44 % de celulosa (González-Velandia *et al.*, 2016).

Hemicelulosa

El cáñamo registra un contenido de hemicelulosa de 27,8 %, un porcentaje superior al registrado por algu-

nos materiales lignocelulósicos con potencial en la industria, como las maderas blandas (23-31 %), las maderas duras (20-40 %), la paja (23-38 %), la hoja de tusa del maíz (11-31 %), la corona de piña (14-50 %) y el tallo de maíz (20 %) (Cebreiros *et al.*, 2020). Dicho porcentaje de hemicelulosa convierte al cáñamo en material adecuado para la producción de biocombustibles y otros productos derivados del azúcar, tales como bioetanol, biobutanol, furfural y xilitol, entre otros (Cebreiros *et al.*, 2020), o como materia prima para la producción de azúcares reductores (Dávila *et al.*, 2017).

Cenizas

Según algunos estudios, el contenido de cenizas de toda la planta debe ser de hasta 3 %, y este no debe ser superior a 5-7 % para que pueda utilizarse como fertilizante u otro subproducto (Sausserde & Adamovics, 2013). En este estudio, el contenido de cenizas del cáñamo (2,3 %) está dentro de los parámetros. Además, el fertilizante obtenido de su ceniza puede ser muy valioso, ya que contiene 24 % de óxido de calcio (CaO), 4,85 % de óxido fosfórico (P₂O₅) y 6,3 % de óxido de potasio (K₂O) (Poisa & Adamovics, 2011).

Obtención de papel a partir de aserrín de pino y cáñamo

Obtención de papel a partir de pino

La reacción llevó un tiempo de 4 horas a una presión de 40 psi y una temperatura de 140 °F, más 30 minutos en espera de la condensación de vapores y el enfriamiento del equipo. Tras obtener el residuo de la reacción, se realiza el primer lavado con agua a fin de eliminar los residuos de ácido que este obtuvo en el proceso de cocción.

Luego, se alternan los blanqueados con hipoclorito de sodio a una concentración de 13 % y con agua, nuevamente, hasta completar 3 ciclos de lavados.

En lo concerniente a este estudio, los casos (1, 2 y 3) son los pesos de los reactivos a tener en cuenta para la preparación del licor de cocción, como se observa en la tabla 3.

Tabla 3. Caracterización química del cáñamo

Reactivos	Rango porcentaje recomendado	Caso 1	Caso 2	Caso 3
NaOH	40-60 %	0,40	0,50	0,60
Na ₂ S	8-15%	0,08	0,12	0,15
CaCO ₃	12-20%	0,12	0,16	0,20
Total		0,60	0,78	0,95

Fuente: elaboración propia.

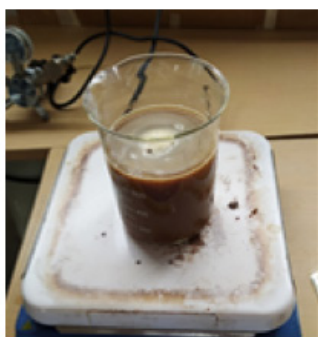
Primer ensayo. Relación 3:1 con aserrín de pino, Caso 1

El primer ensayo se realizó con 60 g de pino a una relación másica 3:1, obteniendo como resultado la composición del licor de cocción así: hidróxido de sodio (NaOH) de 40 % = 120 g; sulfuro de sodio (Na₂S) de 8 % = 24 g; carbonato de calcio (CaCO₃) de 12 % = 36 g. En la figura 2 se observa el cambio de color que se presentó en cada etapa de blanqueado. Para finalizar el proceso, se prosiguió a laminar de forma artesanal la pasta obtenida en un molde de aluminio, donde la

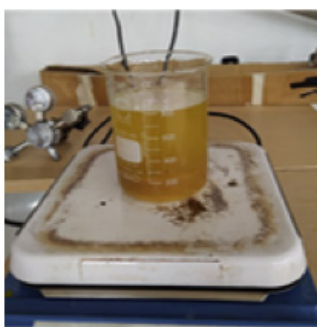
pasta se conservó por 12 horas en la prensa. La lámina obtenida se muestra en la figura 3.

El producto final registró un peso de 15,56 g. De lo anterior, se puede establecer que el rendimiento del proceso fue de aproximadamente 25,88 %. Debido al bajo rendimiento obtenido, se propone que en el siguiente ensayo se aumente la relación másica entre la materia prima y el licor blanco a 5:1, considerando que la reacción de cocción no fue eficiente frente a la cantidad de masa inicial.

Primer lavado con hipoclorito



Segundo lavado con hipoclorito



Tercer lavado con hipoclorito

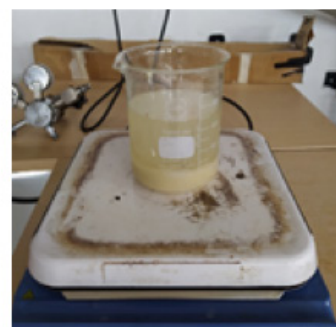


Figura 2. Proceso de blanqueado del primer ensayo preliminar con pino
Fuente: elaboración propia.

Segundo ensayo. Relación 5:1 con aserrín de pino, Caso 1

La segunda prueba preliminar con aserrín de pino se desarrolló con una relación másica de 5:1 del licor de cocción y la materia prima. Se determinó la cantidad de reactivos necesarios para una masa de 60 g de aserrín de pino a un litro de licor. Además, se realizó el

respectivo proceso de reacción descrito en la metodología del objetivo. Teniendo en cuenta lo anterior, los parámetros iniciales del proceso para el segundo ensayo se describen en la tabla 4. Por su parte, en la figura 4 se observa el cambio de color que se presentó en cada blanqueado.



Figura 3. Lámina de pasta de celulosa del segundo ensayo preliminar con pino
Fuente: elaboración propia.

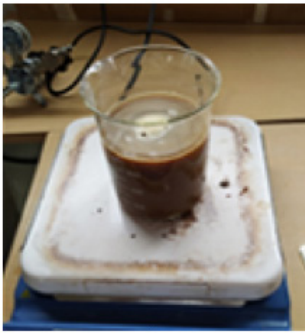
Tabla 4. Condiciones iniciales de la reacción Caso 1 - Relación 5:1

Peso de la muestra inicial (g)	60
NaOH (g)	200
Na ₂ S (g)	40
CaCO ₃ (g)	60
No. lavados	3
Reactivo	Hipoclorito de sodio (13 %)

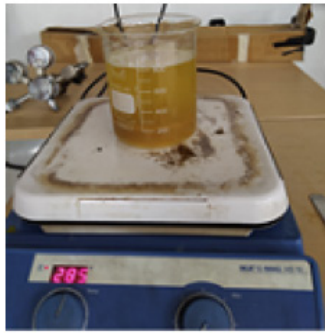
Fuente: elaboración propia.

De este ensayo no se obtuvo un resultado final. Se presenció cuando se realizaban los lavados que la cantidad de material disminuía, por lo cual, al llegar al tercer lavado con hipoclorito, no se obtuvo material suficiente para obtener la lámina. Dado lo anterior, nos limitamos a realizar hacer ensayos con la relación másica 5:1.

Primer lavado con hipoclorito



Segundo lavado con hipoclorito



Tercer lavado con hipoclorito

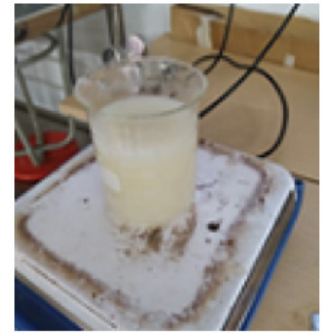


Figura 4. Proceso de blanqueado del segundo ensayo preliminar con pino
Fuente: elaboración propia.

Tercer ensayo. Relación 3:1 con aserrín de pino, Caso 2

Para las pruebas preliminares del tercer ensayo se disminuyó la cantidad de material inicial a 30 g de aserrín de pino para un volumen de un litro, con una relación 3:1. Para este ensayo se emplearon los valores intermedios de los porcentajes de los reactivos, obteniendo las cantidades que se observan en la tabla 5. El proceso obtenido se observa en la figura 5.

Tabla 5. Condiciones iniciales del tercer ensayo, Caso 2 - Relación 3:1

Reactivos	Rango porcentaje recomendado	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 1	Caso 2	Caso 3
NaOH	40-60 %	0,40	0,50	0,60	60	58,1	56,8
Na ₂ S	8-15 %	0,08	0,12	0,15	12	13,4	14,2
CaCO ₃	12-20 %	0,12	0,16	0,20	18	18,6	18,9
Total		0,60	0,78	0,95	90	90	90

Fuente: elaboración propia.



Figura 5. Proceso de blanqueado del tercer ensayo preliminar con pino
Fuente: elaboración propia.

Se obtuvo una lámina (figura 6) tras aplicar los procedimientos establecidos. El producto final obtuvo un peso de 11 g. De lo anterior, se puede establecer que el rendimiento del proceso fue de aproximadamente 36,67 %.



Figura 6. Lámina de pasta de celulosa tras el tercer ensayo preliminar con pino
Fuente: elaboración propia.

Obtención de papel a partir de la fibra de cáñamo

De acuerdo con los ensayos preliminares realizados con pino, se tomaron consideraciones para el desarrollo de las pruebas con cáñamo, entre las cuales están:

- Debido a que durante el desarrollo de las pruebas preliminares se observó un desperdicio de material en el momento del moldeo a causa de la cantidad de material inicial a trabajar, y de acuerdo con el último ensayo trabajado con 30 g de materia seca, el cual obtuvo mayor rendimiento, se consideró trabajar las pruebas finales con 30 g de cáñamo.

- Las pruebas se desarrollaron con una relación másica 3:1 debido a que se obtuvo mejor rendimiento con esta proporción.

Primer ensayo. Relación 3:1 con fibra de cáñamo, Caso 1

La primera prueba final se desarrolló con los parámetros anteriormente expuestos, obteniendo las condiciones del proceso que se detallan en la tabla 6.

Tabla 6. Condiciones iniciales de la primera prueba final con cáñamo, Caso 1 - Relación 3:1

Peso de la muestra inicial (g)	30
NaOH (g)	60
Na ₂ S (g)	12
CaCO ₃ (g)	18
Humedad inicial (%)	14,54
N.º lavados	3
Reactivo	Hipoclorito de sodio (13 %)

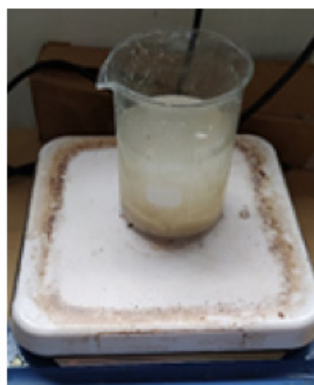
Fuente: elaboración propia.

El proceso se llevó a cabo con las mismas condiciones de tiempo (4 h), temperatura (140 °F) y presión (40 psi). Después de la reacción, se realizaron cuatro lavados con agua y tres blanqueados con hipoclorito de sodio al 13 % para obtener los resultados observados en la figura 8. Para finalizar el proceso, se prosiguió a laminar de forma artesanal la pasta obtenida. Continuando con el proceso, se obtuvo una lámina como la que se muestra en la figura 9.

Primer lavado con hipoclorito



Segundo lavado con hipoclorito



Tercer lavado con hipoclorito



Figura 8. Proceso de blanqueado del primer ensayo con cañamo
Fuente: elaboración propia.

Desmoldado



Figura 9. Lámina de pasta primer ensayo con cañamo
Fuente: elaboración propia.

Nota: se presentó un inconveniente en el reactor después de 2:30 h de empezar la reacción, debido a fallas en el controlador de presión (fallo). Luego de la reacción de la primera prueba se consideran variables a ajustar, como el número de lavados con hipoclorito de sodio, ya que no se observó ninguna diferencia visual tras realizar dos o tres lavados.

Segundo ensayo. Relación 3:1 con fibra de cañamo, Caso 1

Las condiciones del proceso se dan como se detalla en la tabla 7. La segunda prueba final se desarrolló con los mismos parámetros de tiempo (4 h), temperatura (140 °F) y presión (40 psi) que en los procesos anteriormente expuestos. Después de la reacción, se realizaron tres lavados con agua y dos blanqueados con hipoclorito de sodio al 13 % para obtener los resultados observados en la figura 10. Continuando con el proceso, se obtuvo una lámina como la que se observa en la figura 11.

Tabla 7. Condiciones iniciales de la segunda prueba con cáñamo, Caso 1 - Relación 3:1

Peso de la muestra inicial (g)	30,2
NaOH (g)	60
Na ₂ S (g)	12
CaCO ₃ (g)	18
Humedad Inicial (%)	14,54
N.º lavados	3
Reactivo	Hipoclorito de sodio (13 %)

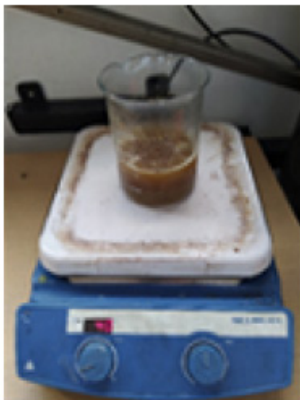
Fuente: elaboración propia.

El producto final registró un peso de 14,59 g. A partir de lo anterior, se puede establecer que el rendimiento del proceso fue de aproximadamente 48,6 %.

Tercer ensayo. Relación 3:1 con fibra de cañamo, Caso 1

La tercera prueba final se desarrolló con los parámetros de tiempo, temperatura y presión señalados en los procesos anteriormente expuestos. Las cantidades de los reactivos y las condiciones a trabajar se observan en la tabla 8. Finalizando el proceso, se obtuvo una lámina como la observada en la figura 12.

Primer lavado con agua



Segundo lavado con hipoclorito



Tercer lavado con hipoclorito



Figura 10. Proceso de blanqueado del segundo ensayo con cáñamo
Fuente: elaboración propia.

Desmoldado



Figura 11. Lámina de pasta del segundo ensayo con cáñamo
Fuente: elaboración propia.

Desmoldado

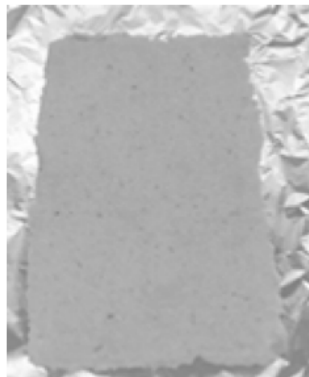


Figura 12. Lámina de pasta del segundo ensayo con cáñamo
Fuente: elaboración propia.

Tabla 8. Condiciones iniciales de la tercera prueba con cáñamo, Caso 1 - Relación 3:1

Peso de la muestra inicial (g)	30
NaOH (g)	60
Na2S (g)	12
CaCO ₃ (g)	18
Humedad inicial (%)	14,54
N.º lavados	3
Reactivo	Hipoclorito de sodio (13 %)

Fuente: elaboración propia.

El producto final reportó un peso de 12,9 g. De lo anterior, se puede establecer que el rendimiento del proceso fue de aproximadamente 43 %.

Resumen y análisis de los resultados

De acuerdo con los procesos realizados en los tres ensayos preliminares con pino y las tres pruebas finales con cáñamo, en la tabla 9 se detalla el resumen de los resultados obtenidos, así como las observaciones que se presentaron durante cada proceso.

Tabla 9. Resumen de resultados obtenidos en todos los ensayos realizados con pino y cáñamo

Ensayo	Muestra	Relación	Peso muestra inicial (g)	Peso muestra final (g)	Rendimiento (%)	Observaciones
1	Pino	3:1	60	15,53	25,88	Proceso sin contratiempos
2	Pino	5:1	60	-	-	Descomposición del material en el tercer lavado con hipoclorito de sodio
3	Pino	3:1	30	11	36,67	El moldeado no salió completo
1	Cáñamo	3:1	30	10,6	35,33	Fallo en el reactor. Dado lo anterior, el material fue insuficiente para cubrir el molde
2	Cáñamo	3:1	30	14,59	48,63	Proceso sin contratiempos
3	Cáñamo	3:1	30	12,9	43,00	Proceso sin contratiempos

Fuente: elaboración propia.

El cáñamo reporta mayor rendimiento en los procesos de obtención de pulpa de celulosa que el pino bajo las mismas condiciones de tratamiento y con menor cantidad de materia prima inicial. Así, el cáñamo se vuelve atractivo para la industria papelera, si se considera la parte visual del mismo. En la figura 13 se compara una lámina de pino con una de cáñamo, visualizando un color más blanco y uniforme en la muestra de cáñamo.

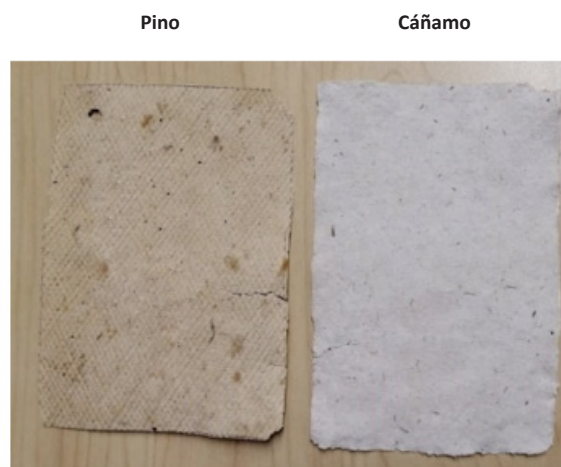


Figura 13. Lámina de pino vs. lámina de cáñamo
Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con los procesos seguidos para la obtención de pulpa de celulosa a base de pino, este material requirió tres blanqueados con hipoclorito de sodio y cuatro lavados con agua para lograr el color y la viscosidad requeridos. Por su parte, en la segunda prueba con cáñamo se comprobó que el tercer blanqueado con hipoclorito de sodio no era necesario para este material; el color y la viscosidad de la lámina era iguales tras realizar tres blanqueados y cuatro

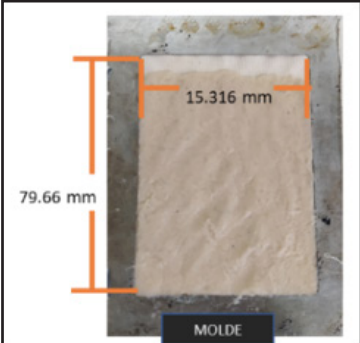


lavados con agua. Lo anterior refleja un ahorro en los procesos de blanqueado de la pulpa, en los reactivos empleados y, por consiguiente, en los costos.

Pruebas gravimétricas

El gramaje del papel es una característica física ampliamente considerada para contrastar la calidad de los diferentes tipos de papel. El gramaje es el peso del papel por unidad de superficie (g/m^2), la cual está determinada por la norma ISO 536: Pesos de papel y gramaje (ISO, 2013). En general, cuanto mayor sea el gramaje del papel, más resistente y gruesa será la hoja. Para la caracterización realizada en esta investigación se contemplaron los parámetros indicados en la tabla 10.

De acuerdo con lo anterior, el papel de cáñamo se clasifica como un “papel con más cuerpo y grosor que el de 80 g., mate o brillante”, atributos recomendables para impresiones de alta calidad. Por otra parte, el papel de pino se clasifica como un “papel grueso o cartulina ligera”, recomendable para impresiones de certificados, pósters y cartulinas, entre otros (ISO, 2013).

Tabla 10. Resumen de resultados obtenidos en los ensayos realizados con pino y cáñamo

		
Peso muestra (g)	15.53	14.59
Área (m ²)	0.122	0.122
Gramaje (g/m ²)	127.3	119.6

Fuente: elaboración propia.

Realización de una evaluación holística del sistema agrícola del cáñamo

Zonificación de áreas de cultivos forestales para fines comerciales

La identificación de zonas de cultivos forestales para fines comerciales se determinó por medio del estudio realizado por el Ministerio de Agricultura junto con entidades como la UPRA. Con el permiso académico

generado por esta última, en la tabla 11 se contempla el número de hectáreas por región natural destinado a fines comerciales, de acuerdo con las condiciones geográficas (aptitud alta, media y baja) y las capacidades de producción de las plantaciones forestales con fines comerciales, en donde el termino de aptitud “hace referencia al grado de adecuación de una determinada unidad de tierra para un tipo específico de uso, calidad del aire rotación de cultivos, pastos limpios, entre otras características”.

Tabla 11. Número de hectáreas (ha) con fines comerciales según regiones sectoriales y condiciones geográficas

Región	Aptitud alta (total ha)	Aptitud media (total ha)	Aptitud baja (total ha)
Andina 3.600.480		2.368.809	2.168.677
Caribe	2.342.724	1.229.938	874.906
Pacífica	684.416	810.226	680.136
Orinoquía	597.912	1.369.217	5.952.642
Amazonía	32.907	439.454	1.653.354
Total ha	7.258.440	6.217.643	11.329.715

Fuente: UPRA (2019).

Aunque las condiciones climáticas para la siembra de ambos cultivos (pino y cáñamo) pueden llegar a ser las mismas, estos cuentan con rendimientos en su producción y condiciones agronómicas diferentes. Al

realizar las comparaciones que se observan en la tabla 12, el cáñamo se presenta como un material con potencial para la producción y comercialización a escala.

Tabla 12. Relaciones comparativas de los cultivos de pino y cáñamo

Pino	Cáñamo
1.100 plantas/ha (ANDI)	4 plantas/m ² , 40.000 plantas/ha (González-García et al., 2010b; Mark & Will, 2019)
Rendimiento de 63,36 t Ms/ha (ANDI)	Rendimiento de 20 t Ms/ha (Jan, 2009)
2,56 t Ms para producir 1 t de papel (ANDI)	2.056 t Ms para producir 1 t de papel
Tiempo de crecimiento de 9-24 meses (Becerra-Quiroz et al., 2016)	Tiempo de crecimiento de 90-120 días (Atmakuri et al., 2019; González-García et al., 2010b) Mínimo consumo de agua (Atmakuri et al., 2019)
Requiere uso de pesticidas	No requiere pesticidas ni irrigación (González-García et al., 2010b)
Costo papel tipo Kraft = COP 361.025/t (ANDI)	Costo papel cáñamo = USD 100-120/t

Fuente: elaboración propia.

Simulación sistema agrícola del cáñamo

Los parámetros a tener en cuenta inicialmente varían en función de los tiempos de procesamiento, siembra y cosecha, así como de la capacidad máxima de procesamiento a una hectárea de cultivo. Del subsistema 1, “Producción agrícola”, los parámetros iniciales considerados fueron: tiempo de germinación de semillas (3-4 semanas), tiempo de fertilización (2 semanas), tiempo

de siembra (90-120 días) (Atmakuri *et al.*, 2019) y tiempo de cosecha (2-4 días). Del subsistema 2, “Tratamiento de la fibra”, los parámetros a contemplar son la eliminación de flores (o *retted*) y el secado (3 semanas), el embalado y el almacenamiento (formación de pacas de 325 kg) (González-García *et al.*, 2010b). La figura 14 presenta el modelo del sistema en el software FlexSim.

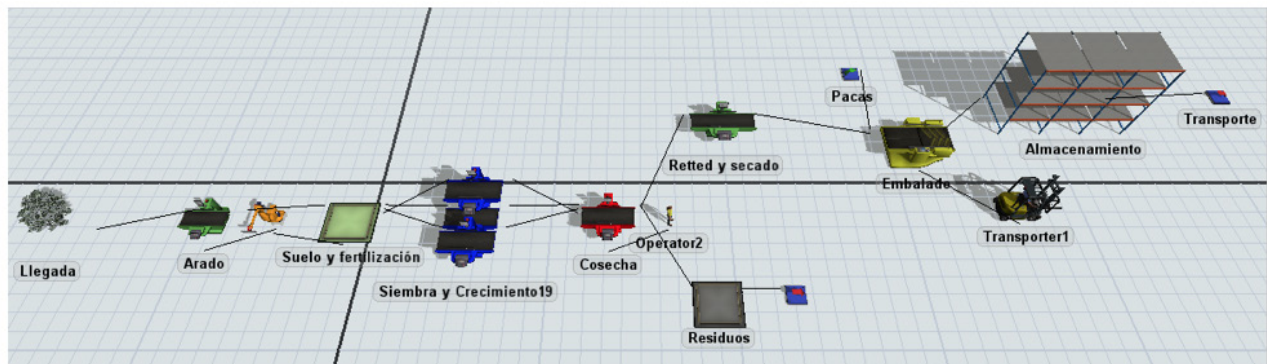


Figura 14. Modelo del sistema agrícola del cáñamo

Fuente: elaboración propia en el software FlexSim.

Al implementar el uso de operarios, ampliar la capacidad de las maquinarias de arado (permitiendo con ello disminuir el tiempo de trabajo), y el uso de maquinaria para la siembra y la fertilización como principales mejoras, se obtienen los análisis descritos en los siguientes apartados.

Resumen y análisis de los resultados

Solo se genera el 10 % de los residuos del total del material destinado para el procesamiento de la fibra. En el almacenamiento, el 90 % de la producción está lista para la distribución, como se observa en los resultados obtenidos por el simulador (figura 15).

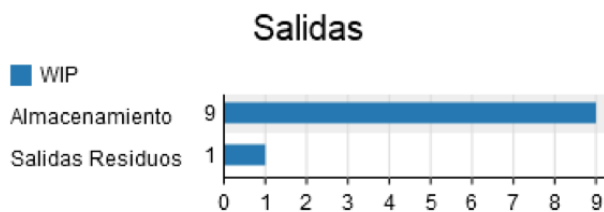


Figura 15. Porcentaje de eficiencia del sistema agrícola
Fuente: elaboración propia en el software FlexSim.

Con el fin de procesar las toneladas requeridas de material por sectores —definidos a lo largo del trabajo como aptitudes alta, media y baja—, y contemplando que cada unidad procesada corresponde a una carga de 100 kg (para efectos de la simulación), para cumplir con los rendimientos de materia seca para el procesamiento de papel se requieren 200 unidades en la zona de aptitud alta, 140 en la zona de aptitud media y 100 en la de aptitud baja. En la tabla 13 se visualizan los resultados concernientes a las unidades producidas y los tiempos promedio de cada proceso.

Dado que los sistemas cumplen con el propósito inicial de cosechar todas las unidades (plantas por tonelada sembrada), las unidades que durante el proceso de secado son mayores se presentan en el sistema de aptitud baja, considerando que este procesó una mayor cantidad de material. Este sistema presentó una eficiencia de 93 % en los procesos de cosecha y secado, en comparación con 87,9 % del sistema de aptitud media y 89,5 % del sistema de aptitud alta. Los tiempos promedio de todos los procesos permanecen estables en los tres sistemas, lo cual garantiza la eficiencia del sistema propuesto.

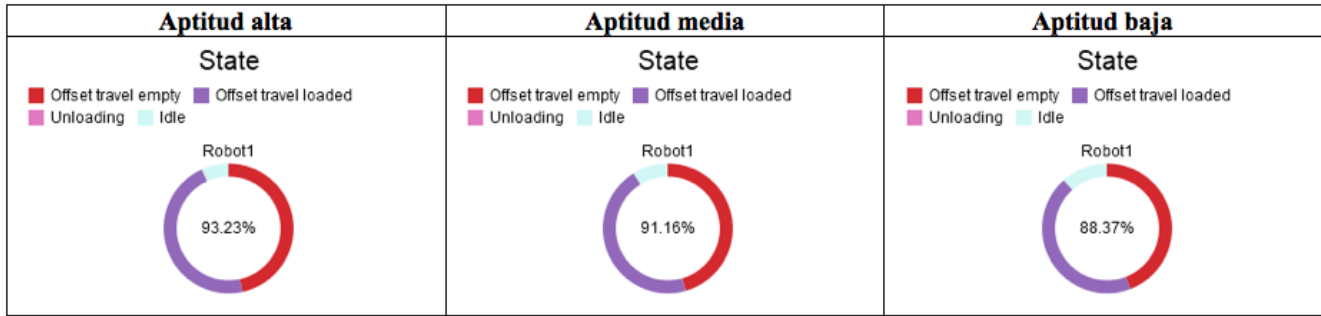
El hecho de incluir maquinaria para el desarrollo de los procesos en el sistema simulado permite determinar que los tiempos de ocio (tabla 14) no son relevantes. Sin embargo, el tiempo perdido en el transporte o los movimientos realizados hasta la preparación de los procesos sí resultan ser altos.

Tabla 13. Capacidades y tiempos promedio en los procesos agrícolas de las plantaciones de cáñamo

Aptitud alta	
<p>Unidades procesadas</p> <p>Throughput</p> <p>Cosecha: 200</p> <p>Retted y secado: 179</p> <p>Embalado: 89</p>	<p>Tiempo de procesamiento</p> <p>AvgStaytime</p> <p>Arado: 39.66</p> <p>Siembra y Crecimiento: 109.39</p> <p>Retted y secado: 22.15</p> <p>Embalado: 22.36</p> <p>Siembra y Crecimiento19: 111.45</p> <p>Siembra y Crecimiento20: 117.18</p>
Aptitud media	
<p>Unidades procesadas</p> <p>Throughput</p> <p>Cosecha: 140</p> <p>Retted y secado: 123</p> <p>Embalado: 61</p>	<p>Tiempo de procesamiento</p> <p>AvgStaytime</p> <p>Arado: 39.50</p> <p>Siembra y Crecimiento: 110.05</p> <p>Retted y secado: 22.68</p> <p>Embalado: 22.61</p> <p>Siembra y Crecimiento19: 111.79</p> <p>Siembra y Crecimiento20: 119.65</p>
Aptitud baja	
<p>Unidades procesadas</p> <p>Throughput</p> <p>Cosecha: 100</p> <p>Retted y secado: 93</p> <p>Embalado: 46</p>	<p>Tiempo de procesamiento</p> <p>AvgStaytime</p> <p>Arado: 39.29</p> <p>Siembra y Crecimiento: 110.48</p> <p>Retted y secado: 23.21</p> <p>Embalado: 21.15</p> <p>Siembra y Crecimiento19: 111.85</p> <p>Siembra y Crecimiento20: 122.84</p>

Fuente: elaboración propia en el software FlexSim.

Tabla 14. Porcentajes de los tiempos de operación de las maquinarias empleadas en el sistema agrícola de cáñamo



Fuente: elaboración propia en el software FlexSim.

Matriz multicriterio

Para poder tomar una decisión con propiedad acerca de cuál es el sector regional que daría los mejores beneficios —no solo de tipo económico, sino también en términos de eficiencia de procesos, utilización y adquisición de recursos, posicionamiento estratégico

y rendimientos, así como un futuro de inversión social—, se realizó la estimación de los criterios relevantes en la toma de decisiones empleando la metodología AHP. Así, se categorizó cada criterio de acuerdo con los grados de importancia de las opciones disponibles, como se observa en la tabla 15.

Tabla 15. Ponderación criterio-alternativa según el modelo AHP

Criterio: posicionamiento estratégico				Criterio: disposición de terreno			
	Aptitud alta	Aptitud media	Aptitud baja		Aptitud alta	Aptitud media	Aptitud baja
Aptitud alta		2	6	Aptitud alta		2	
Aptitud media			3	Aptitud media			
Aptitud baja				Aptitud baja	4	5	
Criterio: adquisición de recursos				Criterio: costos de producción			
	Aptitud alta	Aptitud media	Aptitud baja		Aptitud alta	Aptitud media	Aptitud baja
Aptitud alta			2	Aptitud alta			5
Aptitud media	2		2	Aptitud media	2		6
Aptitud baja				Aptitud baja			
Criterio: rendimientos de producción				Criterio: utilización de los recursos			
	Aptitud Alta	Aptitud media	Aptitud baja		Aptitud alta	Aptitud media	Aptitud baja
Aptitud alta		3		Aptitud alta		2	5
Aptitud media				Aptitud media			2
Aptitud baja	7	8		Aptitud baja			
Criterio: eficiencia en los procesos				Criterio: tiempos de procesamiento			
	Aptitud alta	Aptitud media	Aptitud baja		Aptitud alta	Aptitud media	Aptitud baja
Aptitud alta				Aptitud alta		3	4
Aptitud media	5			Aptitud media			3
Aptitud baja	9	7		Aptitud baja			
Criterio: inversión social							
	Aptitud alta	Aptitud media	Aptitud baja				
Aptitud alta			1				
Aptitud media	5		6				
Aptitud baja							

Fuente: elaboración propia

Resumen y análisis de los resultados

Para el desarrollo de la matriz se planteó como objetivo la “selección de la zona de inversión inicial”, teniendo como criterios base los anteriormente expuestos y

como alternativas las zonas de aptitud, alta, media y baja. Las ponderaciones entre los criterios se observan en la figura 16.

	Posicionan	Disposición	Adquisición	Costos de p	Rendimien	Utilización	Eficiencia c	Tiempos de	Inversión s
Posicionamiento estratégico		1.0	3.0	2.0	3.0	1.0	2.0	3.0	4.0
Disposición de terreno			2.0	2.0	3.0	3.0	2.0	1.0	4.0
Adquisición de recursos				1.0	1.0	1.0	2.0	3.0	6.0
Costos de producción					2.0	1.0	2.0	3.0	5.0
Rendimientos de producción						2.0	3.0	3.0	3.0
Utilización de los recursos							2.0	4.0	5.0
Eficiencia de los procesos								2.0	5.0
Tiempos de procesamiento									5.0
Inversión social	Incon: 0.10								

Figura 16. Ponderación criterio-criterio según el modelo AHP. Fuente: elaboración propia en el software Expert Choice.

El modelo se considera aceptable y con veracidad, ya que el índice de inconsistencia fue igual a 0,10. Por consiguiente, se determina que el posicionamiento estraté-

gico y el rendimiento en la producción (15,5 y 18.5 %, respectivamente) deben ser los criterios de selección de mayor importancia, como se muestra en la figura 17.

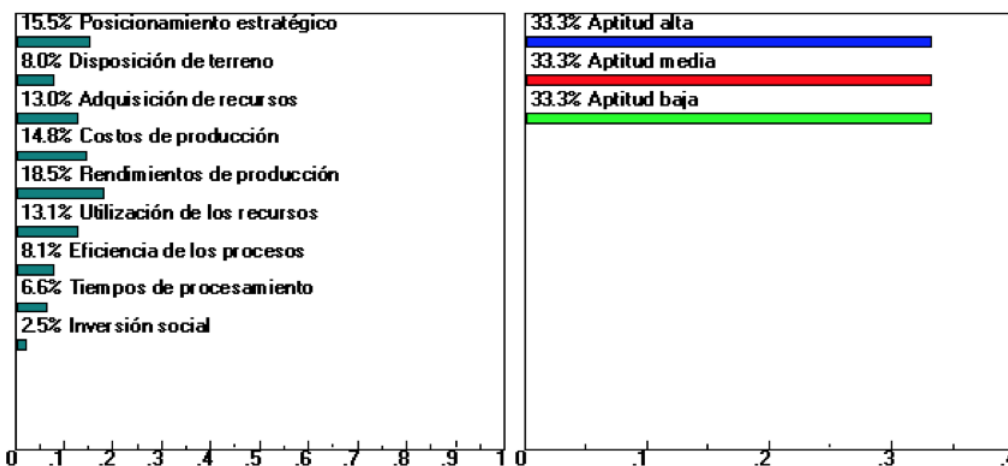


Figura 17. Análisis de sensibilidad dinámico. Fuente: elaboración propia en el software Expert Choice.

Con base en los criterios de interés, se determina que la zona con aptitud alta es la mejor opción para el inicio del proyecto de inversión de cultivos forestales con fines comerciales, como se aprecia en la figura 18.

CONCLUSIONES

El cultivo de cañamo se ha convertido en un modelo de desarrollo que abarca la sociedad, el ambiente y la economía, los principales ejes del desarrollo industrial. Se prevé que con el potencial de los cultivos de cañamo se logrará apoyar a diversos sectores económicos, empezando desde los agricultores, emprendedores y empresarios, hasta llegar al consumidor final; en este caso, las partes integradas del sistema productivo del papel. Además, se ha demostrado

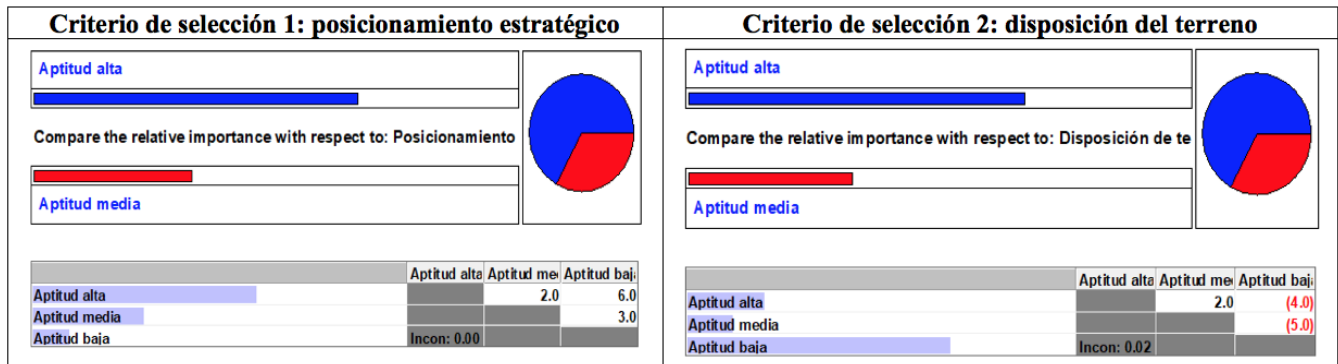


Figura 18. Comparación de los criterios de selección.
Fuente: elaboración propia en el software Expert Choice.

que el cáñamo puede llegar a convertirse en un material potencial para todo tipo de industria (biorrefinería, alimentaria, textil, automotriz, entre muchas otras).

Se estima que en el futuro el cáñamo sustituirá parcial o totalmente las plantaciones forestales tradicionales (pino y eucalipto) destinadas para el comercio. En primera instancia, las propiedades fisicoquímicas del cáñamo representan un gran potencial productivo; sin mencionar que este se puede convertir en una solución a los problemas de deforestación nacional ocasionados por el incremento de la tala ilegal, empleada para el desarrollo de todo tipo de industrias.

Gracias a los proyectos ambientales y de reactivación económica que el Estado Colombiano ha venido fomentando, fue posible analizar el potencial del cáñamo como cultivo de producción en masa, demostrando que este cultivo cuenta con grandes perspectivas comerciales a escala nacional e internacional, debido al interés mundial por esta planta.

Gracias a la geografía de Colombia y a las condiciones climáticas, la calidad y economía de los procesos y la mano de obra del país —lo que a lo largo del trabajo se denominó zonas con aptitud alta—, la región Andina y gran parte de la región Caribe cuentan con más de 7 millones de hectáreas óptimas para la producción, comercialización y desarrollo de nuevos productos, lo que permitiría a esta industria innovar a futuro mediante el uso de biotecnologías verdes enfocadas en el desarrollo sostenible.

El estudio de zonificación de áreas forestales para

finés comerciales realizado por la UPRA permitió establecer un punto de partida para la producción del cultivo de cáñamo como sustituto de materiales tradicionales de la industria papelera, lo cual representa un avance para futuros estudios financieros, productivos e industriales orientados hacia la innovación de la economía verde del país.

El proceso de obtención de papel de manera tradicional permite formular mejoras en los procesos de secado y laminado en aras de optimar las condiciones visuales del producto final. Así mismo, se recomienda perfeccionar el proceso de lavado, puesto que es posible disminuir el uso de químicos para mejorar la coloración del material, como se demostró en esta investigación, tras comprobar que al disminuir un lavado se obtiene material en su mayoría blanco, lo cual resulta favorable para la industria y el consumidor.

REFERENCIAS

- Atmakuri, A., Palevicius, A., Griskevicius, P., & Janušas, G. (2019). Investigation of mechanical properties of hemp and flax fibers hybrid composites for biomedical applications. *Mechanika*, 25(2), 149-155. <https://doi.org/10.5755/j01.mech.25.2.22712>
- Becerra-Quiroz, A. P., Buitrago-Coca, A. L., & Pinto-Baquero, P. (2016). Sostenibilidad del aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar en el Valle del Cauca, Colombia. *Ingeniería Solidaria*, 12(20), 133-149. <https://doi.org/10.16925/in.v12i20.1548>

- Cebreiros, F., Clavijo, L., Boix, E., Ferrari, M. D., & Lareo, C. (2020). Integrated valorization of eucalyptus sawdust within a biorefinery approach by autohydrolysis and organosolv pretreatments. *Renewable Energy*, *149*, 115-127. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.024>
- Chávez-Sifontes, M., & Domine, M. E. (2010). Lignina, estructura y aplicaciones: Métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, *4*(4), 15-46. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4710101>
- Dávila, J. A., Rosenberg, M., & Cardona, C. A. (2017). A biorefinery for efficient processing and utilization of spent pulp of Colombian Andes Berry (*Rubus glaucus* Benth.): Experimental, techno-economic and environmental assessment. *Bioresource Technology*, *223*, 227-236. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.10.050>
- Daza-Merchán, Z. T., Escudero-Agudelo, J., Gil-Zapata, N. J., & Mora-Muñoz, O. Y. (2013). Evaluación de las enzimas celulolíticas producidas por hongos nativos mediante fermentación en estado sólido (SSF) utilizando residuos de cosecha de caña de azúcar. *Revista Colombiana de Biotecnología*, *15*(1), 108-117. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/30844>
- Díaz-Martínez, M. A., & Zárate-Cruz, R. (2018). Simulación Flexsim, una nueva alternativa para la ingeniería hacia la toma de decisiones en la operación de un sistema de múltiples estaciones de prueba. *Revista Científica del Instituto Politécnico Nacional de México*, *22*(2), 1-17.
- González-García, S., Hospido, A., Feijoo, G., & Moreira, M. T. (2010a). Life cycle assessment of raw materials for non-wood pulp mills: Hemp and flax. *Resources, Conservation and Recycling*, *54*(11), 923-930. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.01.011>
- González-García, S., Moreira, M. T., Artal, G., Maldonado, L., & Feijoo, G. (2010b). Environmental impact assessment of non-wood based pulp production by soda-anthraquinone pulping process. *Journal of Cleaner Production*, *18*(2), 137-145. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.10.008>
- González-Velandia, K. D., Daza-Rey, D., Caballero-Amado, P. A., & Martínez-González, C. (2016). Evaluación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel. *Luna Azul*, *43*(43), 499-517. <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.43.21>
- Han, J. S., & Rowell, J. S. (2008). Chemical composition of fibers. *Paper and Composites from Agro-Based Resources*, *283*, 83-134.
- Jan, E. G. (2009). Environmental benefits of natural fibre production and use. *Proceedings of the Symposium on Natural Fibres*, 3-17. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0709e/i0709e03.pdf>
- Johnson, R. (2018). *Hemp as an agricultural commodity*. Congressional Research Service. <https://fas.org/sgp/crs/misc/RL32725.pdf>
- Kitrytė, V., Bagdonaitė, D., & Rimantas-Venskutonis, P. (2018). Biorefining of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) threshing residues into cannabinoid and antioxidant fractions by supercritical carbon dioxide, pressurized liquid and enzyme-assisted extractions. *Food Chemistry*, *267*(March), 420-429. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.080>
- Komuraiah, A., Kumar, N. S., & Prasad, B. D. (2014). Chemical composition of natural fibers and its influence on their mechanical properties. *Mechanics of Composite Materials*, *50*(3), 359-376. <https://doi.org/10.1007/s11029-014-9422-2>
- Mark, T. B., & Will, S. (2019). Economic issues and perspectives for industrial hemp. En D. W. Williams (ed.), *Industrial hemp as a modern commodity crop* (pp. 107-118). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America <https://doi.org/10.2134/industrialhemp.c7>
- Moonart, U., & Utara, S. (2019). Effect of surface treatments and filler loading on the properties of hemp fiber/natural rubber composites. *Cellulose*, *26*(12), 7271-7295. <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02611-w>
- Organización Internacional de Normalización [ISO]. (2013). *Papel y cartón. Determinación del gramaje (ISO 536:2012)*. ISO

- Plazonić, I., Barbarić-Mikočević, Ž., Bates, I., & Malnar, L. (2016). Chemical stability of prints made on hemp fibre based papers. *Acta Graphica: Journal for Printing Science and Graphic Communications*, 27(3), 25-30.
- Poisa, L., & Adamovics, A. (2011). Evaluate of hemp (*Cannabis sativa* L.) quality parameters for bioenergy production. *Engineering for Rural Development*, 26, 358–362.
- Sausserde, R., & Adamovics, A. (2013). Industrial hemp for biomass production. *Journal of Agricultural Engineering*, 44(2s), 10-13. <https://doi.org/10.4081/jae.2013.s2.e123>
- Tavella, M. A., Miropolsky, A., & Maner, R. (2016). Aplicación del software Expert Choice como herramienta de soporte de decisión para la localización sustentable de parques industriales. *Tecnología y Ciencia*, 28, 5-16.
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA]. (2018). *Plantaciones forestales con fines comerciales para la obtención de madera y su cadena productiva*. UPRA. <https://bit.ly/36zrrd4>
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA]. (2019). *Zonificación para plantaciones forestales con fines comerciales. Escala 1:100.000*. UPRA. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/34413>
- van-der-Werf, H. M. G., Harsveld-van-der-Veen, J. E., Bouma, A. T. M., & Ten-Cate, M. (1994). Quality of hemp (*Cannabis sativa* L.) stems as a raw material for paper. *Industrial Crops and Products*, 2(3), 219-227. [https://doi.org/10.1016/0926-6690\(94\)90039-6](https://doi.org/10.1016/0926-6690(94)90039-6)

Registro preliminar de la herpetofauna asociada a bosque de galería y a la subcuenca del río Camoa de la Reserva El Caduceo, San Martín, Meta, Colombia

Preliminary Checklist of the Herpetofauna of the Gallery Forest and the Camoa River Sub-basin at El Caduceo Nature Reserve, San Martín, Meta, Colombia

Valentina Giraldo Gutiérrez^a, Laura Nathaly Pachón Pontón^a,
Daniela Trujillo Cortes^a, Juliana Andrea Peñaranda Carrillo^a
y Jordan Steven Ruíz Toquica^{ab}

^a Programa de Biología Marina, Área Académica de Ciencias Biológicas y Ambientales, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Colombia

^b jordan.ruiz@utadeo.edu.co <https://orcid.org/0000-0002-5456-2434>

RESUMEN

Actualmente, en La Reserva Natural El Caduceo, San Martín, Meta, se han registrado cerca de 18 especies de anfibios y 27 de reptiles. Sin embargo, los registros existentes no son suficientes para determinar el estado de sus comunidades, lo que hace cada vez más difícil continuar con la labor de conservación y protección de estos organismos. Este trabajo buscó identificar de manera preliminar algunas de las familias y especies de herpetofauna asociadas a esta reserva natural tomando como

referencia las unidades paisajísticas del bosque de galería y la subcuenca del río Camoa, las cuales han estado bajo presión de actividades antrópicas. Allí, se realizaron recorridos longitudinales y capturas directas en dos puntos de muestreo durante jornadas diurnas y nocturnas. Se registraron nueve especies de las familias Ranidae, Hylidae, Bufonidae, Testudinidae, Dipsadidae, Colubridae, Teiidae, Sphaerodactylidae y Gekkonidae. Además, se reporta por primera vez la presencia de geckos invasores del género *Hemidactylus*, por lo que se debe continuar con monitoreos sobre el estado actual de esta posible población invasora y su impacto sobre las poblaciones nativas, así

Citation: Giraldo-Gutiérrez, V., Pachón-Pontón, L. N., Trujillo-Cortés, D., Peñaranda-Carrillo, J. A. y Ruíz-Toquica, J. S. (2020). Registro preliminar de la herpetofauna asociada a bosque de galería y a la subcuenca del río Camoa de la Reserva El Caduceo, San Martín, Meta, Colombia. *Mutis*, 10(2), 70-78. <https://doi.org/10.21789/22561498.1708>

Recibido: Diciembre 22, 2020. **Aceptado:** Diciembre 30, 2020.

Copyright: ©2020. Giraldo-Gutiérrez, V., Pachón-Pontón, L. N., Trujillo-Cortés, D., Peñaranda-Carrillo, J. A. y Ruíz-Toquica, J. S. This is an open-access article, which permits unrestricted use, distributions and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Competing Interests: The authors have no conflict of interest.



como generar reportes sobre el estado de la comunidad de herpetofauna en esta zona, especialmente durante diferentes épocas del año.

Palabras clave: herpetofauna, bosque de galería, muestreo directo, subcuenca río Camoa, *Hemidactylus* sp.

ABSTRACT

Nearly 18 species of amphibians and 27 species of reptiles have been reported at “Reserva Natural El Caduceo,” San Martín, Meta (Colombia). However, there are no sufficient reports to determine the state of these communities, which makes the conservation and protection efforts of these organisms harder to perform. This work preliminarily identified some of the associated families and species of amphibians and reptiles occurring at this natural reserve. We considered two landscape units that have been under the pressure of human activities: gallery forest and the Camoa river sub-basin. Surveys through longitudinal transects and direct observations were performed in two sample sites during day and night. We report nine species belonging to the families Ranidae, Hylidae, Bufonidae, Testudinidae, Dipsadidae, Colubridae, Teiidae, Sphaerodactylidae, and Gekkonidae. We also state the presence of invading geckos (genus *Hemidactylus*) and suggest continuous monitoring of the current state of this invading population and its impact on native populations. More reports on the state of amphibian and reptile fauna occurring in these sites are needed, especially during different seasons.

Keywords: Herpetofauna, gallery forest, direct sampling, Camoa River sub-basin, *Hemidactylus* sp.

INTRODUCCIÓN

Los reptiles y anfibios representan uno de los grupos faunísticos más importantes y diversos dentro de los biomas terrestres y acuáticos colombianos (Angarita *et al.*, 2015). Entre los ecosistemas que albergan mayor diversidad de estos grupos se encuentran selvas, bosques altoandinos, cuencas hidrográficas, montañas húmedas, praderas, desiertos, llanuras inundables y sabanas (Mora *et al.*, 2015; Van-der-Hammen & Andrade, 2003). Estos dos últimos están bien representados en la región Orinoquia, específicamente en el departamento del Meta, entre las zonas de piedemonte de la cordillera Oriental (Caro-Caro *et al.*, 2010).

En esta zona se han reportado 25 especies de anfibios, que incluyen ranas y sapos, siendo las familias Leptodactylidae, Hylidae, Phyllomedusidae, Microhylidae, Bufonidae y Ranidae las más representativas (Franco, 2017). En cuanto a reptiles se conocen 35 especies, que incluyen tortugas, caimanes, lagartos, serpientes y cocodrilos, representadas en 15 familias: Boidae, Colubridae, Diapsidae, Elapidae, Viperidae, Cheidae, Testudinae, Podocnemididae, Alligatoridae, Sphaerodactylidae, Scincidae, Teiidae, Iguanidae, Corytophanidae y Crocodylidae (Franco, 2017).

Pese a la importancia que revisten estos grupos para el flujo de energía y nutrientes (tanto en ambientes terrestres como acuáticos) y el balanceo de los ecosistemas (Fernández-López & Lavín-Murcio, 2016; McDiarmid *et al.*, 2012; Valencia-Aguilar *et al.*, 2018), no se cuenta con suficiente información y existen pocos inventarios sobre su distribución, historia natural y diversidad, incluso en zonas como El Caduceo, en San Martín, Meta, la cual funciona como reserva natural. Esta situación dificulta no solo el aprovechamiento de los recursos naturales, sino también su protección y conservación (Kumari *et al.*, 2017). Además, algunas de estas zonas han sido intervenidas para actividades de agricultura, lo que puede representar una amenaza para la diversidad, especialmente de estos grupos, los cuales dependen de los cuerpos de agua que posiblemente puedan verse contaminados por los residuos de estas actividades (Faúndez *et al.*, 2017).

Este trabajo registra 11 especies de reptiles y anfibios como parte de un estudio preliminar de esta comunidad faunística en la reserva El Caduceo, San Martín, Meta, Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La Reserva Natural el Caduceo se localiza entre el límite de la Cordillera Oriental y los llanos orientales, específicamente en la vereda de San Francisco, a 4,1 km en dirección sureste del caso urbano del municipio de San Martín, en el departamento del Meta, Colombia (3°39'55.3"N 73°39'28.2"W), como se observa en la figura 1 (Basto-González, 2009; Fonseca & Mahecha, 2018). La reserva cuenta con una extensión de 173 ha, de las cuales 70 ha hacen parte de bosques, galerías inundables y no inundables, dispuestos principalmente para la preservación de la biodiversidad de la zona local (Casallas *et al.*, 2017). De igual forma, al clasificarse como un biotopo mixto, posee unidades paisajísticas variadas, que incluyen también la subcuenca del río Camoa (Treviño *et al.*, 2001).

Esta reserva se ubica entre los 359 y 400 m s. n. m. y es afectada por el clima de la región, el cual muestra una precipitación promedio anual de 255,4 mm y una temperatura promedio de 25,5 °C, con fluctuaciones entre 23,1 y 28,2 °C. Entre los meses de abril y noviembre persiste la temporada de lluvias, que supera el 80 % de humedad relativa (Cantillo-Rodríguez, 2009). En cuanto al estado de conservación vegetativa del territorio, este cuenta con una flora heterogénea, a pesar de evidenciar una sucesión ecológica temprana, pues se encuentra en un proceso de modificación ordenada sobre su entorno físico, representado por un bosque secundario compuesto de helechos (*Dicranopteris* spp) y palmitos (*Euterpe precatoria*) (Annicchiarico *et al.*, 2006; Basto-González, 2009).



Figura 1. Área de estudio: Reserva Natural el Caduceo, Municipio de San Martín, Meta, Colombia. Se señalan las dos estaciones de muestreo y los transectos marcados.
 Fuente: adaptado de Basto-González (2009) y Fonseca y Mahecha (2018).

Fase de campo

Los muestreos se realizaron los días 14 y 15 de noviembre de 2020. Estos se llevaron a cabo en la primera jornada entre 5:00 y 8:00 p. m. en ambas es-

taciones, de 9:00 a 11:30 p. m. únicamente en la estación dos, y entre 6:00 y 8:00 a. m. para el segundo día, con un esfuerzo de muestreo acumulado de 7,5 horas/persona por cuatro observadores, entre las dos

estaciones estudiadas. Se seleccionaron dos estaciones con coordenadas 3°40' 09,0"N 73°39' 28,1"W: la primera corresponde a la parte alta de la subcuenca del río Camoa y abarcó un área total de 37,8 m², compuesta por un terreno rocoso y gran presencia de organismos talófitos, briófitos y macroinvertebrados; la segunda está situada en las zonas más espesas del bosque de galería, las planicies arenosas y el afluente

compuesto por vegetación estrecha y suelos cenagosos. Se llevaron a cabo muestreos directos con recorridos extensivos en zigzag, como se observa en las figuras 2 y 3 (Aguirre-León, 2011). Los organismos fueron capturados de forma manual y fotografiados, tras lo cual todos fueron liberados. Para la determinación taxonómica se empleó la guía de Caicedo *et al.* (2018).

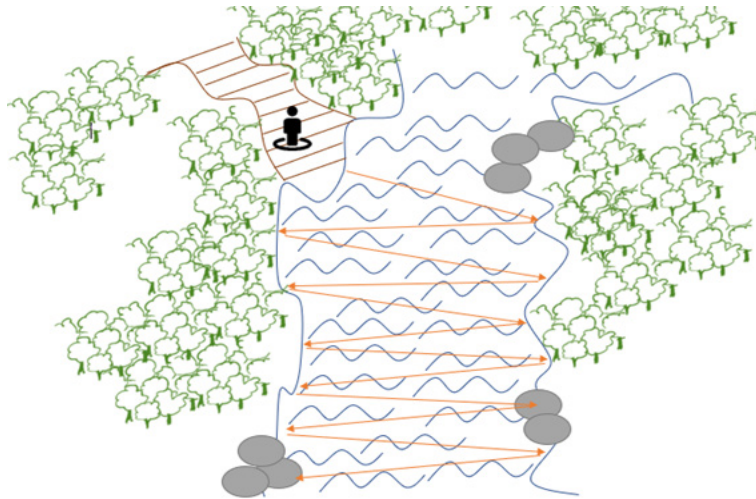


Figura 2. Recorrido extensivo directo en zigzag de la estación 1: zona alta de la subcuenca del río Camoa.

Fuente: elaboración propia.

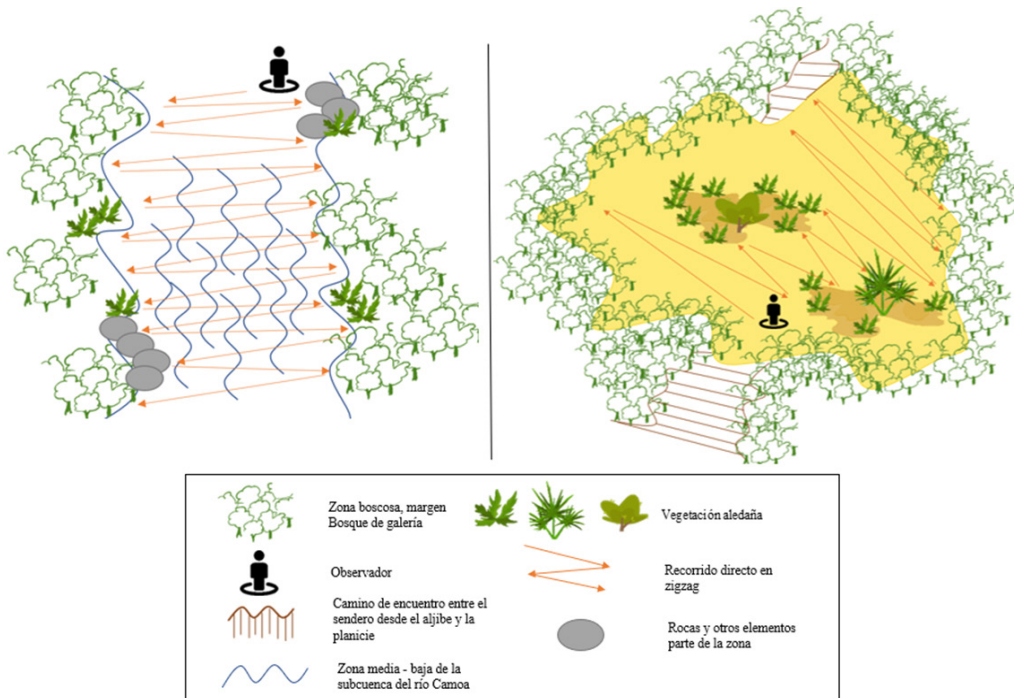


Figura 3. Recorrido extensivo directo en zigzag de la estación 2: bosque de galería, afluente y planicie.

Fuente: elaboración propia.

RESULTADOS

Se registraron 11 individuos: cuatro anfibios representantes de las familias Ranidae (*Lithobates palmipes*), Bufonidae (*Rhinella* sp) e Hylidae (*Scinax ruber* y *Boana* sp) y siete especies de reptiles dentro de las

familias Colubridae (*Helicops angulatus*), Dipsadidae (*Leptodeira rhombifera* y *Leptodeira* sp), Testudinidae (*Chelonoidis carbonaria*), Teiidae (*Cnemidophorus lemniscatus*), Sphaerodactylidae (*Gonatodes concinnatus* (H)) y Gekkonidae (*Hemidactylus* sp), como se detalla en la tabla 1 y la figura 4.

Tabla 1. Localización y registro taxonómico de algunas familias de anfibios y reptiles en la Reserva el Caduceo

Orden	Familia	Especie	E1	E2	Estado	Acceso
Anura	Hylidae	<i>Boana</i> sp.	-	1	Estable (La-Marca <i>et al.</i> , 2010)	https://www.inaturalist.org/observations/70463305
		<i>Scinax ruber</i>	1	-	Estable (Solís <i>et al.</i> , 2010)	https://www.inaturalist.org/observations/70463315
	Bufonidae	<i>Rhinella</i> sp.	-	1	En aumento (Solís <i>et al.</i> , 2009)	https://www.inaturalist.org/observations/70463314
	Ranidae	<i>Lithobates palmipes</i>	1	3	Estable (La-Marca <i>et al.</i> , 2010)	https://www.inaturalist.org/observations/70463313
Testudines	Testudinidae	<i>Chelonoidis carbonaria</i>	-	1	Crítico-Vulnerable (Carvajal <i>et al.</i> , 2019)	https://www.inaturalist.org/observations/70463306
Squamata	Sphaerodactylidae	<i>Gonatodes concinnatus</i> (H)	-	1	Estable (Aparicio <i>et al.</i> , 2016)	https://www.inaturalist.org/observations/70463307
	Gekkonidae	<i>Hemidactylus</i> sp.	-	1	Estable (Pazmiño-Otamendi, 2019)	No se cuenta con registro fotográfico
	Teiidae	<i>Cnemidophorus lemniscatus</i> (H)	-	1	Estable (Rivas y Murphy, 2019)	No se cuenta con registro fotográfico
	Colubridae	<i>Helicops angulatus</i>	-	1	Estable (Nogueira <i>et al.</i> , 2019)	https://www.inaturalist.org/observations/70463309
		<i>Leptodeira</i> sp	2	-	Estable (Bolívar <i>et al.</i> , 2017)	https://www.inaturalist.org/observations/70463311
<i>Leptodeira rhombifera</i>		-	1	Estable (Porras <i>et al.</i> , 2013)	https://www.inaturalist.org/observations/70463310	

H: hembra, E.1: estación 1, E.2: estación 2.

Fuente: elaboración propia.

DISCUSIÓN

Los muestreos de captura directa de anfibios y reptiles permitieron identificar un total de 11 especies mayoritariamente asociadas a la zona alta de la subcuenca del río Camoa, en comparación con los muestreos dentro del bosque de galería (Scrocchi & Kretzschmar, 1996). De las 15 familias reportadas por Caicedo *et al.* (2018) para la reserva El Caduceo, este trabajo registra solo 8 (tabla 1). Además, se registró la presencia de *Hemidactylus* sp. (Gekkonidae), especie que no se encontraba en los reportes previos para esta zona, a

pesar de ser reconocida como un modelo de invasión por difusión estratificada mediante la expansión y dispersión tanto en las zonas aledañas de su ubicación como en áreas de larga distancia, factor que se propicia por el transporte de carga en las vías de Colombia (Aponte-Gutiérrez *et al.*, 2019; Caicedo-Portilla *et al.*, 2011).

En cuanto al estado de conservación de cada uno de los organismos observados (tabla 1), de acuerdo con la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2020), cerca de 81,82 % de

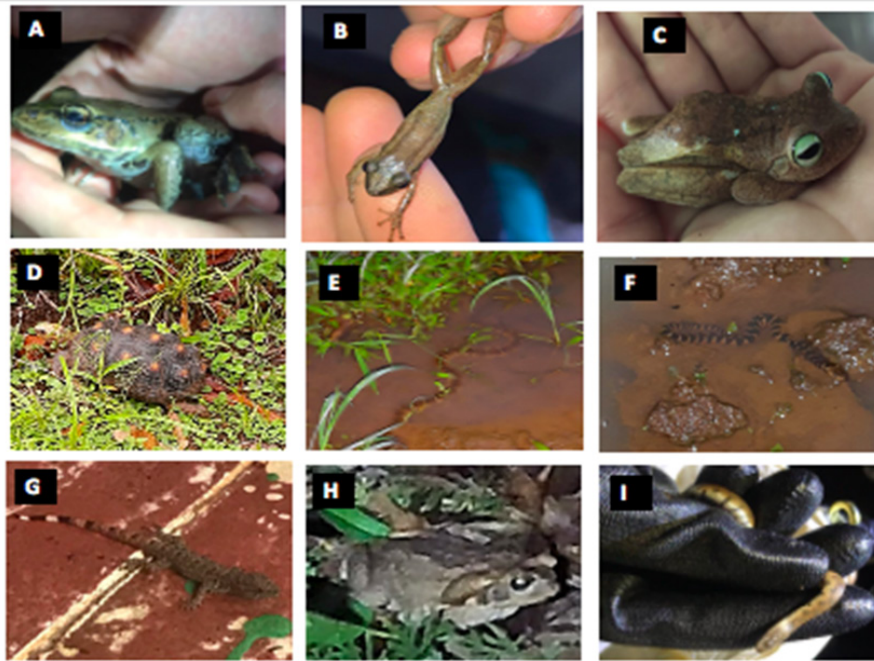


Figura 4. Especies de anfibios y reptiles identificados en la reserva El Caduceo: **A** *Lithobates palmipes*; **B** *Scinax ruber*; **C** *Boana* sp.; **D** *Chelonoidis carbonaria*; **E** *Helicops angulatus*; **F** *Leptodeira rhombifera*; **G** *Gonatodes concinnatus*; **H** *Rhinella* sp.; **I** *Leptodeira* sp.

Fuente: fotografías tomadas por Trujillo (B, I, G), Giraldo (A, F), Peñaranda (H) y Pachón (C, D, E).

estos individuos pertenecen a una comunidad con un crecimiento estable y de menor preocupación, mientras que el 9,09 % restante se considera en estado crítico-vulnerable. De otro lado, se cree que un pequeño porcentaje de las especies observadas está dentro de poblaciones con dinámicas que van en aumento, lo que sugiere una posible recuperación de esta zona a lo largo del tiempo, dado que se sabe que ha atravesado por un proceso de sucesión ecológica que ha permitido una modificación ordenada sobre su entorno físico, el cual ahora está representado por un bosque secundario (Fonseca & Mahecha, 2018). Además, se sabe que la presencia de anfibios es un excelente bioindicador del estado de salud y recuperación de un ecosistema (Houston *et al.*, 2018; Saber *et al.*, 2017), por lo que se ha observado que familias como Hylidae, Hylodidae, Leiuperidae y Bufonidae tienen una eficiencia mayor al 60 % como bioindicadores para dichos estados (Campos *et al.*, 2014).

En concordancia, la creciente herpetofauna de esta comunidad resulta de vital importancia para el restablecimiento de las zonas boscosas de la región, dado que varias de estas especies ofrecen múltiples

servicios ecológicos como reguladores de la polinización y la dispersión de semillas para plantas de interés comercial y ecológico (Blake *et al.*, 2012), así como para el control de las poblaciones de roedores e insectos que afectan al ser humano al ser portadores de enfermedades o provocar daños en los cultivos (Fernández-López & Lavín-Murcio, 2016; Roy *et al.*, 2012; Lindgren *et al.*, 2014). Del mismo modo, las especies identificadas proveen sustento alimenticio para el humano, sirven como materia prima y acumulan alcaloides, los cuales son una fuente de biocompuestos medicinales benéficos (Aguilar *et al.*, 2006; De-Azevedo *et al.*, 2011).

CONCLUSIONES

El presente trabajo es un estudio preliminar que logró identificar algunas familias de herpetofauna en la reserva El Caduceo en torno a la vegetación del bosque de galería y los alrededores del cuerpo de agua de la subcuenca del río Camoa. De esta manera, es necesario realizar estudios adicionales y más robustos para monitorear y determinar con certeza el estado

actual de las comunidades faunísticas en esta zona, con el objetivo de confirmar si la ausencia de familias de herpetofauna puede deberse a factores independientes al tipo de muestreo. Así mismo, se hace necesario realizar estudios durante la época seca para determinar posibles diferencias con relación a la época lluviosa, permitiendo establecer si las estaciones climáticas son un factor determinante de la presencia o ausencia de estos organismos en la zona. Por último, resulta importante continuar con el monitoreo de la posible población invasora de *Hemidactylus* dentro de la reserva y estimar su posible impacto para las especies nativas.

REFERENCIAS

- Aguilar, A., Gómez, A., & Agudelo, C. (2006). Servicios ecosistémicos brindados por los anfibios y reptiles del neotrópico: una visión general. *Capital Natural Colombia*, 2(1), 6-9.
- Aguirre-León, G. (2011). Métodos de estimación, captura y contención de anfibios y reptiles. *Manual de Técnicas para el estudio de la Fauna*, 1(1), 48-65.
- Annicchiarico, L., Cornelio, A., Morales, M., Hoyos, J., Cortes, P., Díaz, A., Suarez, A., & Urrego, D. (2006). *Plan de Manejo. Zona de estudio finca "El Caduceo", San Martín de los Llanos - Meta (Colombia)*. Universidad Nacional de Colombia.
- Angarita, M., Montes, O. A. C., & Renjifo, J. M. (2015). Amphibians and reptiles of an agroforestry system in the Colombian Caribbean. *Amphibian & Reptile Conservation*, 8(1), 33-52.
- Aparicio, J., Avila-Pires, T. C. S., Moravec, J., & Perez, P. (2016). *Gonatodes concinnatus*. *La lista roja de especies amenazadas de la iucn 2016: e.T44579268A44579277*. IUCN. <https://www.iucnredlist.org/species/44579268/44579277>
- Aponte-Gutiérrez, A. F., Niño-Cárdenas, L., Arias-Escobar, A., & Lynch, J. D. (2019). Diversidad de anfibios y reptiles de la "serranía" de Manacacías, Municipio de San Martín (Meta), Orinoquía colombiana. En J. O. Rangel-Ch., M. G. Andrade., C. Jarro, & G. Santos (eds.), *Colombia Diversidad Biótica XVII: La región de la Serranía de Manacacías (Meta) Orinoquía colombiana* (pp. 449-477). Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencias Naturales, & Parques Nacionales Naturales de Colombia.
- Basto-González, M. (2009). *Interacciones sociales en un grupo de Callicebus ornatus, ubicado en un fragmento de bosque de galería en San Martín, Meta, Colombia* (Tesis de grado, Pontificia Universidad Javeriana). Repositorio Institucional Pontificia Universidad Javeriana. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/8560>
- Blake, S., Wikelski, M., Cabrera, F., Guezou, A., Silva, M., Sadeg-Hyobi, E., Yackulic, C. B., & Jaramillo, P. (2012). Seed dispersal by Galápagos tortoises. *Journal of Biogeography*, 39(11), 1-12. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2011.02672.x>
- Bolívar, W., Chaves, G., Cisneros-Heredia, D. F., Daza, J., Flores-Villela, O., Gutiérrez-Cárdenas, P., Hammerson, G. A., Lamar, W., Porras, L. W., Renjifo, J., Rivas, G., & Wilson, L. D. (2017). *Leptodeira septentrionalis*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2017: e.T197498A2490931*. IUCN. <https://www.iucnredlist.org/species/197498/2490931>
- Caicedo-Portilla, R., & Dulcey-Cala, C. J. (2011). Distribución del gecko introducido *Hemidactylus frenatus* (Dumeril y Bribon 1836) (Squamata: Gekkonidae) en Colombia. *Biota Colombiana*, 12(2), 51-52.
- Caicedo, J., Cortés, C., Cárdenas, G., Jiménez, J., Ramos, D., Ramírez, P., Pachón, G., Chiquiza, D., Esteban, L., López, A., Díaz, V., & Mahecha, O. (2018). *Anfibios y reptiles de la Reserva Natural El Caduceo, San Martín del Meta, Colombia*. <https://fieldguides.fieldmuseum.org/es/gu%C3%ADas/gu%C3%ADa/1062>.
- Campos, F. S., Trindade-Filho, J., Brito, D., Llorente, G. A., & Solé, M. (2014). The efficiency of indicator groups for the conservation of amphibians in the Brazilian Atlantic Forest. *Ecology and Evolution*, 4(12), 2505-2514. <https://doi.org/10.1002/ece3.1073>
- Cantillo-Rodríguez, A. (2009). *Diversidad del ensamblaje de renacuajos de un bosque de galería y su relación con las variables ambientales y estructurales en la Reserva El Caduceo, San Martín,*

- Meta* (Tesis doctoral, Pontificia Universidad Javeriana). Repositorio Institucional Pontificia Universidad Javeriana. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/11902>
- Caro-Caro, C., Trujillo, F., Suárez, C. F., & Usma, J. S. (2010). Evaluación y oferta regional de humedales de la Orinoquia: contribución a un sistema de clasificación de ambientes acuáticos. En C. A. Lasso, J. S. Usma, F. Trujillo, & A. Rial (eds.), *Biodiversidad de la cuenca del Orinoco: bases científicas para la identificación de áreas prioritarias para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad*. Instituto de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, WWF Colombia, Fundación Omacha, Fundación La Salle de Ciencias Naturales, & Instituto de Estudios de la Orinoquia.
- Casallas, P., Calvo, D., & Rojas, N. (2017). Murciélagos dispersores de semillas en gradientes sucesionales de la Orinoquia (San Martín, Meta, Colombia). *Acta Biológica Colombiana*, 22(3), 348-358. <https://doi.org/10.15446/abc.v22n3.63561>
- De-Azevedo, C. L., De-Almeida, A. E., Ciancaglini, P., & Guerino, R. S. (2011). Antimicrobial peptides from Phyllomedusa frogs: from biomolecular diversity to potential nanotechnology medical applications. *Amino Acids*, 40(1), 29-49. <https://doi.org/10.1007/s00726-010-0622-3>
- Faúndez, P. V., Oblitas, T. L., Ponce, L. C., & Pepe-Victoriano, R. (2017). Evaluación de la contaminación en el hábitat de una población de la rana acuática *Telmatobius pefauri* (Anura, Telmatobiidae), especie críticamente en peligro del norte de Chile. *Interciencia*, 42(11), 750-75.
- Fernández-López, A., & Lavín-Murcio, P. (2016). Richness and diversity of amphibians and reptiles in an altitudinal gradient at Sierra de Juárez, Chihuahua, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 32(3), 230-231.
- Fonseca, A. N., & Mahecha, O. (2018). Contribución al estudio de los arácnidos (Arachnida) asociados a un bosque de galería en Meta (Colombia). *Revista Ibérica de Aracnología*, 33 (1), 123-128. https://www.researchgate.net/publication/330090012_Contribucion_al_estudio_de_los_aracnidos_Arachnida_asociados_a_un_bosque_de_galeria_en_Meta_Colombia
- Franco, R. (2017). *Diversidad de herpetofauna asociada a seis coberturas vegetales de la región Orinoquia, Colombia* (Trabajo de grado de maestría, Universidad Militar Nueva Granada). Repositorio UMNG. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/16441>
- Gibbons, J. W., Scott, D. E., Ryan, T. J., Buhlmann, K. A., Tuberville, T. D., Metts, B. S., Greene, J. L., Mills, T., Leiden, Y., Poppy, S., & Winne, C. T. (2000). The global decline of reptiles, déjà vu amphibians. *BioScience*, 50(8), 653-666. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2000\)050\[0653:TGD ORD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2000)050[0653:TGD ORD]2.0.CO;2)
- Houston, W. A., Melzer, A., & Black, R. L. (2018). Recovery of reptile, amphibian and mammal assemblages in Australian post-mining landscapes following open-cut coal mining. *Proceedings of the Royal Society of Queensland*, 123, 31-47.
- International Union for Conservation of Nature [IUCN]. (2020). *The IUCN Red List of Threatened Species*. IUCN. <https://www.iucnredlist.org>
- Kumari, V., Saini, K. C., & Singh, N. P. (2017). Diversity and distribution of spider fauna in arid and semi-arid regions of Rajasthan. *Journal of Biopesticides*, 10(1), 17-18.
- La-Marca, E., Azevedo-Ramos, C., Coloma, L., Ron, S., & Hardy, J. (2010). *Lithobates palmipes*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010: e.T58689A11812112*. IUCN. <https://www.iucnredlist.org/species/58689/11812112>.
- La-Marca, E., Scott, N., Aquino, L., Azevedo-Ramos, C., Coloma, L. A., Ron, S. R., Faivovich, J., Baldo, D., Hardy, J., & Barrio-Amorós, C. L. (2010). *Hypsiboas punctatus* (errata version published in 2016). *The IUCN Red List of Threatened Species 2010: e.T55620A86083064*. IUCN. <https://www.iucnredlist.org/species/55620/86083064>.
- Lindgren, J., Sjövall, P., & Carney, R. (2014). Skin pigmentation provides evidence of convergent melanism in extinct marine reptiles. *Nature*, 506(1), 484-488. <https://doi.org/10.1038/nature12899>

- McDiarmid, R. W., Foster, M. S., Guyer, C., Whitfield-Gibbons, J., & Chernoff, N. (eds.) (2012). *Reptile biodiversity: Standard methods for inventory and monitoring*. University of California Press. <https://doi.org/10.1525/9780520952072>
- Mora, C., Peñuela, L., & Castro, F. (2015). Estado del conocimiento de los ecosistemas de las sabanas inundables en la Orinoquia Colombiana. *Orinoquia*, 19(2), 253-271. <https://doi.org/10.22579/20112629.339>
- Nogueira, C., Gonzales, L., Cisneros-Heredia, D. F., Gagliardi, G., Catenazzi, A., Schargel, W., Rivas, G., & Murphy, J. (2019). *Helicops angulatus*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T15178420A15178466*. IUCN. <https://www.iucnredlist.org/species/15178420/15178466>.
- Pazmiño-Otamendi, G. (2019). *Hemidactylus frenatus*. En Torres-Carvajal, O., Pazmiño-Otamendi, G., & Salazar-Valenzuela, D. (eds.), *Reptiles del Ecuador. Version 2019.0*. Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. <https://bioweb.bio/faunaweb/reptiliaweb/FichaEspecie/Hemidactylus%20frenatus>
- Porras, L. W., Köhler, G., & Chaves, G. (2013). *Leptodeira rhombifera*. *La Lista Roja de Especies Amenazadas de la IUCN 2013: e.T203541A2768114*. IUCN. <https://www.iucnredlist.org/species/203541/2768114>.
- Saber, S., Tito, W., Said, R., Mengistou, S., & Alqahtani, A. (2017). Amphibians as bioindicators of the health of some wetlands in Ethiopia. *The Egyptian Journal of Hospital Medicine*, 66(1), 66-73. <https://doi.org/10.12816/0034635>
- Scrocchi, G., & Kretzschmar, S. (1996). Guía de métodos de captura de anfibios y reptiles para estudios científicos y manejo de colecciones herpetológicas. *Miscelánea, Fundación Miguel Lillo*, 102(1), 45.
- Solís, F., Ibáñez, R., Hammerson, G., Hedges, B., Diesmos, A., Matsui, M., Hero, J., Richards, S., Coloma, L., Ron, S., La-Marca E., Hardy, R., Powell, R., Bolaños, F., Chavez, G., & Ponce, P. (2009). *Rhinella marina*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2009: e.T41065A10382424*. IUCN. <https://www.iucnredlist.org/species/41065/10382424>
- Solís, F., Ibáñez, R., Jaramillo, C., Fuenmayor, Q., Azevedo-Ramos, C., La-Marca, E., Coloma, L., Ron, S., Hardy, J., Hedges, B., Ibéné, B., Breuil, M., & Powell, R. (2010). *Scinax ruber*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010: e.T55994A11395509*. IUCN. <https://www.iucnredlist.org/species/55994/11395509>
- Valencia-Aguilar, A., Cortés-Gómez, A. M., & Ruíz-Agudelo, C. A. (2018). *Servicios ecosistémicos brindados por los anfibios y reptiles del neotrópico: una visión general*. Conservación Internacional Colombia. <http://www.conservation.org.co/media/refledos.pdf>
- Van-der-Hammen, T., & Andrade, G. (2003). *Estructura ecológica principal de Colombia (primera aproximación)*. Ministerio de Ambiente de Colombia.

MUTIS

REVISTA DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD JORGE TADEO LOZANO

Instrucciones para autores

ENVÍOS DE ARTÍCULOS

La revista *Mutis* acepta permanentemente los siguientes tipos de artículos:

1. Artículo de investigación científica y tecnológica: documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de proyectos terminados de investigación.
2. Artículo de métodos: documento que presenta la invención o estandarización de un método experimental, computacional, o educativo, entre otros.
3. Artículo de revisión (estado del arte): es una revisión bibliográfica de por lo menos 50 referencias, con el fin de dar cuenta sobre los avances y las tendencias de desarrollo de un campo particular de las ciencias naturales e ingeniería.
4. Comunicación corta: documento que presenta resultados parciales de una investigación en desarrollo cuya publicación sea de gran importancia.

Los trabajos que se presentan a consideración de la revista *Mutis*, se deben enviar a través de nuestro sistema de gestión editorial <http://goo.gl/m6Q6FD> o vía correo electrónico a revista.mutis@utadeo.edu.co (Asunto: artículo revista *Mutis*) en formato de procesador de texto habilitado para modificaciones (Microsoft Word). El artículo debe estar escrito en español o inglés, con una extensión máxima de 25 páginas (incluyendo tablas, figuras y referencias), con márgenes simétricas de 2 cm, sin columnas, con títulos y subtítulos alineados a la izquierda, en letra Times New Roman, tamaño 12 y en espacio doble. Para facilitar el proceso de evaluación, se deben numerar todos los renglones del trabajo. Los trabajos deben tener la siguiente estructura y cumplir con los siguientes requisitos:

Título. El título debe representar con precisión y de manera concisa el contenido del trabajo sin exceder 15 palabras. Se debe escribir con letras tamaño de fuente 16, en minúsculas, en negrilla y alineado a la izquierda, en idioma original y en inglés.

Autores. Debe escribirse nombre completo de los autores, separados por comas y tamaño de fuente 12. No se deben incluir títulos académicos ni las posiciones o cargos que los autores ocupan. Las afiliaciones se deben escribir en este orden: universidad, facultad, programa, laboratorio o grupo (si aplica), dirección, ciudad, país, correo electrónico del autor, número de registro en ORCID y Google Scholar. Ejemplo:

Yvonne Sarmiento Rangel,^a Ariadna Hazel Vergel^{b*}

^aUniversidad Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Departamento de Ciencias Naturales y Ambientales. Grupo de Investigación Genética, Biología Molecular y Bioinformática – (GENBIMOL), Carrera 4 n.º 22-61, Bogotá D. C., Colombia. CP 011110

^bInstituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT), Apartado 6, Santo Domingo, Villa Clara, Cuba. CP 53000. Correo electrónico: arhazel@inivit.cu <https://orcid.org/xxx>
https://scholar.google.es/citations?hl=es&user=pTZo5RoA AAAJ&view_op=list_works

Resumen. Debe tener un máximo de 250 palabras. El texto del resumen debe ir en tamaño de fuente 12 Times New Roman. El resumen debe incluir objetivo, métodos, resultados concretos de la investigación y una conclusión general.

Palabras clave. Deben escogerse un máximo de 5 palabras claves. Palabras diferentes incluidas en el título.

Abstract. Debe ser una traducción correcta y precisa al idioma inglés del resumen que aparece en español. Se usa el mismo estilo ya descrito para el resumen en español.

Keywords. Debe ser una traducción correcta y precisa al idioma inglés de las palabras clave que aparecen en español. Se usa el mismo estilo ya descrito para las palabras clave en español.

Introducción. Donde se habla sobre el origen de la investigación, interés y visión general del tema a tratar.

Materiales y métodos. No aplica para artículo de revisión. Descripción detallada de técnicas, equipos y reactivos utilizados en el desarrollo de la investigación.

Resultados. No aplica para artículo de revisión. Donde se hace una presentación clara de los resultados de investigación.

Discusión. Donde se realiza la interpretación y análisis de los resultados de investigación comparándolos con resultados previamente publicados. Pueden presentarse tablas o figuras para sintetizar los resultados. Si se han realizado análisis estadísticos, se deberá describir la procedencia de los datos y el método estadístico empleado.

Conclusiones. Deben basarse en los resultados obtenidos y estar relacionadas con la hipótesis o planteamiento del problema descrito en la introducción.

Ecuaciones. Las ecuaciones se deben escribir centradas con respecto al texto principal y se deben numerar continuamente a lo largo del texto. Cada ecuación debe estar enumerada con un número entre paréntesis ubicado en el margen derecho del texto. El significado y las unidades deben explicarse inmediatamente después de la ecuación en que se utilicen por primera vez.

Cantidades y unidades. Para todas las cantidades numéricas, se debe utilizar una coma para separar los miles y un punto para indicar las cifras decimales. Se recomienda utilizar el Sistema Internacional de Unidades.

Tablas. Las tablas se deben numerar continuamente a lo largo del texto. El encabezado de cada tabla debe incluir la palabra **Tabla** (en negrilla) seguida del número arábigo consecutivo correspondiente y de una breve descripción del contenido de la tabla. Tanto el

encabezado como el contenido de la tabla se deben escribir en tamaño de fuente 10. Solo deben usarse líneas horizontales para separar las entradas de la tabla. No deben usarse líneas verticales para separar las columnas. En el caso de necesitarse algún pie de tabla, este debe estar escrito con tamaño de fuente 8. Las tablas no deben duplicar la información dada en las figuras.

Figuras. Las figuras (o fotografías) se deben numerar de manera consecutiva a lo largo del texto. El rótulo de cada figura debe estar en la parte inferior de la figura y debe incluir la palabra **Figura** (en negrilla) seguida del número arábigo correspondiente y de una breve descripción del contenido de la figura. El rótulo de la figura se debe escribir en tamaño de fuente 10. Las figuras deben incluirse como imágenes originales importadas o copiadas al archivo del trabajo desde una herramienta gráfica (por ejemplo, *Microsoft Excel*) con una resolución de 300 dpi, de tal manera que la legibilidad no se sacrifique cuando el tamaño de las figuras se ajuste durante el proceso de edición. No se publicará por ningún motivo información de fotografías descargadas de internet sin el permiso expreso del autor.

Referencias bibliográficas. Se debe utilizar a lo largo del texto el sistema de citación APA que utiliza los apellidos de autores seguidos del año de publicación entre paréntesis. La lista de las referencias se debe dar al final del documento después de la sección de Conclusiones y debe estar organizada en orden alfabético de acuerdo a la inicial del primer apellido del primer autor. En esta lista solamente se deben colocar las referencias citadas en el texto. Todas las referencias se deben escribir en tamaño de fuente 12 Times New Roman.

EJEMPLOS:

ARTÍCULO

Giraldo, G., Talens, P., Fito, P., & Chiralt, A. (2003). Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. *Journal of food Engineering*, 58(1), 33-43.

LIBRO

Shames, I. H., & Shames, I. H. (1982). *Mechanics of fluids* (pp. 8-36). New York: McGraw-Hill.

CAPÍTULO DE LIBRO

Bertucco, A. &. (2002). Micronization of a polysaccharide by a supercritical antisolvent technique. En J. &. Williams (ed). *Supercritical Fluids Methods and Protocols* New Jersey: Humana Press, Inc.

DOCUMENTO DE INTERNET

Benson, T. (Nov. 17, 2005). *Forces on a Rocket*. [http:// exploration.grc.nasa.gov/education/rocket/rktfor.html](http://exploration.grc.nasa.gov/education/rocket/rktfor.html), accesado el XX de XX de XXXX

TESIS DE GRADO

Yépez, B. (2009). *Glicerólisis e hidrólisis de triglicéridos saturados, en dióxido de carbono supercrítico* (tesis doctoral). Escuela de Ingeniería Química, Universidad del Valle, Cali, Colombia.

En caso de dudas, comunicarse con el editor (revista.mutis@utadeo.edu.co). Estas instrucciones quedan supeditadas a los cambios que el Comité Editorial disponga.



ESTA REVISTA ELECTRÓNICA
ES EDITADA POR LA
UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ
JORGE TADEO LOZANO.
SE FINALIZÓ EN 2020