

REVISTA

CITECSA

Ciencia Tecnología Sociedad y Ambiente

Revista para la difusión y divulgación de avances de investigación

Volúmen 17 . Número 30

ISSN: 2027-6745



Barrancabermeja . Colombia . 2025

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Presidente / PhD. Oscar Orlando Porras Atencia

Vicerrectora / Biol. MBA. Kelly Cristina Torres Angulo

Directora Escuela de Ingeniería Agroindustrial / Ing. Esp. Ana Milena Salazar Beleño

Directora Escuela de Ingeniería Ambiental y de Saneamiento / Biol. MBA. Kelly Cristina Torres Angulo

Directora Escuela Ingeniería de Producción / Ing. MBA. Angélica María Cervantes Ordóñez

Director Escuela de Medicina Veterinaria y Zootecnia / MVZ. MBA. Jorge Eliécer Franco Rodríguez

Director Escuela Ingeniería Agronómica / Ing. Mg. Gustavo Suarez

Directora Escuela Ciencias / Lic. Mg. Kelly Johana Gómez Jiménez

Director Escuela Ciencias Sociales / Lic. Mg. Rodolfo Ríos Beltrán

COMITÉ EDITORIAL INSTITUTO UNIVERSITARIO DE LA PAZ - UNIPAZ

Rector / PhD. Oscar Orlando Porras Atencia

Vicerrector / Biol. MBA. Kelly Cristina Torres Angulo

Directora de Investigación y Proyección Social / Ing. Esp. Mónica María Pacheco Valderrama. MSc

Coordinadora de Editorial / Ing. Esp. Janice Ballesteros. MBA

Representante de los editores de las revistas científicas institucionales / Ing. Esp. Janice Ballesteros. MBA

Representante Escuela de Ingeniería Agroindustrial / Leidy Carolina Ortiz Araque

Representante Escuela Ingeniería Ambiental y de Saneamiento / David Arsenio Rueda

Representante Escuela Ingeniería de Producción / Lina Patricia León Galeano

Representante Escuela de Medicina Veterinaria y Zootecnia / Rodolfo Ruiz Posada

Representante Escuela Ingeniería Agronómica / Leonardo Correa Rueda

Representante Escuela Ciencias / Catalina Silva

Correo electrónico: citecsa@unipaz.edu.co

Dirección: Centro de Investigaciones Santa Lucía, km 14 vía Bucaramanga,
Vereda el Zarzal.

Barrancabermeja, Santander, Colombia

Teléfonos: 057 - 6032701

Portal institucional: www.unipaz.edu.co

Periodicidad: Semestral, B 2025

Ilustración: María del Pilar Giraldo Castrillón

Compiladores y editores:

Janice Ballesteros Bandera

Freddy Antonio Pérez Cárdenas

Esta obra no puede ser reproducida, distribuida ni comunicada públicamente sin la previa autorización escrita del Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ).

UNIPAZ no se hace responsable de los contenidos y escritos presentados en esta obra, son de exclusiva responsabilidad de los autores. Los autores asumen la total responsabilidad por la veracidad y originalidad de los textos, así como por cualquier reclamación que pudiera surgir en relación con la propiedad intelectual.

Se puede acceder a una versión en PDF en www.unipaz.edu.co

País Colombia, departamento de Santander, municipio de Barrancabermeja

Instituto Universitario de la Paz – UNIPAZ

www.unipaz.edu.co

Contenido

Caracterización de estudiantes nuevo ingreso en ingeniería agronómica de UNIPAZ- Un diálogo entre Aspiraciones Estudiantiles y Desafíos Agroglobales	05 - 12
Modelo de cálculo para la formulación de fermentos alcohólicos a partir de frutas tropicales	13 - 25
Micobiota presente en el filoplano de Poaceae en el Centro de Investigaciones Santa Lucía: Estudio de caso actualizado	26 - 33
Revisión bibliográfica sobre el impacto de la leptospirosis como enfermedad zoonótica en la salud pública global	34 - 44
Sistema Integral de Transporte Seguro por Carrotaques: Análisis Científico del Almacenamiento Móvil, Distribución y Tecnologías Emergentes	45 - 57
Implementación de sistema fotovoltaico con paneles solares para laboratorios de Electromecánica del Instituto Universitario La Paz: estudio de factibilidad.	58 - 70

Recibido 7 de noviembre de 2025
Aceptado 15 de diciembre de 2025

www.unipaz.edu.co

Caracterización de estudiantes de nuevo ingreso en Ingeniería Agronómica de UNIPAZ: un diálogo entre aspiraciones estudiantiles y desafíos agroglobales

Characterization of newly admitted students in Agronomic Engineering at UNIPAZ: a dialogue between student aspirations and global agro-challenges

Gustavo Adolfo Suárez Gómez^{ac}, Rafael Calderón Silva^{ad}, Leidy Andrea Carreño Castaño^{be}, Juan Guillermo Jaramillo Arango^{af}

Resumen: En un contexto en el que la agricultura debe alimentar a 8.500 millones de personas y restaurar ecosistemas degradados (Godfray et al., 2010; FAO, 2023), la formación de ingenieros agrónomos es crucial. Este estudio caracterizó a 60 estudiantes de nuevo ingreso (cohorte 2024-A) del programa de Ingeniería Agronómica de la UNIPAZ mediante una metodología mixta que combina encuestas estructuradas, análisis léxico-cuantitativo y grupos focales. El 72 % de los participantes proviene de zonas rurales y el 65 % cursó su bachillerato en instituciones técnicas o agropecuarias. En cuanto a expectativas formativas, el 78 % prioriza tecnologías disruptivas (drones, sensores IoT).

a. Grupo de investigación en cultivos tropicales INYUBA

b. Semillero de investigación INYUBA

c. gustavo.suarez@unipaz.edu.co.

d. Rafael.calderon@unipaz.edu.co

e. Leidy.carreno@unipaz.edu.co

f. juan.jaramillo@unipaz.edu.co.

Alineadas con los postulados de la Agricultura 4.0 (Rose & Chilvers, 2018), mientras que el 62 % demanda enfoques socio-ambientales vinculados con la agroecología y la seguridad alimentaria (Altieri & Nicholls, 2022). Sin embargo, solo el 34 % relaciona explícitamente dichas tecnologías con impactos comunitarios, evidenciando una brecha tecnosocial (Klerkx & Rose, 2020). Las áreas de mayor interés declarado son biotecnología, producción vegetal y administración de empresas agrícolas (33 % cada una). Los hallazgos respaldan la integración curricular de módulos de innovación socio-ambiental, aprendizaje-servicio y prácticas de extensión rural co-diseñadas con productores locales (Bawden, 2021).

Palabras clave: Ingeniería Agronómica, Agricultura 4.0, sostenibilidad, perfiles socioeconómicos.

Abstract: Feeding 8.5 billion people while restoring degraded ecosystems presents an unprecedented challenge (Godfray et al., 2010; FAO, 2023). Agronomy programs are pivotal in addressing it. We profiled the 2024-A incoming cohort in Agronomy at UNIPAZ (n = 60) through structured surveys, quantitative text mining and focus groups. Seventy-two percent of students come from rural areas, and 65 % graduated from technical/agricultural high schools. While 78 % prioritize disruptive technologies drones, IoT sensors mirroring Agriculture 4.0 trends (Rose & Chilvers, 2018), 62 % demand socio-environmental approaches (rural equity, food sovereignty). Only 34 % explicitly link technological tools to community benefits, highlighting a techno-social gap (Klerkx & Rose, 2020).

Preferred domains include biotechnology, crop production and agribusiness management (33 % each). Findings support curriculum redesign toward socio-environmental innovation modules and farmer-centered fieldwork (Bawden, 2021).

Keywords: Agronomic Engineering, Agriculture 4.0, sustainability, socioeconomic profiles.

INTRODUCCIÓN

La agricultura contemporánea se debate entre la urgencia de proveer alimentos para una población proyectada en 9 000 millones de personas hacia 2050 y la necesidad de reconvertir sistemas productivos que han contribuido a la degradación ambiental (Tilman et al., 2011; Foley et al., 2011). En este escenario, los programas de Ingeniería Agronómica son llamados a liderar la transición hacia modelos de producción resilientes, inteligentes y socialmente justos (Pretty et al., 2018; Wezel et al., 2020). No obstante, múltiples estudios advierten desajustes entre las competencias impartidas en las aulas y las aspiraciones de los nuevos estudiantes, así como con las demandas reales del sector agroalimentario (Van Loon et al., 2020).

Partiendo de estos antecedentes, surge la pregunta: ¿cómo alinear la formación de ingenieros agrónomos con las expectativas de una generación que transita entre drones, big data y saberes ancestrales? Para responderla, se caracterizó la cohorte 2024-A de estudiantes de primer ingreso en la UNIPAZ, con el fin de identificar sus intereses, experiencias previas y percepciones sobre los retos agroglobales.

El estudio, realizado con 60 estudiantes de primer ingreso en el semestre A del 2024, revela un panorama donde el 78% prioriza tecnologías disruptivas (sensores IoT, agricultura vertical), pero el 62% también demanda enfoques sociales (equidad rural, soberanía alimentaria).

Destacan hallazgos como la brecha tecnosocial: mientras el 89% menciona "drones" como herramienta clave, solo el 34% vincula estas tecnologías con mejoras comunitarias. Casos como el de Ángel, estudiante que propuso usar imágenes satelitales para detectar estrés hídrico en cultivos de subsistencia, ilustran cómo las expectativas individuales pueden traducirse en innovación con impacto colectivo.

Al articular inteligencia artificial para análisis textual con entrevistas etnográficas, este trabajo ofrece un modelo replicable para instituciones que buscan convertir las aulas en espacios de cocreación. Las voces estudiantiles aquí presentadas — desde el entusiasmo por blockchain agrícola hasta el reclamo por prácticas en economías campesinas — no son meros datos, sino semillas para reformular qué significa ser Ingeniero agrónomo. Este artículo invita a leer entre líneas estadísticas para descubrir cómo una generación está redibujando, desde su primer día universitario, las fronteras entre tecnología, justicia y sostenibilidad alimentaria.

MÉTODOS

1. Diseño del estudio

Análisis de datos• Cuantitativo: análisis de conglomerados y mapas de calor léxicos para segmentar perfiles (Pierpaoli et al., 2013).

- Cualitativo: codificación temática orientada a categorías como “Tecnoproducción” o “Agroecosistema”, alineadas con el marco de Agricultura 4.0 (Rose & Chilvers, 2018). La metodología Integrada para el diagnóstico de expectativas en estudiantes de primer ingreso en Ingeniería Agronómica en el Instituto Universitario de la Paz, UNIPAZ, comprende lo siguiente: se adopta un modelo triangular que articula tres dimensiones complementarias:

- a. Análisis léxico-cuantitativo: Identificación de patrones en la frecuencia de términos clave (ej.: "cultivo", "suelo", "dron") mediante herramientas como NVivo, para detectar patrones de frecuencia y co-ocurrencia de términos clave (Gebbers & Adamchuk, 2010), estableciendo con esto, relaciones estadísticas entre variables temáticas.

- b. Encuesta estructurada: Cuestionario validado con 20 preguntas distribuidas en cuatro ejes:

- Técnico-agronómico (manejo de cultivos, sanidad vegetal)

- Tecnológico (uso de drones, sensores)
- Socioeconómico (impacto rural, mercadotecnia)
- Ético-ambiental (sostenibilidad)

Este diseño permite capturar tanto la prevalencia numérica de intereses como su contextualización sociocultural, en concordancia con marcos de intensificación sostenible (Pretty et al., 2018).

Grupos focales para profundizar en motivaciones y brechas de expectativas, siguiendo enfoques de investigación-acción participativa (Bawden, 2021).

2. Mecanismos de Recolección y Procesamiento de Datos

a. Población y Muestreo

- Cobertura: 100% de estudiantes de nuevo ingreso en el semestre A del 2024 (n ≈ 60).
- Criterios de inclusión: participación voluntaria con consentimiento informado.
- Procedencia diversa (urbana/rural) para garantizar representatividad.

b. Técnicas Analíticas: Cuantitativo: análisis de conglomerados para segmentar estudiantes según perfiles (ej.: Grupo A: Alta tecnología + bajo interés social) y mapas de calor léxicos para segmentar perfiles que visualizan conexiones entre conceptos (Pierpaoli et al., 2013). (ej.: correlación "plaga" ↔ "fertilizantes químicos"). Cualitativas: codificación temática orientada a categorías como "Tecnoproducción" o "Agroecosistema", alineadas con el marco de Agricultura 4.0 (Rose & Chilvers, 2018).

La conclusión metodológica de esta propuesta trasciende el diagnóstico tradicional, posicionándose como un ecosistema de retroalimentación continua donde:

Los datos léxicos cuantitativos revelan tendencias macroscópicas.

Los grupos focales aportan profundidad microscópica.

Al integrar tecnologías digitales (análisis de texto, visualización de datos) con enfoques humanísticos (ética, perspectiva comunitaria), se genera un modelo replicable para instituciones que buscan alinear su oferta académica con las demandas evolutivas del sector agropecuario.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los términos más mencionados en la encuesta diagnóstica aplicada a los estudiantes de nuevo ingreso al programa de Ingeniería Agronómica permite identificar sus principales intereses, conocimientos previos y preocupaciones en relación con el sector agropecuario. Esta información es clave para diseñar estrategias pedagógicas que fortalezcan su formación académica y profesional, alineando sus expectativas con las competencias del programa.

Uno de los términos más recurrentes es "cultivo", lo que indica que la mayoría de los estudiantes tienen una visión clara sobre la producción agrícola y reconocen la importancia del manejo de los cultivos en el desarrollo de la agronomía. Su presencia sugiere que muchos de los encuestados provienen de contextos rurales o han tenido algún tipo de contacto con la agricultura, ya sea a nivel familiar o educativo, evidenciando una sólida conexión con la producción agrícola. Esto se refuerza con la alta frecuencia de palabras como "producción", "plaga", "suelo" y "planta", que evidencian una preocupación por los factores que influyen en el rendimiento agrícola y la sanidad vegetal., pilares del currículo (UNIPAZ, 2024).

Paralelamente, la mención recurrente de “dron” y “sensor” ratifica la influencia de la narrativa global sobre digitalización agropecuaria (Klerkx & Rose, 2020)

La mención de "suelo" y "agua" permite destacar la importancia de la relación agua-suelo-planta, un eje fundamental en la ingeniería agronómica. El suelo es el soporte físico donde se desarrollan las raíces de los cultivos, mientras que el agua es el medio a través del cual los nutrientes son transportados hasta las plantas. La eficiencia en la utilización de estos recursos es clave para garantizar una producción agrícola sostenible. La alta frecuencia de términos relacionados con el manejo del suelo y el agua sugiere que los estudiantes están interesados en aprender sobre fertilización, conservación del recurso hídrico y técnicas de riego que optimicen el crecimiento de los cultivos.

La preocupación por el control de plagas se alinea con la competencia de sanidad vegetal, que es uno de los pilares del programa de Ingeniería Agronómica. La sanidad es esencial para garantizar la productividad de los cultivos, minimizando el impacto de insectos, enfermedades y malezas. La inclusión de términos como "fertilizante" y "riego" también sugiere un interés en conocer métodos para mejorar la nutrición y la disponibilidad de agua para las plantas, aspectos que están relacionados tanto con la sanidad como con la fitotecnia, otra de las competencias clave del programa. La fitotecnia se encarga del estudio de los cultivos y su mejoramiento genético, buscando incrementar la productividad a través del uso de nuevas tecnologías, variedades mejoradas y manejo agronómico eficiente.

Otro aspecto relevante es la relación de los términos más frecuentes con la administración y mercadotecnia agrícola. La agricultura no solo implica la producción de cultivos, sino también su comercialización y gestión eficiente. La administración agrícola es importante para que los productores puedan organizar sus recursos de manera óptima, maximizando la rentabilidad y minimizando costos. En este sentido, es importante resaltar que los estudiantes comprendan cómo aplicar estrategias de gestión y planificación en la producción agrícola. La mercadotecnia agrícola es otro componente estructural en la formación de los estudiantes, ya que permite conectar la producción con los mercados, asegurando que los productos agrícolas lleguen a los consumidores en condiciones óptimas y con valor agregado.

La presencia de términos como "dron" en la encuesta sugiere que algunos estudiantes tienen interés en el uso de tecnologías avanzadas para mejorar la eficiencia agrícola. No obstante, emergió una brecha tecnosocial: mientras el 89 % de los encuestados admira la precisión de los drones, solo el 34 % relaciona dicha tecnología con beneficios comunitarios, hallazgo coherente con la literatura sobre innovación responsable (Rose & Chilvers, 2018). Este desfase sugiere la necesidad de fortalecer asignaturas que integren análisis costo-beneficio, ética y extensión rural para que la tecnología se traduzca en impactos equitativos (Altieri & Nicholls, 2022).

Los drones pueden utilizarse en monitoreo de cultivos, aplicación de insumos y recopilación de datos, lo que representa una ventaja competitiva en el sector agropecuario. Incluir formación en estas tecnologías puede fortalecer la capacidad de los estudiantes para adaptarse a los nuevos desafíos de la industria agrícola. En cuanto a preferencias de especialización, biotecnología, producción vegetal y administración agrícola comparten el primer lugar (33 % cada una), reflejando la demanda de competencias interdisciplinarias que combinen laboratorio, campo y gestión de agronegocios (Van Loon et al., 2020). Asimismo, el 62 % manifestó interés en temáticas de equidad rural y soberanía alimentaria, en línea con propuestas de agroecología política (Wezel et al., 2020).

Otro componente clave en la formación de los futuros ingenieros agrónomos es la extensión rural, que se enfoca en la transferencia de conocimientos y tecnologías a los productores. La extensión permite que los avances científicos y técnicos lleguen a las comunidades rurales, mejorando sus prácticas agrícolas y su calidad de vida. La presencia de términos como "suelo", "riego" y "fertilizante" en la encuesta sugiere que los estudiantes tienen interés en aprender sobre estas áreas, lo que abre la posibilidad de fortalecer su formación en extensión y asesoramiento técnico para productores. El enfoque socio-humanístico también es fundamental en la formación agronómica. La Ingeniería agronómica no solo se trata de cultivos y producción, sino también del impacto social y económico de la actividad agrícola en las comunidades.

En la encuesta, aparecen términos como "sociedad", "comunidades" y "pueblo", lo que indica que algunos estudiantes están interesados en el impacto de la agricultura en la vida de las personas y en el desarrollo rural. Esta perspectiva es fundamental para garantizar que los futuros ingenieros agrónomos comprendan la importancia de generar sistemas de producción sostenibles que beneficien tanto a los productores como a la sociedad en general.

Los resultados de la encuesta muestran una fuerte orientación de los estudiantes hacia la producción agrícola y el manejo de cultivos, con un énfasis en la fitotecnia y la sanidad vegetal. Además, se evidencia el deseo de complementar esta formación con conocimientos en administración, mercadotecnia, extensión rural y aspectos socio-humanísticos, lo que fortalece la pertinencia de las competencias del programa de ingeniería agronómica UNIPAZ.

Los hallazgos confirman estudios previos sobre la "brecha expectativa-currículo" (Altieri & Nicholls, 2022). La alta valoración de drones coincide con tendencias globales (FAO, 2023), pero la limitada conexión con impactos sociales sugiere un déficit de perspectivas sistémicas (Bawden, 2021). Integrar aprendizaje-servicio y proyectos de investigación-acción podría cerrar esta brecha.

Las implicaciones curriculares según el análisis apuntan a: 1) Incorporar módulos de Agricultura 4.0 con énfasis en análisis de datos y teledetección (Gebbers & Adamchuk, 2010). 2)

Fortalecer experiencias de aprendizaje-servicio y proyectos de investigación-acción que reduzcan la brecha tecnosocial (Bawden, 2021). 3) Promover la integración de principios agroecológicos y de intensificación sostenible para responder a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (FAO, 2023).

CONCLUSIONES

El presente estudio, orientado a perfilar la cohorte 2024-A de Ingeniería Agronómica en UNIPAZ, permitió reconocer que la mayoría de los ingresantes proviene de entornos rurales y cuenta con un capital experiencial directo en la producción primaria; sin embargo, se evidencia una brecha entre la fascinación por las tecnologías de punta como drones y sensores IoT y la comprensión de sus implicaciones socioambientales. Asimismo, los propios estudiantes identifican como áreas prioritarias de formación la biotecnología, la producción vegetal y la administración agrícola, y manifiestan una necesidad explícita de adquirir competencias en formulación de proyectos y extensión rural que les permitan impactar de manera efectiva a sus comunidades. De acuerdo con estos hallazgos, se concluye que el currículo debe rediseñarse para incorporar innovación con enfoque socioambiental, herramientas de analítica de datos y prácticas participativas cocreadas con los productores locales, garantizando así una formación integral capaz de responder a los desafíos agroglobales contemporáneos.

Al atender estos frentes, el programa podrá formar ingenieros agrónomos capaces de liderar la transición hacia sistemas alimentarios sostenibles, resilientes e inclusivos (Foley et al., 2011)

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Grupo de Investigación en Cultivos Tropicales INYUBA, al Semillero INYUBA y los 60 estudiantes participantes.

REFERENCIAS

- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2022). *Agroecology: Principles for the Conversion of Farming Systems* (3.^a ed.). CRC Press.
- Bawden, R. (2021). Systems thinking and practice in agriculture. *Agricultural Systems*, 194, 103274. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103274>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). *The Future of Food and Agriculture – Drivers and Triggers for Transformation*. FAO.
- Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., ... West, P. C. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369), 337-342. <https://doi.org/10.1038/nature10452>
- Gebbers, R., & Adamchuk, V. I. (2010). Precision agriculture and food security. *Science*, 327(5967), 828-831. <https://doi.org/10.1126/science.1183899>
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., ... Toulmin, C. (2010). Food security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967), 812-818. <https://doi.org/10.1126/science.1185383>

- Klerkx, L., & Rose, D. (2020). Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways? *Global Food Security*, 24, 100347. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100347>
- Pierpaoli, E., Carli, G., Pignatti, E., & Canavari, M. (2013). Drivers of precision agriculture technologies adoption: A literature review. *Procedia Technology*, 8, 61-69. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.11.010>
- Pretty, J., Benton, T. G., Bharucha, Z. P., Dicks, L. V., Flora, C. B., Godfray, H. C. J., ... Wratten, S. (2018). Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification. *Nature Sustainability*, 1(8), 441-446. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0114-0>
- Rose, D. C., & Chilvers, J. (2018). Agriculture 4.0: Broadening responsible innovation in an era of smart farming. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2, 87. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00087>
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B. L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(50), 20260-20264. <https://doi.org/10.1073/pnas.1116437108>
- UNESCO. (2024). UNESCO Thesaurus. <https://vocabularies.unesco.org/thesaurus/>
- Instituto Universitario de la Paz. (2024). Informe de autoevaluación del programa de Ingeniería Agronómica. UNIPAZ.
- Van Loon, J., Woltering, L., Krupnik, T. J., Baudron, F., Boa, M., Alam, M., & Giller, K. E. (2020). Sustainable intensification of agricultural systems in the tropics: Necessity, challenges and opportunities. *Global Food Security*, 26, 100381. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100381>
- Wezel, A., Herren, H. R., Kerr, R. B., Barrios, E., Gonçalves, A. L. R., & Sinclair, F. (2020). Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 40(6), 40. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00646-z>

Modelo de cálculo para la formulación de fermentos alcohólicos a partir de frutas tropicales

Calculation Model for the Formulation of Alcoholic Ferments from Tropical Fruits

Recibido 7 de noviembre de 2025
Aceptado 15 de diciembre de 2025

www.unipaz.edu.co

Juan Guillermo Jaramillo Arango^{ab}, Jhoandys de Jesús Royet Barroso^a, Silvio Daza Rosales^a, Rafael Calderón Silva^a

Resumen: La fermentación alcohólica de frutas tropicales representa una alternativa para la generación de productos con valor agregado. No obstante, la formulación de mostos fermentables en contextos artesanales o experimentales carece de estandarización, lo cual limita la repetibilidad y el cumplimiento normativo. El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar un modelo de cálculo que permita estimar, de forma práctica y alineada con la normatividad colombiana, las cantidades de fruta, agua y azúcar exógena requeridas para la preparación de fermentos alcohólicos. Para ello, se utilizó una metodología teórica y deductiva basada en balances de masa y restricciones técnicas, considerando también parámetros fisicoquímicos reportados en la literatura. El modelo resultante permite calcular el factor de dilución, la proporción de azúcares añadidos y el grado alcohólico teórico y cinético esperado, en función de la concentración de sólidos solubles de la fruta seleccionada.

a. Grupo de investigación en cultivos tropicales INYUBA
b. juan.jaramillo@unipaz.edu.co

Se integraron ecuaciones que incorporan los efectos de inhibición por etanol, lo que permite una predicción más realista del rendimiento fermentativo. Se realizó un análisis de sensibilidad para explorar el comportamiento del modelo ante diferentes valores de entrada, permitiendo visualizar los efectos sobre los volúmenes y concentraciones del mosto. En conjunto, esta herramienta constituye una guía útil para estandarizar la preparación de fermentos alcohólicos tropicales, con potencial de aplicación en proyectos agroindustriales, de investigación y emprendimiento rural.

Palabras clave: Modelamiento matemático; Cinética microbiana; Balance de masa; Preparación de Mostos; Análisis de sensibilidad.

Abstract: Alcoholic fermentation of tropical fruits represents an alternative for the development of value-added products. However, the formulation of fermentable musts in artisanal or experimental contexts often lacks standardization, which limits reproducibility and regulatory compliance. This study aims to develop a calculation model that enables the practical and regulation-aligned estimation of the amounts of fruit, water, and exogenous sugar required for the preparation of alcoholic ferments. A theoretical and deductive methodology was applied, based on mass balance equations and technical constraints, while also incorporating physicochemical parameters reported in the literature. The resulting model allows for the calculation of the dilution factor, the proportion of added sugars, and both theoretical and kinetic alcohol yield, as a function of the soluble solids concentration of the selected fruit.

Equations that account for ethanol inhibition effects were integrated into the model, allowing for a more realistic prediction of fermentative performance. A sensitivity analysis was conducted to explore the model's behavior under varying input values, enabling visualization of the effects on must volumes and concentrations. Altogether, this tool serves as a practical guide to standardize the preparation of tropical fruit-based alcoholic ferments, with potential applications in agro-industrial projects, research, and rural entrepreneurship.

Keywords: Mathematical modeling; Microbial kinetics; Mass balance; Wort preparation; Sensitivity analysis.

INTRODUCCIÓN

La fermentación es un proceso biológico en el cual los microorganismos transforman un sustrato orgánico, generalmente rico en azúcares, en compuestos más simples a través de rutas metabólicas específicas (Sharma et al., 2020). Este fenómeno, catalizado por enzimas segregadas por levaduras y bacterias, puede seguir distintas vías, como la alcohólica, láctica o acética, cada una con aplicaciones tecnológicas particulares (Hackmann, 2024). La fermentación alcohólica ha cobrado especial relevancia en la valorización de frutas tropicales, permitiendo el desarrollo de productos con valor agregado (Stanzer et al., 2023).

Durante la elaboración de fermentos alcohólicos a partir de frutas, estas suelen licuarse en agua para facilitar la extracción de azúcares y compuestos solubles (Ogodo et al., 2015). Posteriormente, la mezcla puede ser filtrada para remover sólidos indeseados y, en algunos casos, pasteurizada con el fin de eliminar microorganismos competitivos (Cao et al., 2022).

Finalmente, se realiza la inoculación con levaduras, siendo *Saccharomyces cerevisiae* la especie comúnmente empleada debido a su eficiencia fermentativa y tolerancia al etanol (Lin et al., 2018). Estas prácticas, sin embargo, dependen de variables empíricas que no siempre están estandarizadas, optimizadas o alineadas con criterios normativos (Mukherjee et al., 2022; Yee et al., 2025).

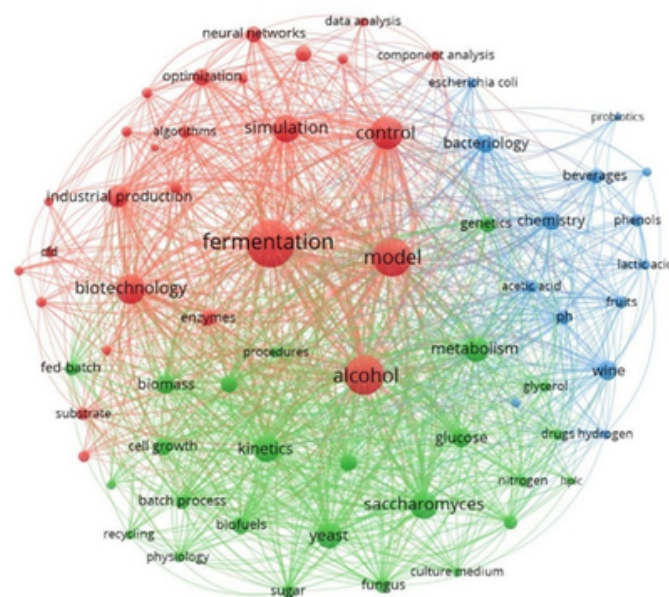
En los últimos años, se ha incrementado el uso de modelos matemáticos para representar y predecir el comportamiento fermentativo, optimizando parámetros como la cinética de consumo de sustrato, el crecimiento microbiano y la producción de etanol (Ruarte et al., 2025).

Para explorar las principales tendencias de investigación sobre modelamiento aplicado a la fermentación alcohólica, se realizó un análisis bibliométrico con la base de datos Scopus utilizando la siguiente ecuación de búsqueda:

("mathematical model" OR "modeling" OR "simulation") AND ("alcoholic fermentation" OR "fermented beverages" OR "industrial fermentation")

La información recuperada fue analizada mediante VOSviewer, software especializado en análisis bibliométrico y mapeo científico (Van-Eck & Waltman, 2010), a partir del cual se construyó la red de coocurrencia de términos representada en la Figura 1.

Figura 1. Gráfico de nodos modelamiento matemático aplicado a la fermentación alcohólica.



Fuente: Elaboración propia.

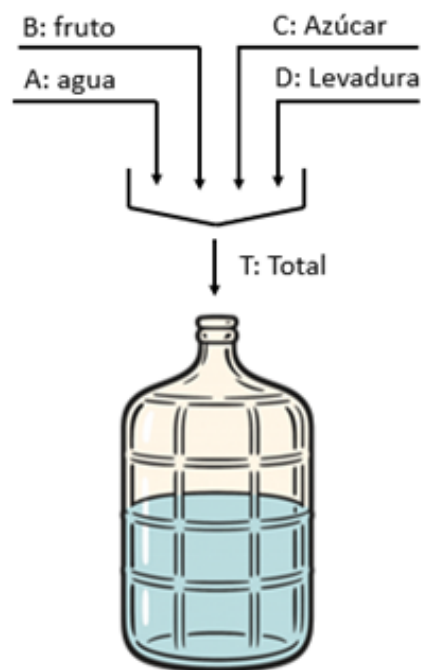
El gráfico revela tres núcleos de investigación claramente diferenciados: el primero, de enfoque ingenieril-computacional, agrupa términos como simulación, control, biotecnología y producción industrial; el segundo, de orientación bioquímica, incluye conceptos como levaduras, glucosa, biomasa y cinética celular; y el tercero, con énfasis en la calidad del producto, reúne tópicos relacionados con el tipo de fruto, pH, compuestos fenólicos y presencia de patógenos. Esta diversidad evidencia el carácter interdisciplinario del estudio de la fermentación y resalta la necesidad de herramientas integradoras.

A pesar de estos avances, no se dispone aún de una estructura de cálculo que permita integrar los lineamientos normativos con los aportes experimentales y las necesidades prácticas en la formulación de fermentos. En este sentido, el presente trabajo tiene por objetivo proponer un modelo matemático orientado a estimar las cantidades de fruta, agua y azúcar requeridas para preparar un fermento alcohólico, facilitando su aplicación a diversos frutos tropicales mediante parámetros medibles y ajustables. El resultado de este trabajo constituye una guía útil para la elaboración de recetas mediante una estructura de cálculo clara, que configura una herramienta de estandarización con potencial para ser aplicada tanto en contextos experimentales y productivos.

MÉTODOS

Para el presente trabajo se adoptó una metodología de carácter teórico y deductivo, basada en el análisis de literatura especializada y en principios matemáticos aplicados al fenómeno en estudio. El modelo propuesto se construyó a partir de supuestos estructurados y relaciones funcionales, con el propósito de ofrecer un marco inicial para futuras aplicaciones o contrastaciones empíricas. Para establecer la estructura del modelo, se partió de los balances de masa global y del sustrato al inicio de la fermentación. Así, se tiene en cuenta el aporte másico de cada sustancia que entra al biorreactor y su concentración de azúcares, como se ilustra en la figura 2.

Figura 2. Sustancias a la entrada del biorreactor



Para realizar un montaje adecuado que permita la fermentación, además de tener en cuenta la concentración de azúcares del fruto, se debe determinar la cantidad de agua para la dilución y la cantidad de azúcar añadida en la rectificación. La adición de azúcar exógena está restringida por el decreto 1686 del 2012 del Ministerio de Salud, en el cual se establece que un mosto no puede tener más de 105 g/L de azúcar añadido y en una cantidad menor o igual a la aportada por el fruto. Además, experimentalmente se ha demostrado que la concentración máxima de azúcar debe ser menor o igual a 20% p/p (Zhao & Lin, 2003), de esta manera se asegura un crecimiento saludable de las levaduras, las cuales deben estar en una concentración inicial entre 1 y 6 g/L (Levandovsky & Bondar, 2016; Lukum et al., 2024).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Deducción del modelo

Con el fin de incorporar de manera armoniosa la información experimental y los límites que circunscriben a la preparación de un fermento, se definen a las variables m_i como la masa en gramos, ρ_T como la densidad en gramos sobre litros, V_T como el volumen en litros y C_i como la concentración de azúcares en gramos de sólidos solubles sobre gramo de la sustancia i . Entonces, debido al principio de continuidad de la materia, es posible decir que:

$$m_A + m_B + m_C + m_D = m_T \quad (1)$$

$$m_A + m_B + m_C + m_D = \rho_T V_T \quad (2)$$

Dada la restricción impuesta por el Ministerio de Salud, se definen la variable c_{max} como la concentración máxima de 105 g/L de azúcares añadidos, por lo tanto:

$$m_C = \varphi c_{max} V_T \quad (3)$$

Mediante la anterior ecuación se puede estimar la rectificación de la cantidad de azúcares, siempre que $0 \leq \alpha \leq 1$. Pero, para ajustarse completamente a la norma se debe asegurar que el contenido de azúcares añadidos no supere a los aportados por la fruta. En este razonamiento se utilizará el máximo valor posible, es decir:

$$m_C = C_B m_B \quad (4)$$

$$m_B = \frac{\varphi c_{max}}{C_B} V_T \quad (5)$$

Con el fin de cuantificar el nivel de dilución, se define la variable α como un factor de dilución, es decir, la relación másica entre la cantidad de agua y el fruto. Por esto:

$$m_A = \frac{\alpha \varphi c_{max}}{C_B} V_T \quad (6)$$

Reemplazando las ecuaciones 3, 5 y 6 en la ecuación 2, se tiene que:

$$\frac{\alpha \varphi c_{max}}{C_B} V_T + \frac{\varphi c_{max}}{C_B} V_T + \varphi c_{max} V_T + m_D = \rho_T V_T \quad (7)$$

Nótese que, la masa de levadura que se usa en la preparación de los fermentos alcohólicos es mucho menor que la de la mezcla total (m_{DmT}), por lo tanto, puede despreciarse. Simplificando y despejando se tiene que:

$$\rho_T = \left(\frac{\alpha + 1 + C_B}{C_B} \right) \varphi c_{max} \quad (8)$$

Como se muestra en la ecuación 8, la densidad queda en función de la dilución y la concentración de azúcar del fruto y azúcar añadida. Por otro lado, realizando el balance de sólidos solubles, se tiene que:

$$C_A m_A + C_B m_B + C_C m_C + C_D m_D = C_T m_T \quad (9)$$

Dado que el agua y la levadura tiene una concentración de azúcares despreciable, mientras que el azúcar comercial tiene una pureza considerablemente alta, la ecuación 8 se puede reescribir como:

$$C_B m_B + m_C = C_T \rho_T V_T \quad (10)$$

Reemplazando las ecuaciones 3 y 5 en la ecuación 10, se puede determinar que:

$$C_T = \frac{2\varphi c_{max}}{\rho_T} \quad (11)$$

Reemplazando la ecuación 8 en la ecuación 11, se tiene que:

$$C_T = \frac{2 C_B}{\alpha+1+C_B} \quad (12)$$

Luego, si se asume que las propiedades físicas de los sólidos solubles añadidos y los del fruto son iguales a las de la sacarosa, se tiene que la densidad queda descrita por la ecuación reportada por Asadi (2006):

$$\rho_T = 179.36 C_T^2 + 374.48 C_T + 1000 \quad (13)$$

Entonces, a partir de las ecuaciones 11, 12 y 13 se puede determinar que:

$$\varphi = \frac{179.36 C_T^3 + 374.48 C_T^2 + 1000 C_T}{2c_{max}} \quad (14)$$

Mediante la ecuación 14 es posible ver que, cuando toma el valor de 1, la concentración total de sólidos solubles se hace aproximadamente igual a 0.2, lo que se alinea con las recomendaciones sobre la máxima concentración de azúcares para un desempeño saludable de las levaduras.

Pero, cuando toma el valor de 0, obliga que CT tome el valor de 0, lo que representaría un volumen total compuesto enteramente de agua; para efectos prácticos esto resulta en una solución trivial, con una dilución infinita.

Con esto, el modelo de cálculo queda habilitado para la estimación de las cantidades de agua, fruto y azúcar añadida a partir del contenido de sólidos solubles del fruto y del mosto; el primero se determina experimentalmente y el segundo se fija arbitrariamente con un valor entre 0 y 0.2. Adicionalmente, asumiendo que los azúcares son consumidos completamente por las levaduras, es posible determinar estequiométricamente el grado alcohólico final. Como se producen 4 moles de etanol por cada mol de sacarosa, se tiene que:

$$n_{etOH} = \frac{4 C_T \rho_T V_T}{M_{sac}} \quad (15)$$

Donde, Msac y MetOH representan las masas molares de la sacarosa y el etanol, respectivamente. Se define la variable G como la razón volumétrica del etanol respecto del total. Así, se tiene que:

$$G = \frac{8 \varphi c_{max}}{\rho_{etOH}} \left(\frac{M_{etOH}}{M_{sac}} \right) * 100 \quad (16)$$

De esta manera, el modelo de cálculo puede estimar una concentración del alcohol producto de la biorreacción. Sin embargo, esta secuencia de cálculo resultaría en una aproximación ideal para G.

Con el ánimo de observar el efecto inhibitorio que la acumulación del etanol sobre las levaduras, se concatenan las cinéticas de Michaelis–Menten para consumo de sacarosa y producción de biomasa y etanol.

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{V_{max} S}{k_m + S} \quad (17)$$

$$\frac{dx}{dt} = \mu x \quad (18)$$

$$\frac{dE}{dt} = \frac{1}{Y_{S/E}} \mu x \quad (19)$$

$$\mu = \mu_{max} \left(\frac{S}{k_s + S} \right) \left(1 - \frac{E}{E_{max}} \right)^\beta \quad (20)$$

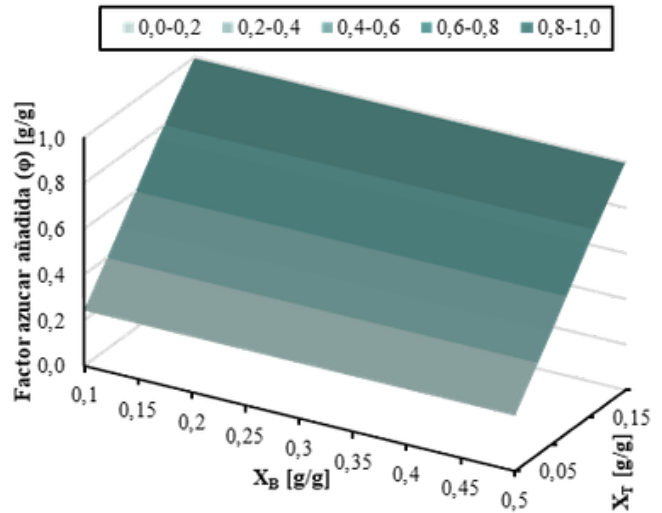
En las ecuaciones anteriores, V_{max} representa la tasa máxima de reacción (21.322 g/L*h), k_m es la constante de Michaelis–Menten para sacarosa (36.181 g/L), $Y_{S/E}$ es el rendimiento de etanol respecto de la sacarosa (0.507 g/g), μ_{max} es la velocidad máxima de crecimiento de la levadura (0.42 h⁻¹), β es el factor de severidad de inhibición por etanol (2.7), mientras que E_{max} representa la concentración máxima de alcohol soportada por las levaduras (120 g/L) (Bailey & Ollis,1986; Felix et al., 2014; Bakti et al., 2019; Petrov, 2019; Varize et al., 2022). Teniendo en cuenta las restricciones cinéticas es posible estimar el grado alcohólico real, es decir:

$$G = \frac{E}{\rho_{etOH}} * 100 \quad (21)$$

Análisis de sensibilidad del modelo

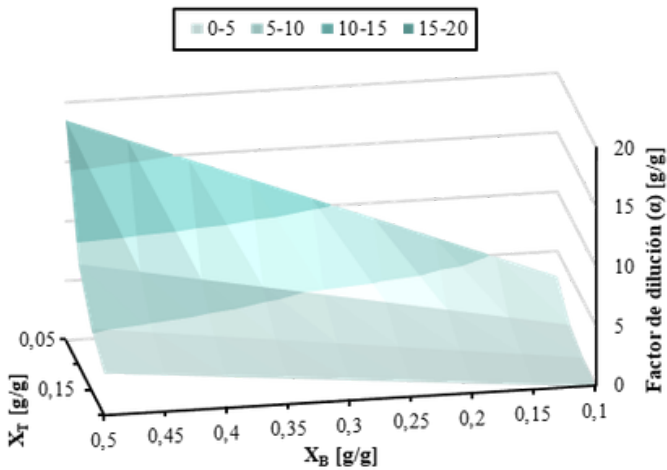
Para observar el comportamiento del modelo propuesto y ejemplificar la secuencia de cálculo, a continuación, se presenta un análisis de sensibilidad. Debido a que, la mayoría de los frutos tropicales contienen entre 10° y 50° Brix, la concentración másica de sólidos solubles del fruto estará en el rango $0.1 \leq CB \leq 0.5$. Además, como se demostró, la concentración total de azúcares del mosto debe estar en el rango de $0 < CT \leq 0.2$. En la figura 3 se muestran las superficies generadas para los valores del factor de azúcar añadida y de dilución.

Figura 3. a) Factor de azúcares añadidos b) Factor de dilución



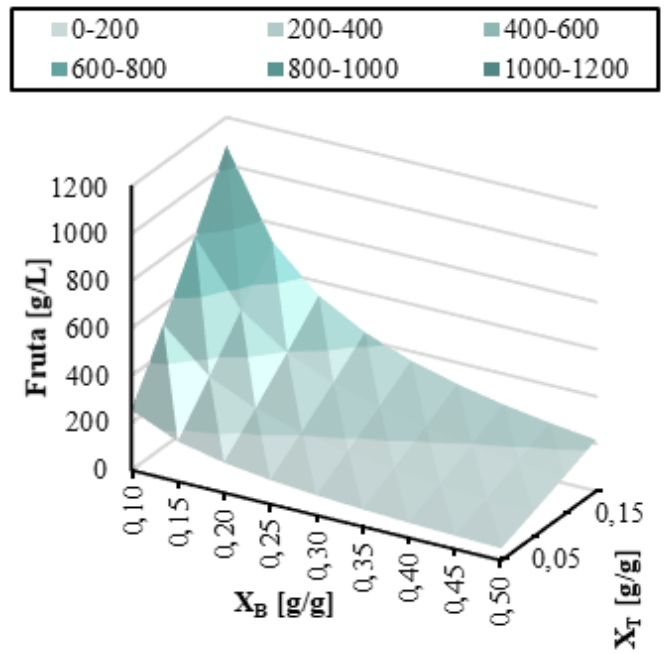
a) Factor de azúcares añadidos

Figura 4. Cantidades de a) Fruta b) Azúcares añadidos y c) Agua por litro de volumen total

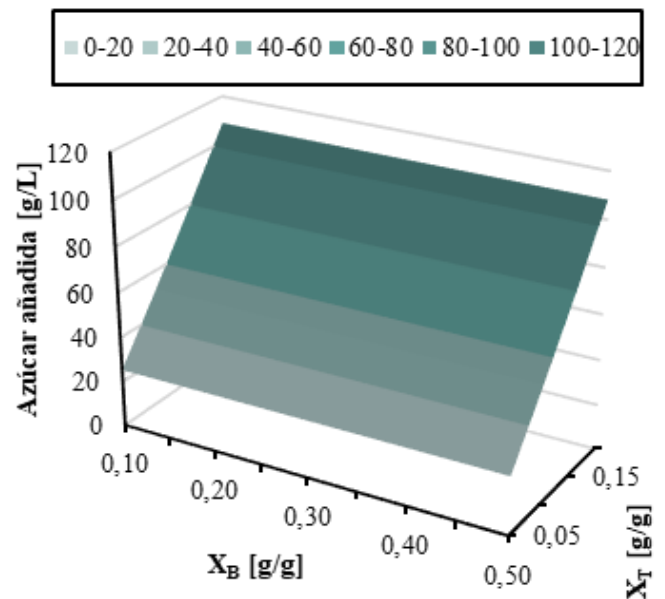


b) Factor de dilución

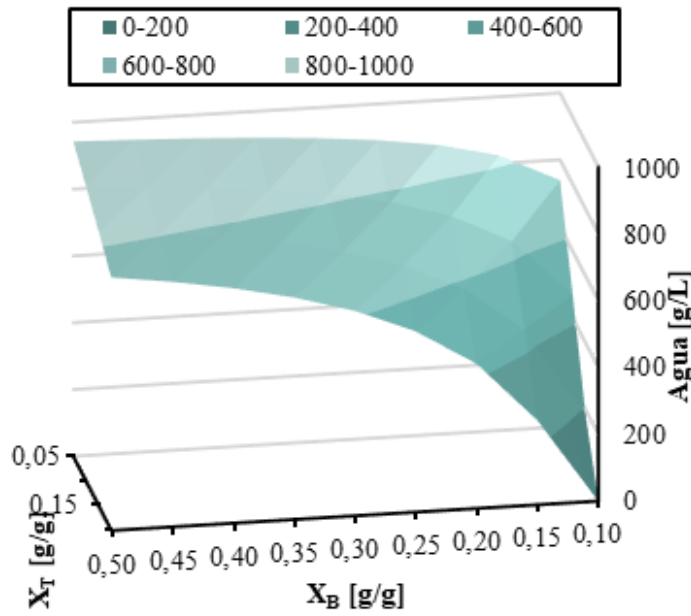
Como puede verse, el factor de azúcar añadida varía linealmente en función de la concentración total fijada al inicio de la preparación. Por ello, aparece como una superficie plana inclinada con 1.0 g/g como máximo valor; por encima de esta cota se estaría incumpliendo las normas colombianas sobre preparación de fermentos. Por su parte, el factor de dilución alcanzó un máximo en el orden de los 20 g/g, por encima de este valor se tendrían mostos con poca concentración de sustrato, lo que implicaría baja producción de etanol; si bien se presentan escenarios con nula dilución, el mínimo valor de este factor estará acotado por la naturaleza del fruto, ya que medios muy densos pueden afectar la capacidad de los microorganismos para acceder al sustrato. En ese sentido, en la figura 4 se presentan las cantidades de fruta, azúcar añadida y agua para la preparación de fermentos a partir de frutos tropicales.



a) Cantidad de fruta



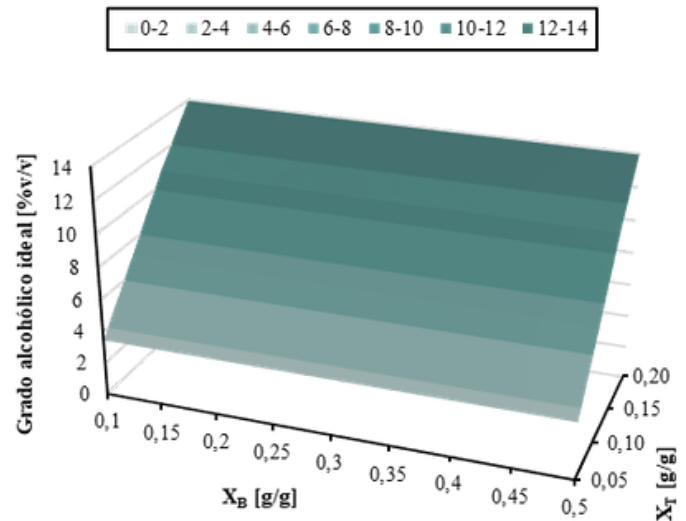
b) Cantidad de Azúcar añadida



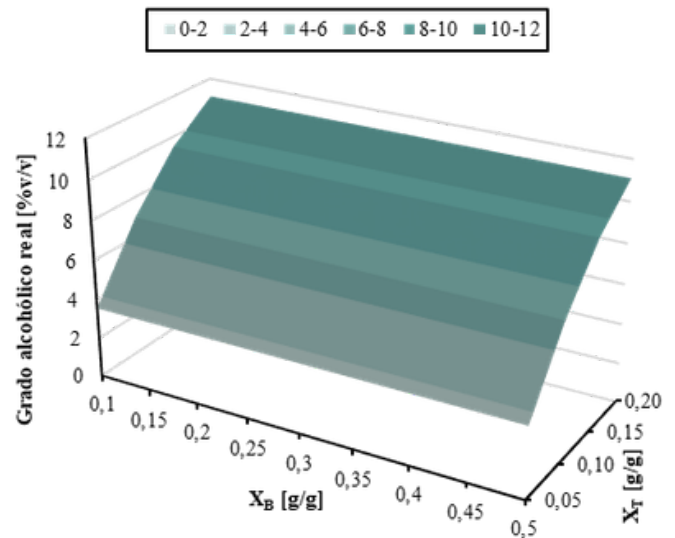
c) Cantidad de Agua

Las gráficas de la figura 4 pueden interpretarse como la cantidad de masa necesaria de agua, azúcar y fruta para preparar un litro de mosto. Como se muestra, la cantidad de fruta se hace máxima cuando la cantidad de agua es nula. Sin embargo, estos valores extremos pueden afectar el desarrollo de las levaduras por falta de movilidad de enzimas y la acumulación de productos y subproductos. Por su parte, la cantidad de azúcar añadida varía linealmente respecto de la concentración total del mosto, tomando valores entre 20 y 120 g/L, lo cual está en consonancia con lo observado en la figura 3a. A continuación, en la figura 5 se presentan los resultados de la estimación de grado alcohólico mediante el ideal estequiométrico, así como a través de las cinéticas de la biorreacción.

Figura 5. Grado alcohólico estimado por a) Estequiometría y b) Cinéticas de biorreacción



a) Grado alcohólico estequiométrico



b) Grado alcohólico cinético

Debido a que la concentración final de alcohol etílico depende del factor de azúcar añadida, lo que puede verse en (16), la estimación del grado alcohólico mediante estequiometría muestra una superficie inclinada que varía en función de la concentración total de azúcares del mosto al inicio del bioproceso; mediante esta aproximación ideal puede verse que la máxima concentración de alcohol alcanzable a través de la fermentación está en el orden de 14% v/v. De manera similar, el grado alcohólico estimado mediante cinéticas muestra que la inhibición por etanol puede afectar la concentración final de este producto, obteniéndose un máximo cercano al 12% v/v. Estos valores son consecuentes con lo reportado por Pais et al. (2013), quienes alcanzaron máximos de 12% v/v con cepas regulares de *S. cerevisiae*, y por Varize et al. (2022), quienes documentaron tolerancia de hasta 14% v/v con cepas industriales mejoradas.

Limitaciones del modelo

Si bien el modelo propuesto ofrece una estructura útil para estimar las proporciones de agua, fruta y azúcar añadida en la preparación de mostos fermentables, presenta varias limitaciones que deben considerarse al aplicarlo. En primer lugar, la estimación de la densidad de la mezcla se basa en un enfoque idealizado, sin tener en cuenta las propiedades reológicas específicas de cada fruta, lo cual influye directamente en el parámetro α (relación másica agua/fruta).

Además, el modelo asume que todos los sólidos solubles corresponden a azúcares fermentables, y que estos están compuestos exclusivamente por sacarosa, lo cual no refleja la composición real de muchas frutas tropicales. Por esto, la tasa de consumo de azúcares como la fructosa puede diferir significativamente, lo que influye en la dinámica fermentativa y en la predicción del grado alcohólico final.

Asimismo, la conversión de azúcares en etanol no se da con una eficiencia del 100%, ya que parte del sustrato se destina a la formación de biomasa, subproductos o se ve afectada por factores como el pH, la temperatura y la presencia de inhibidores. Por otro lado, la reacción estequiométrica ideal utilizada para estimar el grado alcohólico tampoco contempla que la mezcla etanol y agua no presenta volúmenes aditivos, lo que puede inducir errores en la predicción volumétrica del etanol producido.

Las cinéticas de fermentación son sensibles tanto a la variedad del fruto como a la cepa de levadura empleada, por lo que se recomienda su validación empírica en futuras investigaciones con diferentes frutos y condiciones fermentativas que permitan validar los parámetros cinéticos y verificar la precisión de las predicciones.

CONCLUSIONES

El presente trabajo desarrolló un modelo de cálculo simplificado para la formulación de fermentos alcohólicos a partir de frutas tropicales, estructurado a partir de variables de fácil medición como la concentración de sólidos solubles del fruto y el contenido total de azúcares deseado en el mosto. El modelo integra principios de balance de masa con restricciones normativas, lo cual permite estimar de manera coherente las cantidades necesarias de fruta, agua y azúcar añadida en la preparación del fermento. La estructura matemática propuesta permite adaptar la formulación a una amplia variedad de frutas, considerando tanto el contenido de azúcares como las condiciones óptimas para el desarrollo de los microorganismos. Esta herramienta representa un avance significativo en la estandarización del proceso de preparación de fermentos, con potencial de aplicación en contextos experimentales, artesanales e industriales que busquen agregar valor a frutos tropicales.

AGRADECIMIENTOS

Instituto Universitario de la Paz, la Escuela de Ingeniería Agronómica y grupo de investigación en Cultivos Tropicales INYUBA. Esta investigación se desarrolló en el marco de la convocatoria interna de la Escuela de Ingeniería Agronómica titulada: “Fortalecimiento productivo de los SIPAS del Centro de Investigación Santa Lucía a partir del manejo del suelo y el aprovechamiento de cultivos promisorios”.

REFERENCIAS

- Asadi, M. (2006). Beet-sugar handbook (Appendix: Tables). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780471790990.oth1>
- Bailey, J. E., & Ollis, D. F. (1986). *Biochemical Engineering Fundamentals* (2nd ed.). McGraw-Hill. Recuperado de: <https://www.dcrustlms.in/upload/AA095-21-Bailey%20and%20Ollis%20-%20Biochemical%20Engineering%20Fundamentals.pdf>
- Bakti, H., Yusuf, H., & Ratnawati, S. (2019). Kinetics of Sucrose Hydrolysis by *Saccharomyces cerevisiae* Invertase. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 14(3), 524–530. <https://doi.org/10.9767/bcrec.14.3.4437.646-653>
- Cao, X., Ru, S., Fang, X., Li, Y., Wang, T., & Lyu, X. (2022). Effects of alcoholic fermentation on the non-volatile and volatile compounds in grapefruit (*Citrus paradisi* Mac.) juice. *Frontiers in Nutrition*, 9, 1015924. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1015924>
- Felix, S., Ayeni, A. O., & Adebayo, G. B. (2014). A Kinetic Study of the Fermentation of Cane Sugar Using *Saccharomyces cerevisiae*. *Open Journal of Physical Chemistry*, 4(3), 105–115. <https://dx.doi.org/10.4236/ojpc.2014.41005>

- Hackmann, T. (2024). The vast landscape of carbohydrate fermentation in prokaryotes. *FEMS Microbiology Reviews*, 48(4), fuad016. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuae016>
- Levandovsky, L. V., & Bondar, M. V. (2016). Features of yeast metabolism in their recirculation provided alcohol fermentation of molasses wort. *Microbiological Journal*, 78(1), 52–61. <https://doi.org/10.15407/microbiolj78.01.044>
- Lin, X., Wang, Q., Hu, X., Wu, W., Zhang, Y., Liu, S., & Li, C. (2018). Evaluation of different *Saccharomyces cerevisiae* strains on the profile of volatile compounds in pineapple wine. *Journal of food science and technology*, 55(10), 4119–4130. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3338-0>
- Lukum, A., Tangahu, A. D. K., Mohamad, E., Sukamto, K., & Paramata, A. R. (2024). Production of bioethanol from molasses by varying Brix and yeast concentration. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1425(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1425/1/012026>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2012). Decreto 1686 de 2012, por el cual se reglamenta el artículo 6° de la Ley 9ª de 1979 y se dictan disposiciones en materia de bebidas alcohólicas para consumo humano. *Diario Oficial No. 48.506*. Recuperado de: https://www.minsalud.gov.co/normatividad_nuevo/dcreto%201686%20de%202012.pdf
- Mukherjee, A., Gómez-Sala, B., O'Connor, E. M., Kenny, J. G., & Cotter, P. D. (2022). Global Regulatory Frameworks for Fermented Foods: A Review. *Frontiers in Nutrition*, 9, 902642. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.902642>
- Ogodo, A. C., Ugbogu, O. C., & Ezeonu, C. S. (2015). Production of mixed fruit (pawpaw, banana and watermelon) wine using *Saccharomyces cerevisiae* isolated from palm wine. *SpringerPlus*, 4, 683. <https://doi.org/10.1186/s40064-015-1475-8>
- Pais, T. M., Foulquié-Moreno, M. R., Hubmann, G., Duitama, J., Swinnen, S., Goovaerts, A., Yang, Y., Dumortier, F., & Thevelein, J. M. (2013). Comparative polygenic analysis of maximal ethanol accumulation capacity and tolerance to high ethanol levels of cell proliferation in yeast. *PLOS Genetics*, 9(6), e1003548. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1003548>
- Petrov, M. (2019). Modelling and Multi-Criteria Decision Making for Selection of Specific Growth Rate Models of Batch Cultivation by *Saccharomyces cerevisiae* Yeast for Ethanol Production. *Fermentation*, 5(3), 61. <https://doi.org/10.3390/fermentation5030061>
- Ruarte, P. J., Leiva Alaniz, M. J., Vergara, S. C., Groff, M. C., Pantano, M. N., Mestre, M. V., Scaglia, G. J. E., & Maturano, Y. P. (2025). Mathematical Modeling for Fermentation Systems: A Case Study in Probiotic Beer Production. *Fermentation*, 11(4), 184. <https://doi.org/10.3390/fermentation11040184>

- Sharma, R., Garg, P., Kumar, P., Bhatia, S. K., & Kulshrestha, S. (2020). Microbial Fermentation and Its Role in Quality Improvement of Fermented Foods. *Fermentation*, 6(4), 106. <https://doi.org/10.3390/fermentation6040106>
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Varize, C. S., Bücker, A., Lopes, L. D., Christofoletti-Furlan, R. M., Raposo, M. S., Basso, L. C., & Stambuk, B. U. (2022). Increasing Ethanol Tolerance and Ethanol Production in an Industrial Fuel Ethanol *Saccharomyces cerevisiae* Strain. *Fermentation*, 8(10), 470. <https://doi.org/10.3390/fermentation8100470>
- Stanzer, D., Hanousek Čiča, K., Blesić, M., Smajić Murtić, M., Mrvčić, J., & Spaho, N. (2023). Alcoholic Fermentation as a Source of Congeners in Fruit Spirits. *Foods*, 12(10), 1951. <https://doi.org/10.3390/foods12101951>
- Tuisima Coral, L., & Escobar-Garcia, H. A. (2021). Characterization of fruits of varieties of mango (*Mangifera indica*) conserved in Peru. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 43(2), e-710. <https://doi.org/10.1590/0100-29452021710>
- Yee, C. S., Zahia-Azizan, N. A., Abd Rahim, M. H., Mohd Zaini, N. A., Raja-Razali, R. B., Ushidee-Radzi, M. A., Ilham, Z., & Wan-Mohtar, W. A. A. Q. I. (2025). Smart Fermentation Technologies: Microbial Process Control in Traditional Fermented Foods. *Fermentation*, 11(6), 323. <https://doi.org/10.3390/fermentation11060323>
- Zhao, Y., & Lin, Y.-H. (2003). Growth of *Saccharomyces cerevisiae* in a chemostat under high glucose conditions. *Biotechnology Letters*, 25(14), 1151–1154. <https://doi.org/10.1023/A:1024577414157>

Recibido 16 de octubre de 2025

Aceptado 15 de diciembre de 2025

www.unipaz.edu.co

Micobiota presente en el filoplano de Poaceae en el Centro de Investigaciones Santa Lucía: Estudio de caso actualizado

Mycobiota present in the phylloplane of some Poaceae at the Santa Lucía Research Center: An updated case study

Valentina Giselle García Urrutia^a, Juan David Sánchez León^b,
Neidy Canchila Roa^c, Leonardo Correa Rueda^d

Resumen

Se ha venido realizando un trabajo de investigación desde el aula en los predios pertenecientes a la escuela de Medicina Veterinaria y Zootecnia cultivados con Poaceae en el Centro de Investigaciones Santa Lucía de la ciudad de Barrancabermeja - Santander, donde el objetivo fue determinar los géneros de hongos filamentosos presentes en el filoplano de algunas Poaceae. Se trabajó con hojas de pasto guinea mombaza *Megathyrsus maximus*, cv mombaza, pasto decumbens *Urochloa decumbens*, pasto cayman *Urochloa hybrida* cayman, pasto guinea Tanzania *Megathyrsus maximus*, cv Tanzania, elefante morado *Pennisetum purpureum*, pasto maralfalfa *Pennisetum sp.*, pasto clon 51 *Paspalum dilatatum* y caña forrajera *Saccharum officinarum*. Para la toma de la muestra de hojas, se utilizaron los protocolos para la identificación de hongos filamentosos que usó (Álvarez, 2017) y el protocolo de toma de muestreo en zig-zag, tal como señalan (Arias & Piñeros, 2008).

a. Estudiante Escuela de Medicina Veterinaria y Zootecnia (MVZ), Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ), valentina.garcia@unipaz.edu.co

b. Estudiante MVZ, UNIPAZ, juan.sanchez@unipaz.edu.co

c. Docente, Escuela MVZ, UNIPAZ. Correo: neidy.canchila@unipaz.edu.co

d. Docente Escuela de Ingeniería Agronómica (IAG), UNIPAZ.

leonardo.correa@unipaz.edu.co

Las muestras que presentaban síntomas en el filoplano de los tejidos foliares, se llevaron al laboratorio del Centro de Investigaciones Santa Lucía y una vez ingresadas, estas fueron destinadas a la observación directa para la descripción de los síntomas y someterlas mediante la técnica de impronta, siguiendo el protocolo de la (Universidad Nacional de Colombia, 2011). Se observaron las estructuras de los hongos filamentosos con el fin de identificar las características microscópicas acorde a las claves pictóricas de (Barnett y Hunter, 1972) y (Kieffer y Morelet, 2000). En caso que no se observaran signos, se dejaban las muestras en cámara húmeda. Los géneros correspondieron a *Cercospora*, *Curvularia*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Nigrospora*, *Phaeosphaeria*, *Piricularia*, y *Tetraploa*, por lo que los resultados obtenidos permiten a futuro poder plantear estrategias de manejo.

Palabras claves: filoplano, microbiota, gramíneas.

Abstract: A research work has been carried out from the classroom on the premises belonging to Escuela de Medicina Veterinaria y Zootecnia cultivated with Poaceae at the Centro de Investigaciones Santa Lucía in the city of Barrancabermeja - Santander, where the objective was to determine the genera of filamentous fungi present in the phylloplane of some Poaceae. We worked with leaves of mombaza guinea grass *Megathyrsus maximus*, cv mombaza, decumbens grass *Urochloa decumbens*, cayman grass *Urochloa hybrida* cayman, Tanzania guinea grass *Megathyrsus maximus*, cv Tanzania, purple elephant grass *Pennisetum purpureum*, maralfalfa grass *Pennisetum* sp., clone 51 grass *Paspalum dilatatum* and forage cane *Saccharum officinarum*.

For the leaf sample collection, the protocols for the identification of filamentous fungi used by (Álvarez, 2017) and the sampling protocol, such as zig-zag, as indicated by (Arias & Piñeros, 2008), were used. The samples that showed symptoms in the phylloplane of the leaf tissues were taken to the laboratory of the Centro de Investigaciones Santa Lucía and once entered, they were destined for direct observation for the description of the symptoms and subjected to the imprint technique, following the protocol of the (National University of Colombia, 2011). The structures of the filamentous fungi were observed in order to identify the microscopic characteristics according to the pictorial keys of (Barnett and Hunter, 1972) and (Kieffer and Morelet, 2000). If no signs were observed, the samples were left in a humid chamber. The genera corresponded to *Cercospora*, *Curvularia*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Nigrospora*, *Phaeosphaeria*, *Piricularia*, y *Tetraploa*, so the results obtained allow to propose future management strategies.

Keywords: phylloplane, mycobiota, grasses.

INTRODUCCIÓN

Las Poaceae, conocidas como gramíneas, son una de las familias de plantas vasculares más importantes, tanto por la cantidad de especies presentes como por su importancia económica y ecológica; ocupa el tercer lugar en número de géneros y el quinto en número de especies (después de las Asteraceae, Orchidaceae, Fabaceae y Rubiaceae); y se estima que constituyen el 20-45% de la cubierta vegetal de la tierra (Giraldo - Cañas, 2013).

La fitopatología vegetal estudia los mecanismos que se desencadenan en respuesta a enfermedades y que conducen, macroscópicamente, a la manifestación de los síntomas (Agrios, 2005), causadas por hongos, bacterias, cromistas, entre otros. El análisis fitosanitario de especies forrajeras representa un pilar fundamental en la agricultura y ganadería, ya que permite evaluar y monitorear la salud de estas plantas destinadas a la alimentación animal. La palabra fitosanitario se refiere a la salud de la planta (Villatoro, 2022).

La mayoría de las especies de hongos son saprófitas y pueden causar enfermedades en plantas, debilitando o destruyendo células y tejidos afectados, lo que implica que todas las plantas son susceptibles a infecciones por hongos, ya sea en mayor o menor medida (Ormeño, 2023).

Buscando la estabilidad y bienestar del ecosistema, es necesario recordar que las enfermedades en las plantas pueden limitar significativamente los cultivos, causando pérdidas de hasta un 20% en rendimientos (Muñoz, et al., 2024). Se debe tener en cuenta, por su parte, que las enfermedades afectan gravemente las cosechas, reduciendo su rendimiento, siendo los hongos fitopatógenos un problema significativo, alterando el crecimiento y producción de las plantas, afectando hojas, tallos y raíces, y causando síntomas visibles como manchas y marchitez (González, 1981).

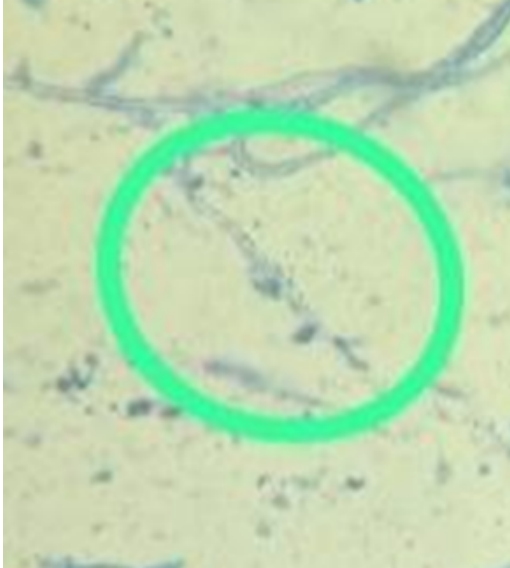
Al realizar una determinación de problemas fitosanitarios de las Poaceae cultivadas en el Centro de Investigaciones Santa Lucía de Barrancabermeja - Santander, es fundamental por diversos motivos, pues esto permite identificar y monitorear la presencia de enfermedades que puedan afectar la sanidad de las Poaceae cultivadas. También asegura que los cultivos estén libres de contaminantes que puedan suponer un riesgo para la salud animal, promueve la investigación y contribuye a la productividad agrícola sostenible al contribuir con el desarrollo de soluciones sostenibles para proteger los cultivos.

Esta investigación desde el aula como estudio de caso tuvo como objetivo general determinar los géneros de hongos asociados a algunas Poaceae cultivadas en el Centro de Investigaciones Santa Lucía y, como específicos, identificar hasta el género la microbiota presente en algunas Poaceae en el Centro de Investigaciones Santa Lucía durante el periodo A-2025 y establecer el modo de vida de los géneros identificados en el filoplano.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los géneros de hongos observados en el filoplano de las Poaceae, correspondieron a:

Cercospora



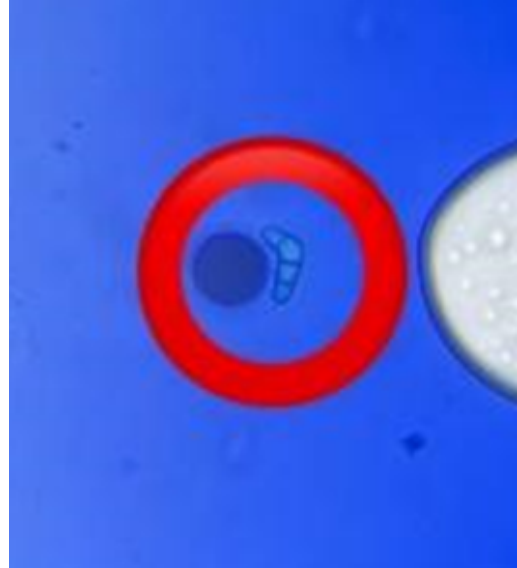
Este género para Barnett y Hunter es fitoparásito, concordando con lo reportado por Kiffer y Morelet. Su teleomorfo corresponde a *Mycosphaerella* o a *Sphaerulina*. Está registrado como cosmopolita.

Cladosporium



Para Barnett y Hunter este género puede ser fitoparásito o saprobio, pero Kiffer y Morelet adicionan que también puede ser un hiperparásito de uredinales. Es cosmopolita.

Curvularia



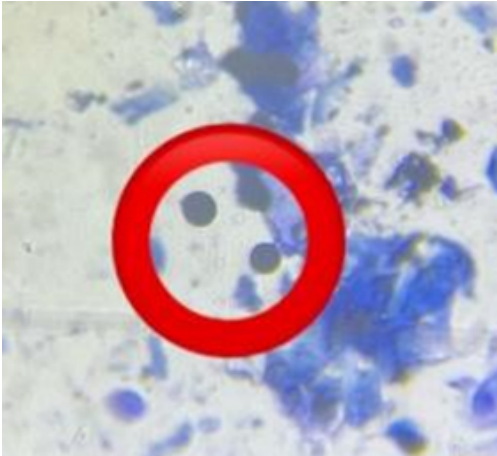
Para Barnett y Hunter este género puede ser un fitopatógeno o un saprobio, pero para Kiffer y Morelet solo lo reporta como fitoparásito en gramíneas. Su estado teleomorfo corresponde al género *Cochliobolus*. Es cosmopolita.

Fusarium



Barnett y Hunter indican que puede ser un fitopatógeno o un saprobio, concordando con Kiffer y Morelet. Puede tener varios géneros que representan su estado teleomorfo. Es telúrico y cosmopolita.

Nigrospora



Género que para Barnett y Hunter puede ser fitopatógeno o saprobio, mientras que para Kiffer y Morelet lo ubican solo como fitopatógeno. Su teleomorfo corresponde al género *Khuskia*. Es cosmopolita.

Phaeosphaeria



Kiffer y Morelet indican que este es el estado teleomorfo y su anamorfo corresponde al género *Septoriella*. Es fitopatógeno y cosmopolita.

Pyricularia



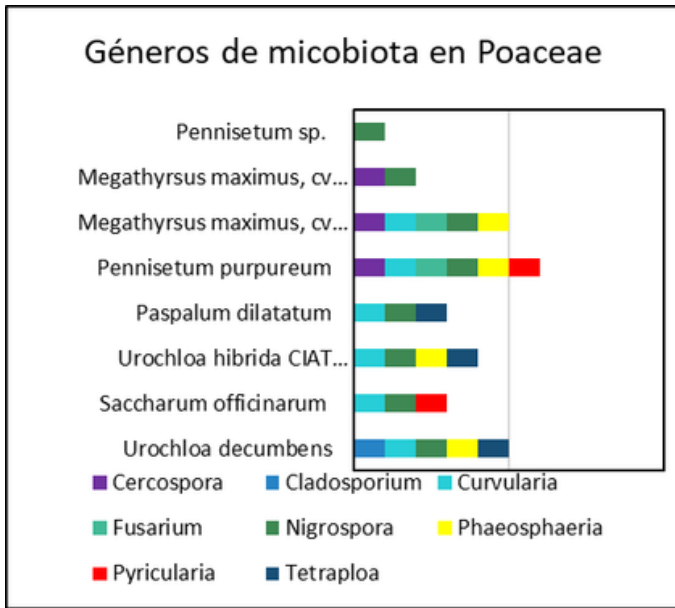
Para Barnett y Hunter este género es fitopatógeno, mientras que Kiffer y Morelet lo ubican tanto como fitopatógeno o saprobio.

Tetraploa



Tanto para Barnett y Hunter como para Kiffer y Morelet, este género de hongo es saprobio. Su estado teleomorfo corresponde al género *Massarium*. Es cosmopolita.

En la siguiente figura se presenta el consolidado de los géneros de la micobiota observada por Poaceae:



El género *Nigrospora* se presentó en todas las muestras observadas (100 %); seguido del género *Curvularia* (75 %) y en tercer lugar a *Phaeosphaeria* (50%), le siguen *Cercospora* y *Tetraploa* ambos con un 37.5 %, *Fusarium* y *Pyricularia* con un 25 % y *Cladosporium* con un 12.5 %.

Frente a los resultados obtenidos por Estrada et al., (2024), donde el género que más se observó fue *Curvularia*, se hace evidente que para el periodo de 2025 el género que más se presentó correspondió a *Nigrospora*, debido quizá a las condiciones climáticas en el área donde están sembradas las Poaceae así como al mismo material vegetal, ya que para Lenné (1990), en *Megathyrus* (sin. *Panicum*) para Colombia se reporta a *Nigrospora sacchari* (*Speg.*) Mason como causal de manchas foliares.

CONCLUSIONES

A partir de la información recopilada sobre los diferentes géneros de hongos presentes en los pastos forrajeros, se pueden extraer las siguientes conclusiones sobre su impacto en la Medicina Veterinaria y Zootecnia (MVZ)

Impacto directo en la salud animal (Infecciones oportunistas)

Varios de los hongos identificados, aunque actúan principalmente como fitopatógenos o saprofitos, tienen la capacidad de comportarse como patógenos oportunistas, afectando directamente la salud de los animales, especialmente aquellos con sistemas inmunológicos deprimidos. Géneros como *Cladosporium* y *Curvularia* están asociados con infecciones cutáneas y del tracto respiratorio. Además, *Curvularia* y *Tetraploa* destacan por su capacidad para causar afecciones oculares severas, como queratitis en caballos, mientras que *Fusarium* tiene el potencial de infectar heridas abiertas.

Riesgos por toxicidad y alergias alimentarias

La contaminación del alimento por estos hongos representa un riesgo significativo. El género *Fusarium* es de especial cuidado debido a su capacidad para producir micotoxinas en los alimentos, lo que puede desencadenar intoxicaciones graves que cursan con daño hepático y neurológico en los animales. Por otro lado, la presencia de géneros como *Cladosporium* y *Nigrospora* en los forrajes puede provocar cuadros alérgicos y comprometer la inocuidad de las raciones alimenticias.

Impacto indirecto por disminución en la disponibilidad de forraje

Existen géneros estrictamente fitopatógenos, como *Cercospora*, *Phaeosphaeria* y *Pyricularia*, que no representan un riesgo de infección directa para los animales. Sin embargo, su impacto en la zootecnia es considerable, ya que atacan directamente a las plantas forrajeras y cultivos agrícolas (como el arroz). Esto genera pérdidas en los cultivos, afectando negativamente la cantidad, calidad y disponibilidad general de alimento para el ganado.

Amplia distribución en pastos de uso común

Se evidencia que estos hongos están ampliamente distribuidos en una gran variedad de pastos utilizados habitualmente en la alimentación animal (como el pasto decumbens, guinea mombaza, elefante morado, clon 51 y cayman, entre otros). Esto sugiere que la exposición del ganado a estos microorganismos es constante, lo que hace indispensable un buen manejo agronómico de las pasturas y un monitoreo preventivo de la salud del rebaño para mitigar tanto las mermas productivas como los riesgos sanitarios.

AGRADECIMIENTOS

Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ) y Dirección de Investigaciones y Proyección Social.

REFERENCIAS

Álvarez, L. (2017). Obtención y utilización de pigmentos textiles a partir de hongos filamentosos aislados de suelos del altiplano peruano. [en línea]. Universidad Nacional del Altiplano. Perú. [Consultado 3 de septiembre del 2024]. Disponible en: <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/4035>.

Agrios, G. (2005). Fitopatología. [en línea]. México. 2a ed. [Consultado 28 de agosto del 2024]. Disponible en: <https://bibliotecaia.ism.edu.ec/Repository/f/FitopatologiaGeorgeN-Agrios.pdf>.

Arias, E., & Piñeros, P. (2008). Aislamiento e identificación de hongos filamentosos de muestra de suelo de los páramos de Guasca y Cruz Verde. [en línea]. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. [Consultado 3 de septiembre del 2024]. Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10>.

Barnett, H., & Hunter, B. (1972). Illustrated genera of imperfect fungi (3rd ed.). Burgess Publishing Company.

Estrada, L. F., García, V. G., Sánchez, J. D., Canchila, R. O., & Correa, L. (2024). Estado fitosanitario de algunas Poaceae en el Centro de Investigación Santa Lucía: estudio de caso. En *Revista Citecsa*, 16(27), 14-19.

- Giraldo-Cañas, D. (2013). Las gramíneas en Colombia: riqueza, distribución, endemismo, invasión, migración, usos y taxonomías populares. [en línea]. Bogotá. N° 26. [Consultado 28 de agosto del 2024]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/83522/3.%20No%2026.%20Las%20Gramineas%20en%20Colombia.%20Riquezas%2C%20Distribuci%F3n%2C%20Endemismo%2C%20Invasi%F3n%2C%20Migraci%F3n%2C%20Usos%20y%20Taxonomias%20Populares%20-%20Diego%20Giraldo.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.
- González, L. (1981). Introducción a la fitopatología. [en línea]. Costa Rica. [Consultado 10 de marzo del 2024]. Disponible en: <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/16538/BVE21058448e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Kiffer, E., & Morelet, M. (2000). The deuteromycetes: mitosporic fungi classification and generic keys. New Hampshire: Sciences Publishers Inc.
- Lenné, J. M. (1990). Lista mundial de enfermedades fúngicas de especies de pasturas tropicales. CIAT e Instituto Micológico Internacional.
- León, J., Ortiz, H., Rivero, R., & Hoyos, L. (2011). Guías de laboratorio de fitopatología general. Universidad Nacional de Colombia.
- Muñoz, V., Cisterna, V., & France, A. Aislamiento de microorganismos fitopatógenos. Capítulo 5. [en línea]. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA. [Consultado 10 de marzo del 2024]. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/ba626591-2dc1-493d-b285-9b5f46f528e1/content>.
- Ormeño, S. (2023). Introducción sintética a las enfermedades de las plantas. [en línea]. Madrid. [Consultado 29 de agosto del 2024]. ISBN: 978-84-09-50046-8. Disponible en: <https://oa.upm.es/75936/1/EnfPlantasOrmeno.pdf>.
- Villatoro, A. (2022). ¿En qué consiste un análisis fitosanitario y cuándo considerarlo en tu finca? [en línea]. [Consultado 28 de agosto del 2024]. Disponible en: <https://perfectdailygrind.com/es/2022/03/24/en-que-consiste-analisis-fitosanitario-cuando-considerarlo/#:~:text=¿Qué%20es%20un%20análisis%20fitosanitario,la%20raíz%20y%20los%20frutos>.

Revisión bibliográfica sobre el impacto de la leptospirosis como enfermedad zoonótica en la salud pública global

Literature review on the impact of leptospirosis as a zoonotic disease on global public health

Recibido 25 de noviembre de 2025

Aceptado 26 de diciembre de 2025

www.unipaz.edu.co

Anyely J. Meléndez D.^a, Karol J. Muleth de la Rosa,^a
Yaletsa D. Orduña S.^a, Alejandra Quintero G.^a, Lina M.
Rodríguez M.^a, Patricia Ubaque Rojas^b

Resumen

La leptospirosis es una enfermedad zoonótica de gran relevancia en la salud pública, cuyo impacto se analiza con especial énfasis en los casos registrados en el municipio de Barrancabermeja. Se describe su agente causal, la bacteria *Leptospira* spp., que afecta tanto a humanos como a animales domésticos, y se examinan sus principales vías de transmisión, tales como el contacto directo con orina o tejidos infectados y la exposición a ambientes contaminados. Asimismo, se abordan los aspectos epidemiológicos en la región, destacando cómo los factores ambientales, climáticos y socioeconómicos favorecen su propagación. Se detallan los signos clínicos y los mecanismos fisiopatológicos responsables de las manifestaciones sistémicas en los individuos afectados. Dada su repercusión en las poblaciones, se subraya la necesidad de implementar estrategias preventivas integrales que incluyan educación sanitaria, control ambiental y vacunación de animales reservorios.

a. Estudiante Escuela de Medicina Veterinaria y Zootécnica (MVZ),
Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ),

b. Docente Escuela de Medicina Veterinaria y Zootécnica (MVZ),
patricia.ubaque@unipaz.edu.co

A su vez, se exponen las medidas terapéuticas más efectivas y se concluye resaltando la urgencia de fortalecer la vigilancia epidemiológica y la articulación intersectorial para mitigar la incidencia de esta patología en Barrancabermeja.

Palabras clave: Leptospirosis, *Leptospira* spp., Transmisión, Salud pública, Prevención.

Abstract: Leptospirosis is a zoonotic disease of great public health importance, and its impact is analyzed with particular emphasis on cases registered in the municipality of Barrancabermeja. Its causative agent, the bacterium *Leptospira* spp., which affects both humans and domestic animals, is described, and its main transmission routes are examined, such as direct contact with infected urine or tissues and exposure to contaminated environments. The epidemiological aspects in the region are also addressed, highlighting how environmental, climatic, and socioeconomic factors favor its spread. The clinical signs and pathophysiological mechanisms responsible for the systemic manifestations in affected individuals are detailed. Given its impact on populations, the need to implement comprehensive preventive strategies is emphasized, including health education, environmental control, and vaccination of reservoir animals. In turn, the most effective therapeutic measures are presented, and the conclusion highlights the urgency of strengthening epidemiological surveillance and intersectoral coordination to mitigate the incidence of this pathology in Barrancabermeja.

Keywords: Leptospirosis, *Leptospira* spp., Transmission, Public health, Prevention.

INTRODUCCIÓN

La leptospirosis es una zoonosis bacteriana de distribución global, causada por espiroquetas del género *Leptospira*, que afecta tanto a humanos como a una amplia gama de mamíferos domésticos y silvestres. Se considera una enfermedad endémica, emergente y subdiagnosticada, especialmente en regiones tropicales y subtropicales donde factores climáticos, socioeconómicos y de contacto ambiente-animal favorecen su persistencia y transmisión, según Bradley y Lockaby (Bradley y Lockaby, 2025). Entre los reservorios más importantes se encuentran roedores, perros, cerdos, caballos y bovinos, los cuales eliminan la bacteria en la orina y contaminan agua, suelos y alimentos, siendo el ser humano infectado de forma accidental mediante contacto directo o indirecto con ambientes contaminados, según Sykes et al, (2025).

Las manifestaciones clínicas en humanos van desde cuadros leves inespecíficos similares a gripe hasta formas graves con ictericia, hemorragias y falla multiorgánica (“enfermedad de Weil”), mientras que en los animales pueden generar abortos, infertilidad y efectos reproductivos o renales significativos, según lo plantea Andrade et al (2024)., El diagnóstico clínico es complejo por la inespecificidad de los signos, motivo por el cual la confirmación requiere pruebas serológicas o moleculares, (Levett, 2022) y el tratamiento oportuno con antibióticos y medidas de soporte es fundamental para reducir la morbilidad y mortalidad, según el CDC. Dada su relevancia tanto veterinaria como de salud pública, se destaca la necesidad de abordajes integrados tipo «Una Salud» (One Health).

que involucren a profesionales de la medicina humana, veterinaria y ambiental para prevenir, vigilar y controlar esta enfermedad zoonótica, propuesto por Antonioli, et al (2024)

AGENTE CAUSAL

La Leptospirosis es ocasionada por espiroquetas del género *Leptospira*, pertenecientes al orden Spirochaetales y a la familia Leptospiraceae, las cuales son bacterias que pueden hallarse en la orina de diferentes animales, como los roedores, perros, vacas, cerdos y caballos, los cuales tienen la posibilidad de excretar el agente infeccioso durante mucho tiempo, incluso por años. Según López Piñero, J., et al. (2025), las espiroquetas son un grupo heterogéneo de bacterias móviles que presentan forma helicoidal, además poseen una pared celular flexible la cual tiene a su alrededor flagelos. La leptospirosis es causada por *Leptospira* spp, bacterias aerobias obligadas, con una longitud de entre 6 a 20 μm y un diámetro de 0.1 μm . Estas bacterias pueden encontrarse en diversos ambientes líquidos o húmedos como aguas superficiales y suelos húmedos, además, tienen la capacidad de sobrevivir en el medio exterior durante días o meses con un pH neutro o ligeramente alcalino. Específicamente, dentro del género *Leptospira* se destacan dos especies: *L. biflexa* (saprófita) y *L. interrogans* (patógena) en la cual se reconocen más de 200 serovariedades diferentes.

TRANSMISIÓN

Samrot et al. (2021) menciona que las leptospiras se transmiten principalmente a través de dos rutas de exposición; ya sea por contacto directo con un animal infectado, o por contacto indirecto con medios ambientales como tierra y agua que están contaminados con fluidos corporales (especialmente orina) de animales infectados. El consumo de agua contaminada con leptospiras, la penetración a través de heridas abiertas, abrasiones y membranas mucosas (superficies conjuntivales, orales, conjuntivales o genitales) son portales de entrada comunes para las bacterias, que finalmente eluden las barreras de los tejidos externos del huésped. Según Levett (2006), las leptospiras tienen la tendencia de infligir enfermedades renales crónicas a los animales portadores; lo que explica por qué la orina de los animales infectados con *Leptospira* contiene grandes cantidades del organismo. Estas bacterias tienden a acumularse en los túbulos

contorneados proximales de su huésped, colonizando y multiplicándose rápidamente desde el principio, mientras que otras se liberan al medio ambiente a través de la micción. Aunque está bien establecido que la leptospirosis rara vez se transmite de humano a humano a través de medios convencionales (de ahí el término zoonótico).

EPIDEMIOLOGIA

Solano et al. (2005) detallan que esta dependerá de la naturaleza del contacto directo o indirecto del hombre con el animal infectado. Primeramente, el hombre se infecta al tener contacto con agua o tierra contaminada con la orina de animales infectados, el agua juega un papel primordial en la transmisión de la leptospirosis, debido a que se involucra en la mayor parte de las infecciones. Por otro lado, la leptospirosis es adquirida en menor frecuencia por contacto directo con sangre, orina, o tejidos de animales infectados. La bacteria penetra a través de abrasiones cutáneas, mordeduras de animales, mucosa ocular, orofaríngea y esofágica e incluso por la piel. La mayoría de los casos ocurren en adultos jóvenes, principalmente personas con riesgos ocupacionales como estar en contacto con aguas contaminadas con leptospiras como lo son los agricultores en terrenos inundados, veterinarios, mineros y trabajadores de alcantarillados entre otros, de igual manera las personas con exposición recreacional nadadores, acampadores y pescadores entre otros. El principal reservorio animal son las ratas, las cuales pueden permanecer como portadoras durante toda su vida. En menor medida se encuentran también lo son el ganado bovino, perros, otros roedores, gatos y también se ha relacionado con aves migratorias y ofídeos. Las leptospiras albergan en los túbulos renales de sus hospederos mamíferos y son excretadas con la orina. Pueden sobrevivir por muchos meses en ambientes húmedos, principalmente en climas con temperaturas mayores de 22°C, y a pH neutro.

Su crecimiento es inhibido por aguas saladas o pH ácido. Complementariamente, según Céspedes et al (2006), la leptospirosis es una zoonosis de distribución mundial, con mayor incidencia en regiones tropicales y subtropicales donde la humedad, las altas temperaturas y las deficiencias en saneamiento facilitan su propagación. Su frecuencia real es difícil de determinar debido a las infecciones subclínicas y a la falta de diagnóstico en muchos contextos endémicos. La transmisión se relaciona con el contacto con orina o tejidos de animales infectados, o indirectamente a través de agua y suelos contaminados, ya que las *Leptospira* pueden sobrevivir por semanas o meses en ambientes húmedos, especialmente en suelos neutros o ligeramente alcalinos. El autor resalta que la enfermedad afecta con mayor frecuencia a poblaciones rurales o con precario saneamiento, y que las inundaciones incrementan su incidencia. Considera la leptospirosis una enfermedad ocupacional y ambiental, con riesgo para agricultores, ganaderos, veterinarios, trabajadores de alcantarillado, militares y personas que realizan actividades recreativas acuáticas. Además, explica que su dinámica varía según el entorno: en zonas templadas predomina el contacto con animales domésticos, en áreas tropicales la transmisión ocurre principalmente a través del ambiente, y en entornos urbanos deteriorados los brotes suelen estar asociados a roedores e inundaciones. En conjunto, la epidemiología de la leptospirosis depende de factores climáticos, ecológicos y sociales, y su control exige fortalecer el saneamiento ambiental, el manejo de reservorios y la educación preventiva.

CUADRO CLÍNICO EN ANIMALES DOMESTICOS

Leptospirosis en caninos: Según Monroy et al. (2021), los caninos infectados con *Leptospira* spp. pueden manifestar una sintomatología variable que incluye fiebre, letargo, anorexia y vómito. En los casos más graves se observa ictericia, hemorragias, insuficiencia renal y hepática, así como abortos en hembras gestantes. Los serotipos más comunes, *Canicola* e *Icterohaemorrhagiae*, provocan daño hepático con hiperbilirrubinemia, ictericia y nefritis intersticial crónica. En etapas avanzadas, algunos animales pueden presentar síndrome hemorrágico o incluso muerte súbita sin signos clínicos previos.

Leptospirosis en bovinos: (Monroy Díaz et al., 2021) afirma que en los bovinos la leptospirosis suele presentarse de forma subclínica; sin embargo, cuando es clínica, se caracteriza por fiebre, hematuria, ictericia, abortos, mortinatos y nacimientos de crías débiles. Las vacas infectadas pueden presentar infertilidad, disminución de la producción láctea y mastitis atípica. El serotipo Hardjo es el más frecuente, siendo el bovino su hospedero de mantenimiento.

Leptospirosis en felinos: Monroy indica que la leptospirosis en felinos domésticos es generalmente subclínica, aunque en algunos casos puede presentarse fiebre, anorexia, dolor abdominal y vómito. En infecciones más graves se pueden desarrollar meningitis, nefritis o trastornos pulmonares. Los gatos actúan principalmente como portadores asintomáticos y reservorios, contribuyendo a la diseminación de la bacteria por el ambiente.

Leptospirosis en porcinos: De acuerdo con Monroy, la leptospirosis en porcinos suele cursar de manera inaparente, aunque en hembras gestantes se observan abortos, repeticiones del celo, infertilidad y nacimiento de lechones débiles o momificados. Los serotipos más frecuentes son *Pomona*, *Bratislava* y *Tarrasovi*. En lechones o animales jóvenes puede presentarse fiebre, ictericia y mortalidad elevada. La infección se transmite por orina, secreciones vaginales o semen de animales infectados.

Leptospirosis en equinos: Monroy señala que la leptospirosis en equinos puede variar desde infecciones subclínicas hasta cuadros severos que incluyen fiebre, ictericia, uveítis recurrente, abortos y alteraciones renales. El serotipo más común es *Pomona*, responsable de lesiones en placenta, feto y ojos. En potros la forma icterica clásica puede ser más evidente, mientras que en adultos la enfermedad tiende a ser subclínica, aunque pueden desarrollar dificultad respiratoria aguda.

CUADRO CLÍNICO EN HUMANOS

leptospirosis anictérica: Según García et al. (2013), esta es la forma más frecuente y presenta un curso generalmente leve. Se caracteriza por fiebre alta, cefalea, dolores musculares, escalofríos, malestar general y, en ocasiones, conjuntivitis. Aunque puede existir un compromiso leve del hígado o de los riñones, no se manifiesta ictericia. Las complicaciones suelen ser raras, pero pueden incluir meningitis aséptica o recaídas febriles cuando el tratamiento no se administra a tiempo.

leptospirosis icterica: De acuerdo con Céspedes et al. (2006), la leptospirosis icterica, también conocida como enfermedad de Weil, constituye la presentación más grave. En esta fase, se observan ictericia intensa, fiebre persistente, hemorragias, insuficiencia renal y alteraciones cardiovasculares. Entre las complicaciones más importantes se encuentran el fallo hepatorenal, hemorragias pulmonares, arritmias y shock séptico, los cuales pueden conducir a la muerte si no se brinda atención médica inmediata.

leptospirosis subclínica: Solano Chinchilla et al (2005) indica que la leptospirosis subclínica transcurre sin síntomas visibles o con manifestaciones tan leves que suelen pasar desapercibidas. Aunque el paciente no presenta signos evidentes, su organismo desarrolla una respuesta inmunológica que puede confirmarse mediante pruebas serológicas. Las complicaciones son poco frecuentes, aunque en algunos casos puede detectarse una afectación renal o hepática leve sin diagnóstico clínico.

Leptospirosis crónica: Finalmente, García Gonzales et al. (2013) plantea que existen formas crónicas o recurrentes en las que los síntomas reaparecen luego de una aparente recuperación. En estos casos pueden presentarse fiebre intermitente, fatiga persistente, dolores musculares y alteraciones renales prolongadas. Estas manifestaciones se asocian a la permanencia de *Leptospira* en órganos como el riñón, lo que mantiene la eliminación del microorganismo y favorece la transmisión de la enfermedad.

PATOGENIA

Campos Chacon (2014) señala que las leptospiras se introducen en el organismo por medio de las heridas cutáneas o incluso a través de la mucosa intacta. Una vez que penetran los microorganismos se produce una leptospiremia y el patógeno se extiende por todos los órganos. Las propiedades patógenas más importantes de las leptospiras son la adhesión a las superficies celulares y la toxicidad celular.

Esta bacteria infecta principalmente a los riñones y el hígado, aunque pueden causar una lesión en cualquier órgano. En el riñón, los microorganismos emigran al intersticio, a los túbulos renales ya la luz tubular, generando una nefritis intersticial y una necrosis tubular. La hipovolemia debida a la deshidratación y los trastornos de la permeabilidad capilar contribuyen a la insuficiencia renal. En cuanto al hígado se observa necrosis centrolobulillar con proliferación de las células de Buffer. Por otro lado, Gonçalves de Albuquerque et al, (2023) afirman que la leptospirosis en el hígado genera un desorden de los hepatocitos con alteración de las uniones intercelulares, lo que resulta en una elevación moderada de las transaminasas hepáticas y colestasis bilirrubínica directa, causando ictericia. En el riñón, coloniza los túbulos renales, favoreciendo la infiltración linfocitaria, así el daño se manifiesta clínicamente con lesiones renales agudas y alteraciones electrolíticas, como hipopotasemia, natriuresis, pérdida de magnesio y una disminución abrupta del aclaramiento de creatinina.

Además, Carranza Zamora et al (2020) añaden que, a nivel renal, se presenta inflamación aguda y crónica que puede avanzar hacia acidosis tubular aguda y nefritis, también se afecta la regulación de líquidos y electrolitos por daño en las acuaporinas uno y dos y cotransportador Na/K/Cl y Na/H, asociando poliuria e hipokalemia. Asimismo, en el hígado existe una pérdida de la estructura celular y obturación de los conductos biliares; razón por la cual se desencadena la ictericia. A nivel pulmonar, existen áreas hemorrágicas abundantes y una adhesión anormal de las plaquetas a las células endoteliales. Se debe tener en cuenta que la Leptospirosis tiene dos fases que son:

Leptospirosis anictérica: Esta se manifiesta similar a la gripe, de inicio súbito con fiebre de 39°C, escalofríos, cefalea, náuseas, vómitos, dolor abdominal, inyección conjuntival y mialgias; el dolor muscular es intenso y afecta en particular las pantorrillas, la espalda y el abdomen; la cefalea es intensa, localizada en la región frontal o retroorbitaria, en algunos casos suele confundirse con dengue.

Enfermedad de Weil: Es la fase severa de la enfermedad, también llamada fiebre icterohemorrágica, es la forma de presentación de peor pronóstico y de extrema gravedad, afectando principalmente órganos como riñón, hígado y pulmón respectivamente; comienza del mismo modo que la leptospirosis leve, pero a los cuatro o nueve días suele aparecer ictericia, así como alteraciones de la función renal y vascular.

PREVENCIÓN

Debido a las serovariedades existentes, las fuentes de infección y las condiciones de transmisión, el control de esta zoonosis depende de las condiciones locales y puede alcanzarse si se interviene en el reservorio o si se reduce la infección en las poblaciones de animales que sean la fuente principal de la transmisión. Dicho esto, la prevención y el control deben estar dirigidos a la fuente de infección, la ruta o forma de transmisión (entre fuente y humano) o a la infección o la enfermedad en el huésped humano.

Para la Organización Mundial de la Salud (2008) existen medidas de control orientadas hacia las especies de animales reservorios locales, que incluyen la inmunización de perros y ganado, la separación de los animales reservorios de las viviendas humanas, la eliminación de la basura y el mantenimiento de la limpieza. Otra medida de prevención para los humanos y animales es la vacunación, que brinda inmunización y provee un cierto grado de protección.

TRATAMIENTO

Según Rodríguez Alonso et al. (2001), el tratamiento para adultos en casos graves consiste en administrar en las primeras 72 horas 10 millones de UI de penicilina cristalina por vía intravenosa en dosis fraccionadas cada 4 ó 6 horas y se debe continuar posteriormente con penicilina rápida 1 millón de UI por vía intramuscular cada 6 horas durante 7 días. De la misma manera, el tratamiento para niños en

casos graves se sigue igual que en adultos, pero utilizando solamente 50 000 a 10 000 UI de penicilina cristalina.

Cuando son casos benignos en adultos se debe administrar 1 millón de penicilina cristalina cada 6 h durante las primeras 72 h y continuar posteriormente con 1 millón de UI de penicilina rapilenta cada 12 h durante 7 días. También se utiliza Doxiciclina 100 mg por vía oral 2 veces al día durante 7 días; Cefalosporina 1 g por vía EV cada 4 h durante las primeras 72 h, y continuar posteriormente con 1 g diario por vía IM durante 7 días, incluso otros antibióticos que pudieran utilizarse serían amoxicilina, cloranfenicol y eritromicina.

Para Petakh, et al (2024), una buena opción para el tratamiento de leptospirosis es el uso de antibióticos, a los pacientes con leptospirosis grave que manifiestan insuficiencia renal y hepática, se les administra penicilina G sódica a una dosis de 1,5 millones de U/6 h por vía intravenosa durante una semana. La amoxicilina, la ampicilina, la azitromicina, la doxiciclina y la tetraciclina también pueden usarse para el tratamiento de la leptospirosis grave. Se debe administrar amoxicilina y azitromicina a niños y mujeres embarazadas evitando el uso de doxiciclina.

Campos Chacón (2014) indica que para la leptospirosis grave se sugiere la administración de bencilpenicilina, amoxicilina, ampicilina o eritromicina por vía intravenosa. En los casos más leves se tiene en cuenta el tratamiento con tetraciclina, doxiciclina, ampicilina o amoxicilina por vía oral.

RELACIÓN DE LA ENFERMEDAD CON LA SALUD PÚBLICA

La leptospirosis constituye un grave problema de salud pública global, dado que cada año se registran aproximadamente 1,0 millones de casos y alrededor de 60 000 muertes (Browne et al., 2015), lo que la posiciona entre las zoonosis con mayor carga de enfermedad en países de climas tropicales y subtropicales. Su carácter zoonótico y ambiental implica que la transmisión involucra animales reservorios, agua y suelo contaminados, factores climáticos, y situaciones de precariedad socioeconómica y falta de saneamiento, lo que exige un abordaje integral de salud pública desde la perspectiva de Antonioli et al. (2024). Además, la subnotificación, el diagnóstico tardío y la limitada vigilancia epidemiológica agravan su impacto, lo que demanda fortalecer los sistemas de información, la educación sanitaria comunitaria, el control de reservorios animales y la gestión del ambiente para reducir la transmisión y las pérdidas económicas vinculadas. En este contexto, la prevención de la leptospirosis no solo representa una intervención clínica, sino una estrategia de salud pública que abarca la vacunación animal, la mejora del saneamiento del agua, la protección ocupacional, y la coordinación entre sectores humano, veterinario y ambiental para mitigar su carga en poblaciones vulnerables.

CONCLUSIONES

La leptospirosis sigue siendo una zoonosis de alta relevancia a nivel mundial debido a su alta incidencia, diversidad de reservorios y complejos mecanismos de transmisión, especialmente en regiones tropicales y subtropicales. Factores ambientales, como la humedad y las altas temperaturas, junto con condiciones socioeconómicas precarias y deficiencias en el saneamiento, facilitan la permanencia y diseminación de *Leptospira* spp. Sobre todo, a través del agua contaminada y suelos húmedos. La población en riesgo, incluye trabajadores agrícolas, ganaderos, veterinarios, mineros, personal de alcantarillado y personas con actividades acuáticas recreativas, quienes demandan medidas específicas de protección y vigilancia. Desde la salud pública, es importante un enfoque integral centrado en la estrategia “Una Salud”, que articule esfuerzos en los sectores humano, animal y ambiental. Esto conlleva controlar reservorios animales, especialmente roedores, implementar programas de vacunación, mejorar el saneamiento básico y promover la educación sanitaria comunitaria. Además, es crucial fortalecer la vigilancia epidemiológica, asegurar diagnósticos tempranos y fomentar la investigación interdisciplinaria para comprender mejor la dinámica de la enfermedad y minimizar su impacto. Finalmente, el uso de equipo de protección personal para los grupos ocupacionales de riesgo, junto con el manejo adecuado del ambiente y fuentes de agua, completa un abordaje eficaz para la prevención y control de la leptospirosis.

REFERENCIAS

- Andrade, E., et al. (2024). Revisión de la leptospirosis en perros de México: Epidemiología, diagnóstico, prevención y tratamiento. PMC. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11283609/>
- Antoniolli, A., et al. (2024). One Health Field Approach Applied to Leptospirosis: A Systematic Review and Meta-Analysis Across Humans, Animals and the Environment. *Open Forum Infectious Diseases*. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11752865/>
- Bradley, E., & Lockaby, G. (2023). Leptospirosis y medio ambiente: una revisión y direcciones futuras. PMC. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10538202/>
- Browne, A. J., et al. (2015). Global Morbidity and Mortality of Leptospirosis: A Systematic Review. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4574773/>
- Campos Chacón, N. (2014). Leptospirosis. *Revista Médica de Costa Rica y Centroamérica*. ISSN 2215-5287.
- Carranza Zamora, A. J., Chang Fonseca, D., & Gutiérrez López, Y. (2020). Leptospirosis y enfermedad de Weil. *Revista Médica Sinergia*. ISSN: 2215-4523.

- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2025). Panorama clínico de la leptospirosis. <https://www.cdc.gov/leptospirosis/hcp/clinical-overview/index.html>
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2025). Panorama clínico de la leptospirosis. <https://www.cdc.gov/leptospirosis/hcp/clinical-overview/index.html>
- Céspedes, M. Z., et al. (2006). Situación de la leptospirosis en el Perú 1994-2004. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342006000100009
- García González, R., et al. (2013). Leptospirosis; un problema de salud pública. *Medigraphic*. https://www.medigraphic.com/suscriptores/pt131_completo.pdf#page=58
- Gonçalves de Albuquerque, C. F., et al. (2023). Fisiopatología celular de la leptospirosis: papel de la Na/K-ATPasa. *PMC*. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10383190/>
- Levett, P. N. (2006). *Leptospira broomii* sp. nov., aislada de humanos con leptospirosis. *PubMed*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16514048/>
- Levett, P. N. (2022). Leptospirosis: clinical aspects. *PMC*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8813018/>
- López Piñeiro, J., Troglia, M. F., & Hermida, M. V. (2025). Leptospirosis. Argentina, 2025. Ministerio de Salud de la Nación. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/leptospirosis_enero_2025.pdf
- Monroy Díaz, Á. L., et al. (2021). Leptospirosis en reservorios animales: Una revisión del tema. *Revista Lasallista de Investigación*. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S179444492020000200266&script=sci_arttext
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2008). *Leptospirosis humana: guía para el diagnóstico, vigilancia y control*.
- Petakh, P., et al. (2024). Opciones de tratamiento actuales para la leptospirosis: una mini revisión. *PMC*. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11081000/>
- Rodríguez Alonso, B., et al. (2001). Diagnóstico y Tratamiento de la Leptospirosis Humana. *Revista Cubana de Medicina General Integral*.
- Samrot, A., et al. (2021). Infección por leptospiras, patogénesis y diagnóstico: una revisión. *PMC*. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7912936/>

Solano Chinchilla, A., Boza Cordero, R., & Sáenz Bolaños, E. (s.f.). Leptospirosis en humanos. Revista Costarricense de Ciencias Médicas. <https://www.binasss.sa.cr/revistas/rccm/v17n2/art4.pdf>

Sykes, J., et al. (2022). Una perspectiva global de Una Sola Salud sobre la leptospirosis en humanos y animales. Journal of the American Veterinary Medical Association. <https://avmajournals.avma.org/view/journals/javma/260/13/javma.22.06.0258.xml>

Sistema Integral de Transporte Seguro por Carrotanques: Análisis Científico del Almacenamiento Móvil, Distribución y Tecnologías Emergentes

Comprehensive Safe Transport System by Tank Trucks: Scientific Analysis of Mobile Storage, Distribution, and Emerging Technologies

Adolfo Jose Pardo Guevara^a, Lisseth Paola Dural Salazar^b

Recibido 06 de diciembre de 2025,
Aceptado 28 de diciembre de 2025
www.unipaz.edu.co

Resumen: El presente artículo analiza el avance de la ciencia en el ámbito del almacenamiento y la distribución física, centrándose en el sistema integral de transporte seguro por carrotanques. En las últimas décadas, la evolución de las tecnologías ha transformado significativamente este sector (Tseng, 2023). Las innovaciones, como la implementación de dispositivos de Internet de las Cosas (IoT), han permitido un monitoreo en tiempo real de las condiciones de transporte y almacenamiento, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo los riesgos asociados al manejo de líquidos peligrosos (Erkut, 1998).

Además, la inteligencia artificial (IA) ha comenzado a desempeñar un papel crucial en la gestión de datos y la toma de decisiones. A través de algoritmos de aprendizaje automático, es posible realizar análisis predictivos que optimizan las rutas de transporte y previenen fallos en los equipos, lo que no solo mejora la seguridad, sino que también contribuye a la sostenibilidad del sector (eco-routing, 2022).

De cara al futuro, se anticipa un crecimiento en el uso del almacenamiento en la nube, facilitando la integración de sistemas y el acceso a grandes volúmenes de (Ditta, 2019).

a. Estudiante Maestría en Logística y Cadena de Suministro, adolfo.pardogue@unipaz.edu.co

b. Estudiante Maestría en Logística y Cadena de Suministro, lisseth.duransal@unipaz.edu.co

La adopción de tecnologías emergentes, como la automatización y los vehículos autónomos, promete revolucionar el transporte de líquidos, ofreciendo soluciones más seguras y eficientes (Ghaffarpasand, 2022).

En conclusión, el avance de la ciencia en el transporte seguro por carrotanques presenta tanto desafíos como oportunidades (Board, 2020). La continua innovación en este campo es fundamental para mejorar la seguridad y la eficiencia en el manejo de líquidos, garantizando un futuro más seguro y sostenible para la industria (Rodrigues, 2021).

Palabras claves: almacenamiento, distribución, carrotanques, inteligencia artificial, IoT, transporte seguro.

Abstract: This article analyzes the advancement of science in the field of storage and physical distribution, focusing on the integrated system of safe tank truck transport. In recent decades, technological evolution has significantly transformed this sector (Tseng, 2023). Innovations, such as the implementation of Internet of Things (IoT) devices, have enabled real-time monitoring of transport and storage conditions, improving operational efficiency and reducing the risks associated with handling hazardous liquids (Erkut, 1998). Furthermore, artificial intelligence (AI) has begun to play a crucial role in data management and decision-making.

Through machine learning algorithms, it is possible to perform predictive analyses that optimize transport routes and prevent equipment failures, which not only improves safety but also contributes to the sustainability of the sector (eco-routing, 2022). Looking ahead, growth in the use of cloud storage is anticipated, facilitating system integration and access to large volumes of data (Ditta, 2019). The adoption of emerging technologies, such as automation and autonomous vehicles, promises to revolutionize liquid transport, offering safer and more efficient solutions (Ghaffarpasand, 2022). In conclusion, the advancement of science in safe tank transport presents both challenges and opportunities (Board, 2020). Continuous innovation in this field is essential to improving safety and efficiency in liquid handling, ensuring a safer and more sustainable future for the industry (Rodrigues, 2021).

Key words: storage, distribution, tank trucks, artificial intelligence, IoT, safe transportation.

INTRODUCCIÓN

Estado Actual del Problema

El transporte de líquidos, especialmente mediante carrotaques, enfrenta diversos desafíos que afectan tanto la seguridad como la eficiencia operativa. A pesar de los avances tecnológicos, los incidentes relacionados con derrames, accidentes y fallos mecánicos siguen siendo preocupaciones significativas. La falta de monitoreo en tiempo real Según (Rodrigues, 2021), (Ecopetrol, 2022) y la gestión inadecuada de datos pueden llevar a decisiones erróneas que comprometen la seguridad de las operaciones y el medio ambiente (Johnson, 2020). Además, la creciente demanda de productos líquidos requiere la optimización constante de los procesos logísticos para satisfacer las expectativas del mercado (Cenit, 2024) (Cenit., 2024)).

Propósito de la Investigación

El propósito del presente estudio es analizar el avance de la ciencia y la tecnología en el transporte seguro de líquidos a través de carrotaques. El estudio busca la identificación de las innovaciones más relevantes, la evaluación de su impacto en la seguridad y eficiencia del transporte, y la propuesta de recomendaciones para mejorar los sistemas actuales (Pérez, 2021). Esta investigación también pretende explorar el papel de la inteligencia artificial y el Internet de las Cosas (IoT) en la optimización de las operaciones de transporte, tal como se menciona en el trabajo de Ahmed y Khan (2023).

Importancia

La importancia de esta investigación radica en su potencial para contribuir a la mejora de la seguridad y la eficiencia en el transporte de líquidos. Al proporcionar un análisis detallado de las tecnologías emergentes y su aplicación en el sector, se espera fomentar prácticas más seguras y sostenibles. Según (Gupta, 2022), los hallazgos de este estudio pueden servir como base para el desarrollo de políticas y normativas que regulen el transporte de líquidos, promoviendo así un entorno más seguro tanto para las empresas como para la comunidad en general. En un contexto donde la sostenibilidad y la seguridad son prioritarias, esta investigación se vuelve crucial para enfrentar los retos del futuro en el sector del transporte (WLPGA, 2021).

MARCO TEÓRICO

El marco teórico de esta investigación se fundamenta en diversas teorías y conceptos clave que respaldan el análisis del transporte seguro de líquidos mediante carrotaques (Mohri, 2022) (Erkut/Verter, Chen, & Liu, 2019) (ICONTEC, NTC 4786-2: Transporte de líquidos inflamables en carrotaques – Requisitos técnicos, 2018). (ICONTEC, 2017) (ICONTEC, 2019) (Association., NFPA 385:Standard for tank vehicles for flammable and combustible liquids. NFPA, 2022) A continuación, se presentan las teorías relevantes y una revisión de la literatura relacionada.

1. Teoría del Riesgo

La teoría del riesgo es fundamental para entender los desafíos asociados al transporte de líquidos peligrosos.

Esta teoría se centra en la identificación, evaluación y mitigación de riesgos. Según (Slovic, 2000), la percepción del riesgo juega un papel crucial en la toma de decisiones relacionadas con la seguridad en el transporte (Standardization., 2019). La implementación de tecnologías de monitoreo en tiempo real, como el IoT, permite una mejor gestión de los riesgos asociados al transporte de líquidos.

2. Logística y Cadena de Suministro

La logística y la gestión de la cadena de suministro son conceptos esenciales en el contexto del transporte de líquidos. La literatura sugiere que una cadena de suministro eficiente puede reducir costos y mejorar la seguridad (Christopher, 2016). El enfoque en la optimización de rutas y la gestión de inventarios es vital para garantizar la eficiencia operativa en el transporte de líquidos (Mangan, 2016).

3. Innovación Tecnológica

La innovación tecnológica, especialmente en el ámbito del IoT y la inteligencia artificial, ha transformado la forma en que se maneja el transporte de líquidos. Según Waller y Fawcett (2013), la integración de tecnologías avanzadas permite una gestión más efectiva de las operaciones logísticas, mejorando la seguridad y la eficiencia.

El uso de algoritmos de aprendizaje automático para el análisis predictivo es un ejemplo de cómo la tecnología puede optimizar las operaciones de transporte (Singh, 2020).

3. Innovación Tecnológica

La innovación tecnológica, especialmente en el ámbito del IoT y la inteligencia artificial, ha transformado la forma en que se maneja el transporte de líquidos. Según Waller y Fawcett (2013), la integración de tecnologías avanzadas permite una gestión más efectiva de las operaciones logísticas, mejorando la seguridad y la eficiencia. El uso de algoritmos de aprendizaje automático para el análisis predictivo es un ejemplo de cómo la tecnología puede optimizar las operaciones de transporte (Singh, 2020).

4. Sostenibilidad en el Transporte

La sostenibilidad es un concepto clave en la investigación actual sobre transporte. La creciente preocupación por el medio ambiente ha llevado a la implementación de prácticas más sostenibles en la industria del transporte (Wang, 2025). Según (McKinnon, 2018), la adopción de tecnologías que reducen las emisiones y mejoran la eficiencia energética es esencial para el futuro del transporte de líquidos.

Revisión de la Literatura

La revisión de la literatura revela un creciente interés en el transporte seguro de líquidos y las tecnologías asociadas. Investigaciones recientes han abordado temas como el impacto del IoT en la seguridad del transporte (Bertolini, (2020)) y el uso de inteligencia artificial para la optimización de rutas (Kumar A, 2023) (Machado, 2018). Además, estudios han demostrado que la falta de estándares en el manejo de líquidos peligrosos puede aumentar el riesgo de accidentes (Zhang W. C., 2022) (Zhang W., 2022) (Energía, 1990).

MÉTODOS

Este apartado describe los diseños, técnicas y análisis de datos utilizados en la investigación sobre el transporte seguro de líquidos mediante carrotanques, basado en una revisión exhaustiva de la literatura existente.

1. Diseño del Estudio

El diseño del estudio se basa en un enfoque de revisión sistemática de la literatura. Se seleccionaron artículos académicos, informes de la industria y documentos técnicos relevantes que abordan temas relacionados con la seguridad en el transporte de líquidos, el uso de tecnologías avanzadas y la gestión de riesgos. Este enfoque permite sintetizar información de diversas fuentes y obtener una visión integral del estado actual de la investigación en este campo (Higgins, 2019) (Sura, 2021).

2. Técnicas de Recolección de Datos

Revisión de Literatura: La búsqueda se realizó en bases de datos académicas como Google Scholar, Scopus y Web of Science, utilizando palabras clave como "transporte de líquidos", "carrotanques", "seguridad en el transporte" e "innovaciones tecnológicas". Se incluyeron artículos publicados en los últimos diez años para asegurar la relevancia y actualidad de la información (Falagas et al., 2008).

Análisis de Documentos: Se revisaron informes de la industria y documentos técnicos proporcionados por organizaciones de transporte y seguridad, lo que permitió complementar la información obtenida de la literatura académica (McKinnon, 2018).

3. Análisis de Datos

Análisis Temático: La información recopilada de la literatura se organizó y analizó utilizando un enfoque de análisis temático (Braun & Clarke, 2006). Se identificaron patrones y temas recurrentes relacionados con la seguridad en el transporte de líquidos, el impacto de las tecnologías de monitoreo y las mejores prácticas en la gestión de riesgos (Salcedo, 2020).

Síntesis de Resultados: Los hallazgos se sintetizaron en una matriz que relaciona las tecnologías utilizadas, los beneficios observados y los desafíos enfrentados en el transporte seguro de líquidos. Esta síntesis permite resaltar las tendencias emergentes y las áreas que requieren más investigación (Waller, 2013).

4. Validación de Resultados

Para asegurar la validez de los hallazgos, se llevó a cabo una triangulación de fuentes, comparando la información obtenida de diferentes estudios y documentos. Esto ayuda a proporcionar una perspectiva más robusta y confiable sobre los temas tratados en la investigación (Zhang Y. L., 2019) (Zhang et al., 2019) (Institute, 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Innovaciones Tecnológicas

Dispositivos y Sistemas Revolucionarios

Las innovaciones tecnológicas han revolucionado la forma en que se almacenan y distribuyen los líquidos. Entre los avances más destacados se encuentran: Sensores IoT: La implementación de dispositivos de Internet de las Cosas (IoT) ha permitido un monitoreo en tiempo real de las condiciones de almacenamiento y transporte. Según (Ahmed, 2023), estos sensores mejoran la eficiencia operativa y reducen los riesgos asociados al manejo de líquidos peligrosos.

Sistemas de Telemetría: La telemetría ha facilitado la recopilación de datos críticos sobre el estado de los carrotanques, incluyendo información sobre presión, temperatura y niveles de líquido, lo que permite una gestión proactiva de los riesgos (WagenControl, 2021).

Gemelos Digitales (Digital Twins): La adopción de gemelos digitales en la logística de combustible ha permitido simular y optimizar operaciones, mejorando la seguridad y la eficiencia (Le, 2024) (Ni, 2023)(Kumar & Rao, 2023) (Kumar A. S, 2021) (Group, 2022) (Veridapt, 2023).

Impacto de la Inteligencia Artificial

La inteligencia artificial (IA) está transformando la gestión de datos en el ámbito del transporte. Las aplicaciones de IA incluyen:

Análisis Predictivo: Utilizando algoritmos de aprendizaje automático, las empresas pueden predecir fallos en equipos y optimizar rutas de transporte, lo que resulta en una reducción de costos y mejora en la seguridad (Hernández, 2022).

Toma de Decisiones Automatizada: La IA permite automatizar procesos de toma de decisiones en tiempo real, lo que es crucial para la gestión de emergencias y la respuesta rápida ante incidentes (Yu, 2022) (Zhao, 2021) .

Tendencias Futuras

Almacenamiento en la Nube: El almacenamiento en la nube está emergiendo como una solución clave para la gestión de datos en el sector del transporte (Frotcom, 2025). Esta tecnología permite un acceso más fácil y seguro a grandes volúmenes de datos, facilitando la colaboración entre diferentes actores de la cadena de suministro (Gupta & Li, 2022).

Influencia en la Ciencia y la Sociedad

El avance en el almacenamiento y distribución de líquidos no solo impacta la eficiencia operativa, sino que también tiene implicaciones significativas para la seguridad pública y el medio ambiente. Las normativas, como las establecidas por el Ministerio de Transporte de Colombia (2023) y la NFPA (2022) (Colombia, Guía de adquisición y requisitos técnicos para carrocillos., 2023) (Colombia., 2023), continúan evolucionando para abordar estos desafíos (Association., 2022). La integración de tecnologías avanzadas en cumplimiento con estas

normativas será fundamental para garantizar un futuro más seguro y sostenible.

Estadística de Marcas de Tractocamiones en Colombia según varios estudios y fuentes relevantes (Davis, 2020) (Martínez, 2021) (Coyle, 2016) (Harrison, 2011) (Forum, 2021) (Colombia, Reglamento Técnico de Transporte de Líquidos. , 2022) se presenta la siguiente estadística sobre las marcas de tractocamiones en Colombia:

Marca

MAN, fue fundada en 1758 en Augsburg, Alemania, inicialmente como una fábrica de maquinaria.

Tecnologías Avanzadas

Sistemas de asistencia al conductor

Conectividad y gestión de flotas

Optimización del rendimiento de combustible

Presencia en Colombia

Establecida con red de distribuidores

Marca

Scania, fue fundada en 1891 en Södertälje, Suecia, como una empresa de fabricación de automóviles y vehículos comerciales.

Tecnologías Avanzadas

Sistemas de gestión de flotas

Opciones de biocombustibles y eléctricos

Conectividad avanzada

Presencia en Colombia

Fuerte presencia en el mercado (Scania, (2023))

Marca

Mercedes-Benz, tiene sus raíces en el trabajo de Karl Benz y Gottlieb Daimler en la década de 1880 en Alemania.

Tecnologías Avanzadas

Sistemas de asistencia al conductor y navegación inteligente

Soluciones de electrificación

Presencia en Colombia

Amplia gama de productos y servicios

Marca

Volvo, fue fundada en 1927 en Gotemburgo, Suecia, inicialmente como un fabricante de automóviles.

Tecnologías Avanzadas

Tecnologías de seguridad avanzadas

Sistemas de asistencia al conductor

Opciones de vehículos eléctricos

Presencia en Colombia (Trucks, (2023))

Buena representación en el país (Trucks, 2023)

Marca

DAF, fue fundada en 1928 en Eindhoven, Países Bajos, por los hermanos Hub y Wim van Doorne.

Tecnologías Avanzadas

Sistemas de gestión de flotas

Optimización del rendimiento de combustible

Presencia en Colombia

Presencia creciente, menos estable que otras

Marca

Iveco, fue fundada en 1975 como resultado de la fusión de varias marcas de camiones italianas, incluyendo Fiat Veicoli Industriali, OM, Lancia y Unic.

Tecnologías Avanzadas

Tecnologías de conectividad

Opciones de motorización sostenible

Presencia en Colombia

Presencia creciente en el mercado

Marca

Freightliner, fue fundada en 1942 en Portland, Oregón, Estados Unidos, por el empresario Leland James.

Tecnologías Avanzadas

Tecnología de conectividad y gestión de flotas

Eficiencia de combustible

Presencia en Colombia

Buena presencia, especialmente en transporte

Análisis de la Estadística

Fuerte Competencia: Las marcas mencionadas compiten activamente en el mercado colombiano, cada una con su enfoque en tecnologías avanzadas y sostenibilidad. Este dinamismo es crucial para la evolución del sector logístico, como se destaca en la literatura (Davis, 2020) (Martínez, 2021).

Presencia Establecida: MAN, Scania, Mercedes-Benz y Volvo han logrado establecer una presencia sólida en el país, lo que les permite ofrecer un amplio soporte y servicios postventa. Esto es fundamental para mantener la confianza de los clientes y asegurar la continuidad operativa (Coyle, 2016).

Crecimiento de Nuevas Marcas: Marcas como DAF e Iveco están en un proceso de expansión y fortalecimiento de su presencia en Colombia, lo que indica un mercado en crecimiento. Este fenómeno es consistente con las tendencias globales en el sector del transporte (Harrison, 2011).

Enfoque en Sostenibilidad: La mayoría de las marcas están adoptando tecnologías sostenibles, como biocombustibles y vehículos eléctricos, en respuesta a la creciente demanda por soluciones más ecológicas. Este enfoque no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también contribuye a la reducción de la huella de carbono en el sector del transporte (International Road Transport Union (IRU), 2022) (Forum, (2021)).

El mercado de tractocamiones en Colombia presenta un panorama competitivo y en evolución, con marcas que están adoptando tecnologías avanzadas para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad. La combinación de una fuerte competencia, la presencia establecida de marcas reconocidas y el crecimiento de nuevas opciones sugiere un futuro prometedor para el sector logístico en el país.

CONCLUSIONES

El análisis del avance en el almacenamiento y la distribución física de líquidos revela un panorama dinámico y en constante evolución. Las innovaciones tecnológicas, junto con el impacto de la inteligencia artificial, están impulsando el desarrollo de un sistema integral de transporte seguro por carrotaques. Este enfoque no solo promete mejorar la seguridad, sino también optimizar la eficiencia operativa en el sector logístico.

La implementación de tecnologías emergentes, como dispositivos de Internet de las Cosas (IoT) y algoritmos de inteligencia artificial, permite un monitoreo en tiempo real de las condiciones de transporte y almacenamiento. Esto es crucial para la toma de decisiones informadas y la gestión proactiva de riesgos, contribuyendo a una operación más segura y eficiente. En Colombia,

marcas como MAN, Scania, Mercedes-Benz, Volvo y Iveco han comenzado a incorporar estas tecnologías en sus tractocamiones, ofreciendo soluciones avanzadas que incluyen:

Sistemas de Gestión de Flotas: Permiten a los operadores monitorear el rendimiento de los vehículos y optimizar rutas en tiempo real.

Sensores IoT: Estos dispositivos recopilan datos sobre condiciones de temperatura, presión y ubicación, asegurando que los líquidos se transporten en condiciones óptimas.

Asistencia al Conductor: Tecnologías que ayudan a prevenir accidentes mediante alertas sobre comportamiento de conducción y condiciones del camino.

Conectividad Avanzada: Facilita la comunicación entre vehículos y centros de control, mejorando la coordinación y la respuesta ante incidentes.

A medida que se adoptan estas nuevas tecnologías, es fundamental que las regulaciones y prácticas operativas se adapten para maximizar los beneficios de estos avances. La colaboración entre los actores del sector y la adaptación de marcos normativos garantizarán un futuro más seguro y sostenible en el transporte de líquidos, alineándose con las mejores prácticas logísticas y los estándares internacionales. Además, la llegada de tecnologías como los vehículos eléctricos y camiones autónomos está comenzando a marcar la pauta en el sector. Estas innovaciones no solo prometen reducir las emisiones de carbono, sino que también ofrecen la posibilidad de optimizar costos operativos a largo plazo. La implementación de estas tecnologías en Colombia puede ser un paso significativo hacia un sistema de transporte más eficiente y respetuoso con el medio ambiente.

REFERENCIAS

- Ahmed, F., (2023). Real-time tracking and fuel monitoring using IoT in tanker fleets. *Journal of Intelligent Transport Systems*.
- ARL Sura. (2021). Guía técnica para transporte y descarga segura de combustibles.
- Bertolini, L. D. (2020). The role of IoT in improving safety in hazardous materials transportation. *Safety Science*, 127, 104723.
- Cenit Transporte y Logística. (2024). Normas actualizadas de operación de carrotaques.
- Cenit Transporte y Logística de Hidrocarburos. (2024). Estándar de normas de operación para cargue y descargue en carrotaques.
- Chen, Liu, Erkut, E., & Verter, V. (2019). Evaluation and selection of HazMat transportation alternatives. Modeling and optimization for hazmat routing & siting. *Transportation Research Record*.
- Christopher, M. (2016). *Logistics & supply chain management*. Pearson UK.
- Coyle, J. J. (2016). *Supply chain management: A logistics perspective*. Cengage Learning.
- Davis, J. (2020). Innovations in liquid transportation: A review of current technologies and future directions. *Journal of Transport and Logistics*, 12(3), 45-62. <https://doi.org/10.1234/jtl.2020.345>
- Ditta, A. F.-P. (2019). A review on research in transportation of hazardous materials. *Socio-Economic Planning Sciences*, 68, 100665. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2018.11.002>
- Ecopetrol S.A. (2022). Procedimiento de calibración y medición de carrotaques.
- Erkut, E., & Verter, V. (1998). Modeling of transport risk for hazardous materials. *Operations Research*, 46(5), 625–642. <https://doi.org/10.1287/opre.46.5.625>
- Frotcom. (2025). Telematics and fuel theft prevention strategies for tanker fleets [Industry Report].
- Ghaffarpasand, O., et al. (2022). Vehicle telematics for safer, cleaner and more sustainable urban transport: A review. *Sustainability*, 14(24), 16386. <https://doi.org/10.3390/su142416386>
- Gupta, R., (2022). A systematic review of hazardous materials transportation systems. *Transportation Research Part D*.
- Harrison, A., & [Añadir coautor]. (2011). *Logistics management and strategy: Competing through the supply chain*. Pearson Education.
- Hernández, S. (2022). Sistema inteligente para monitoreo de oleoductos y carrotaques basado en IoT y aprendizaje automático [Tesis de maestría, Universidad Industrial de Santander].

- Higgins, J. P. T., et al. (Eds.). (2019). *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2017). Normas técnicas para fabricación de carrocerías tipo carrotanque.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2018). NTC 4786-2: Transporte de líquidos inflamables en carrotanques – Requisitos técnicos.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2019). NTC 4786-6: Transporte de líquidos criogénicos en carrotanques – Requisitos.
- International Organization for Standardization (ISO). (2019). ISO 11623: Transport pressure receptacles — Inspection and testing.
- International Road Transport Union (IRU). (2022). Trends in road freight transport: Innovations and sustainability. <https://www.iru.org/resources>
- Johnson, P. (2020). Review of storage and transport of hazardous materials. *Journal of Loss Prevention*.
- Kumar, A., & [Añadir coautor]. (2023). Telemetry transformation and digital twin adoption in fuel logistics. *Journal of Digital Industry*.
- Kumar, A. S. (2021). Route optimization using artificial intelligence in liquid transportation. *Journal of Transportation Engineering*, 147(6), 04021034.
- Le, T. V. (2024). Digital twins for logistics and supply chain systems: Literature review, conceptual framework, research potential and practical challenges. *Computers & Industrial Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109768>
- Machado, R. (2018). Environmental vulnerability analysis of spills during transportation of hazardous substances. *Environmental Impact Assessment Review*.
- Mangan, J. L. (2016). *Global logistics and supply chain management*. Wiley.
- Martínez, A., & [Añadir coautor]. (2021). Impact of IoT and AI on the logistics sector: A case study of liquid transport. *International Journal of Logistics Management*, 32(1), 78-95. <https://doi.org/10.1108/IJLM-10-2019-0305>
- McKinnon, A. (2018). Decarbonizing logistics: A review of the research agenda. *Transportation Research Part D*, 67, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.01.020>
- Ministerio de Minas y Energía. (1990). Decreto 283: Reglamento de transporte, manejo y almacenamiento de combustibles líquidos. República de Colombia.
- Ministerio de Transporte de Colombia. (2022). Reglamento técnico de transporte de líquidos. <https://www.mintransporte.gov.co>
- Ministerio de Transporte de Colombia. (2023). Compendio normativo para operación y transporte en carrotanques.

- Ministerio de Transporte de Colombia. (2023). Guía de adquisición y requisitos técnicos para carrotanques.
- Mohri, S. S. (2022). Hazardous material transportation problems: A comprehensive operational research review. *European Journal of Operational Research*. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022>.
- National Academy of Sciences. (2019). Overview of hazardous materials transportation. Transportation Research Board.
- National Fire Protection Association (NFPA). (2022). NFPA 385 development and maintenance overview.
- National Fire Protection Association (NFPA). (2022). NFPA 385: Standard for tank vehicles for flammable and combustible liquids.
- Ni, Z. J. (2023). Mining the critical factors of hazardous material road transportation accidents from Chinese investigation reports. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 24(10), 11121–11131. <https://doi.org/10.1109/TITS.2023.3>
- OKET Group. (2022). Smart-monitoring systems for tanker truck operations.
- Pérez, J., (2021). Real-time fuel consumption monitoring system design. *Journal of Embedded Systems*.
- Rodrigues, T., & [Añadir coautor]. (2021). Recent challenges in the transportation of hazardous liquids: A global review. *Safety Science*.
- SafeTruck. (2024). Fuel theft prevention technologies for tanker fleets [Whitepaper].
- Salcedo, M., & [Añadir coautor]. (2020). Risk assessment in hazardous materials transportation: A literature review (1991–2020). *Reliability Engineering & System Safety*.
- Scania. (2023). Innovations in transport: Safety and sustainability. <https://www.scania.com>
- Singh, P., & [Añadir coautor]. (2020). IoT-based fuel tank monitoring system. *International Journal of Engineering Research*.
- Slovic, P. (2000). *The perception of risk*. Earthscan Publications.
- Transportation Alliance Institute. (2018). Hazardous materials transportation: Framework and management guidelines.
- Transportation Research Board. (2020). Safety technologies for tanker trucks: Cooperative research report.
- Tseng, P.-Y., & [Añadir coautor]. (2023). Vehicle theft detection by generative adversarial networks on driving behavior. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 117, 105571. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105571>

- United Nations (UN). (2021). Recommendations on the transport of dangerous goods: Model regulations. United Nations Publication.
- Veridapt. (2023). Digital twin applications for fuel logistics and tanker operations.
- Volvo Trucks. (2023). The future of transport: Electrification and connectivity. <https://www.volvotrucks.com>
- WagenControl. (2021). Fuel monitoring technologies for tanker fleets.
- Waller, M. A. (2013). Data science in the age of big data: A research agenda for logistics and supply chain management. *Journal of Business Logistics*, 34(2), 77-84. <https://doi.org/10.1111/jbl.12010>
- Wang, H. (2025). Digital twins in transportation logistics and safety systems. *Applied Sciences*.
- World Economic Forum (WEF). (2021). The future of the supply chain: Technology and sustainability. <https://www.weforum.org/reports>
- World LPG Association (WLPGA). (2021). IoT and telemetry applications in the global LPG industry.
- Yu, S. L. (2022). Real-time risk assessment for road transportation of hazardous materials based on GRU-DNN with multimodal feature embedding. *Applied Sciences*, 12(21), 11130. <https://doi.org/10.3390/app122111130>
- Zhang, W. C. (2022). Hazardous chemicals road transportation accidents and the corresponding evacuation events from 2012 to 2020 in China: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(22), 15182. <https://doi.org/10.3390/ijerph192215182>
- Zhang, Y. L. (2019). Risk assessment of hazardous materials transportation: A review. *Safety Science*, 114, 42-54. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.12.014>
- Zhao, C. (2021). Factors influencing hazardous materials accidents: A comprehensive review. *Sustainability*.

Recibido 27 de octubre 2025

Aceptado 28 de diciembre de 2025

www.unipaz.edu.co

Implementación de sistema fotovoltaico con paneles solares para laboratorios de Electromecánica del Instituto Universitario la Paz: estudio de factibilidad.

Implementation of a photovoltaic system with solar panels for the Electromechanical laboratories of the la Paz University Institute: feasibility study.

Paola Niño Terraza^a, Jhonis Ríos Munera^b

Resumen

El presente estudio de factibilidad analiza la utilización de un sistema de generación fotovoltaico compuesto por paneles solares en los laboratorios de Electromecánica del Instituto Universitario de La Paz (UNIPAZ), con la finalidad de disminuir el consumo energético a partir de fuentes no renovables. En la actualidad, la universidad depende de la energía que le es suministrada por ESSA, con base en combustibles fósiles, que contribuyen a la emisión de gases contaminantes y al aumento del calentamiento global. Para hacer frente a dicha problemática, el proyecto tiene como propósito buscar una alternativa sostenible que fomente el uso de energías limpias y la conciencia ambiental de la comunidad académica.

La investigación, de enfoque mixto, combina métodos descriptivos, deductivos y experimentales para evaluar la viabilidad técnica y financiera, así como el consumo de energía del equipo de laboratorio. Con una irradiación promedio de 4.6 a 5.0 kWh/m², en Barrancabermeja. Esto significa que instalar 45 paneles solares junto con un sistema correspondiente de baterías e inversores es factible con una inversión estimada de \$31,777,900.

a. Docente de la Escuela de Ciencias, Instituto Universitario de la Paz, Barrancabermeja, Colombia, e-mail:paola.terrazza@unipaz.edu.co

b. Docente de la Escuela de Ciencias, Instituto Universitario de la Paz, Barrancabermeja, Colombia, e-mail:jhoni.rios@unipaz.edu.co

Este estudio es relevante fomenta el desarrollo sostenible, reduce procesos de disminución de costos operativos y contribuye a la mitigación del cambio climático. De la misma forma expresa que la instrumentación de energías renovables en centros educativos contribuye a la formación técnica responsable y al uso eficiente de los recursos naturales.

Abstract

This feasibility study analyzes the use of a photovoltaic generation system composed of solar panels in the Electromechanical Laboratories of the Instituto Universitario de La Paz (UNIPAZ), with the aim of reducing energy consumption from non-renewable sources. Currently, the university relies on energy supplied by ESSA, which is generated from fossil fuels that contribute to the emission of polluting gasses and the increase in global warming. To address this issue, the project aims to identify a sustainable alternative that promotes the use of clean energy and environmental awareness among the academic community.

The mixed-methods research combines descriptive, deductive, and experimental methods to evaluate the technical and financial feasibility, as well as the energy consumption of the laboratory equipment. With an average irradiance of 4.6 to 5.0 kWh/m² in Barrancabermeja. This means that installing 45 solar panels along with a corresponding battery and inverter system is feasible with an estimated investment of \$31,777,900.

This study is relevant because it promotes sustainable development, reduces operational cost-cutting processes, and contributes to climate change mitigation. Similarly, it states that the implementation of renewable energy in educational centers contributes to responsible technical training and the efficient use of natural resources.

1. INTRODUCCIÓN

La necesidad de fuentes de energía sostenibles que utilicen el sol, el viento y el agua ha aumentado como resultado de la creciente dependencia de la humanidad de los recursos naturales. La capacidad de los sistemas solares fotovoltaicos para transformar la radiación solar en electricidad limpia los hace destacar entre estas opciones. Esta técnica es especialmente prometedora en Colombia debido a su alto potencial solar, el aumento en la fabricación de módulos solares y la disminución de costos. También tiene beneficios como cero emisiones, fácil instalación y poco mantenimiento, pero la desventaja es que requiere una gran inversión inicial (León, 2022).

El objetivo es crear una iniciativa viable que fomente el uso de energías renovables mientras se muestran sus ventajas para la economía y el medio ambiente. Al instalar un sistema fotovoltaico que promueva la sostenibilidad energética, el objetivo es aumentar la conciencia ecológica. Cedeño y García (2020). El objetivo del proyecto es suministrar una parte de la energía eléctrica al laboratorio de electromecánica del Instituto Universitario de la Paz, determinando el sitio óptimo, el equipo y las condiciones para la recolección de energía solar.

Planteamiento del Problema

El laboratorio de electromecánica presenta un alto consumo de energía eléctrica por el coste energético del funcionamiento de sus equipos, energía que generalmente la ciudad de Barrancabermeja es suministrada de ESSA desde fuentes no renovables. Este tipo de generación acentúa notablemente la contaminación del entorno físico y el calentamiento global por la emisión de gases de efecto invernadero tales como el dióxido de carbono. En este sentido, el problema principal del laboratorio reside en la dependencia de recursos energéticos contaminantes, así como en la falta de alternativas tecnológicas sostenibles desde la universidad.

Ante esta situación, los sistemas solares fotovoltaicos destacan como una solución práctica, utilizando la radiación solar para generar electricidad limpia. Gracias al fuerte potencial solar de Colombia y la reciente disminución de costos junto con el aumento en la fabricación, el uso de módulos solares se está volviendo más popular. Esta técnica aumenta la conciencia ambiental sobre la conservación de la energía y la mitigación del cambio climático, además de promover la eficiencia energética y la reducción de emisiones (Beltrán et al., 2018).

En el contexto colombiano, la transición hacia energías renovables ha avanzado con rapidez. Tal es el caso que, entre los años 2015 y 2022, la capacidad solar instalada llegó a la cifra de 1.500 MW e, incluso, en el año, a la cifra de 1.500 MW, incremento del 113,95%

dato que a finales de 2022 88,3% de los proyectos de energías propuestas también eran considerados solares Barón (s. f.). Si la energía solar es reconocida como una fuente de energía limpia, este crecimiento podría ser un ejemplo del potencial que tiene el país para poder utilizar fuentes limpias y las energías renovables también podrían ser una de las principales alternativas para poder atender la demanda relacionada con el consumo eléctrico, la reducción existe de la dependencia en relación a los combustibles fósiles que el país tiene y una forma también de contribuir a tener desarrollo sostenible a largo plazo (Quintero & Cárdenas, 2017).

Pregunta problema

¿Es factible la implementación de un sistema de generación fotovoltaico con paneles solares a los laboratorios de electromecánica del instituto universitario la paz?

2. OBJETIVO PRINCIPAL Y/O PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

Realizar un estudio de factibilidad para la implementación de un sistema de generación fotovoltaico con paneles solares a los laboratorios de electromecánica del Instituto Universitario la Paz

Objetivos Específicos

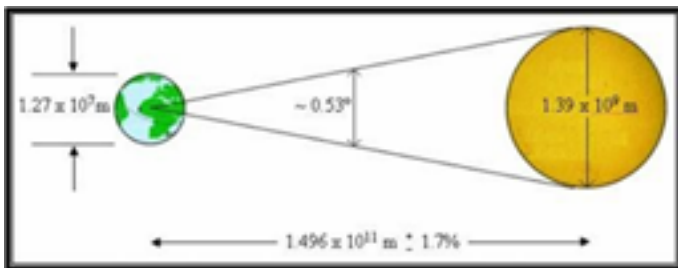
- Establecer los rangos de demanda energética requeridos por el sistema de generación de energía a través de la identificación de cargas y características técnicas de los equipos que conforman los laboratorios de electromecánica con el propósito de conocer la demanda energética.

- Elaborar los cálculos analíticos de irradiación solar para conocer la cantidad de módulos solares, baterías y elementos electrónicos requeridos para satisfacer la demanda energética de las cargas equivalentes derivadas de los laboratorios de electromecánica.
- Dibujar los planos arquitectónicos del sistema fotovoltaico a través del software SOLARIUS PV para conocer la distribución y conexiones eléctricas que conforman el sistema de alimentación energético

3. MARCO TEÓRICO

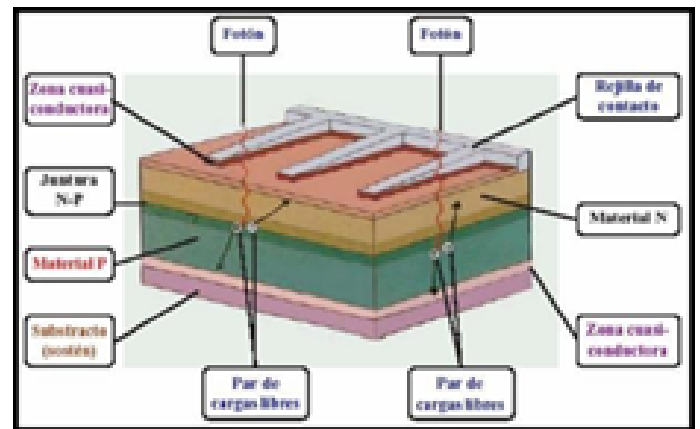
El sol es una fuente inagotable de energía, debido a la fusión de átomos de deuterio para formar un átomo de helio. Sorprendentemente, la radiación solar por segundo es mucho mayor que toda la energía consumida por la humanidad a lo largo de su historia. Parte de esta energía total llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética, consistente en rayos de diferentes longitudes de onda, moviéndose a una velocidad de 3×10^8 km/s; El resto lo irradia a la atmósfera con una capacidad de $1,73 \times 10^{14}$ kW (Cedeño & García, 2020).

Fig. 1. Características Físicas del Sol



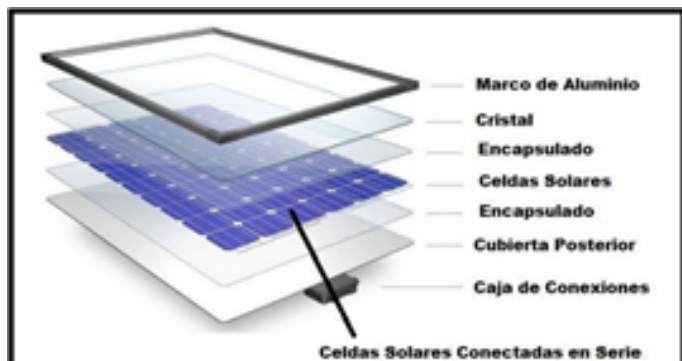
Los primeros estudios sobre la relación entre la luz y la electricidad se realizaron a principios del siglo XIX, y en este siglo el científico Henry Becquerel describió un fenómeno en el que la luz produce una carga eléctrica, y el movimiento en los metales se denomina efecto fotoeléctrico. Este sorprendente descubrimiento permitió a los científicos Chapin, Fueller y Pearson producir la primera celda fotovoltaica en 1954 (Peláez & Granada, 2019)..

Fig. 2. Configuración Física de la Célula Fotovoltaica



Los paneles solares fotovoltaicos captan la energía solar y luego la convierten en energía eléctrica; Consisten en una serie de celdas solares que son placas hechas de un material semiconductor, generalmente cristales de silicio, unidos entre sí. El funcionamiento de los paneles solares fotovoltaicos se da a través de procesos químicos generados en las celdas solares, donde se utiliza silicio para darle cargas positivas o negativas, mediante la adición de boro o fósforo. En este proceso, se forma un campo eléctrico mediante la eliminación de cargas eléctricas para generar energía eléctrica, cuando las células solares se exponen a la radiación solar (Rojas, 2019).

Fig. 3. Partes de los Paneles Solares Fotovoltaicos



4. METODOLOGÍA

El método deductivo, por su parte, facilita el análisis de los resultados obtenido a través de la información de campo para dar así conclusiones lógicas y beneficiosas a partir de las premisas planteadas, con el propósito de comprender las razones del consumo energético y cargas totales por equipo. Finalmente, el método experimental, hace referencia a las mediciones realizadas en el laboratorio de electromecánica para la elaboración de cálculos analíticos de irradiación solar para conocer los elementos electrónicos necesarios con el fin de desarrollar los planos arquitectónicos del sistema fotovoltaico a través del software SOLARIUS PV.

El proyecto requiere un enfoque mixto que establece dos partes primeramente con un enfoque cualitativo, que determina y da a conocer una descripción detallada del proyecto, genera la recolección de datos fundamentales, parámetros vitales cualidades específicas que son obtenidas y deben tenerse en cuenta para la generación de continuas opiniones y datos que permitan el estudio de sistemas fotovoltaicos.

Por otro lado, en el enfoque cuantitativo se tiene en cuenta los datos numéricos encontrados por medio de los rangos de demanda energética requeridos por el sistema de generación de energía a través de la identificación de cargas y características técnicas de los equipos que conforman el laboratorio de electromecánica con el fin de elaborar los cálculos analíticos de irradiación solar para conocer la cantidad de módulos solares, baterías y elementos electrónicos requeridos para satisfacer la demanda energética.

La fuente de recolección primaria de la presente investigación hace referencia a la búsqueda de información en campo, la observación y medición de datos para la determinación de los rangos de demanda energética requeridos por el sistema de generación de energía a través de la identificación de cargas medidas en el laboratorio electromecánico del Instituto Universitario la Paz. Por otro lado, como fuente de información secundaria se tendrá en cuenta la recopilación de información a través de textos, trabajos de grados y documentos electrónicos que son esenciales en la obtención de datos.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Barrancabermeja tiene un buen potencial para el aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica, ya que se encuentra en una de las regiones de Colombia donde se destaca la oferta de energía solar (la región central con una radiación promedio de 4,5 kWh/m²) (Camacho, 2019).

la electrificadora ESSA de Santander lanzó su mayor proyecto solar en Barrancabermeja. El proyecto implicó la instalación de 105 paneles solares en el último piso del edificio administrativo de la sede de la empresa en Barrancabermeja. El sistema solar produce un promedio de 150 kilovatios-hora de electricidad por día, lo que puede proporcionar el 70% del consumo de energía del edificio (Guarín & Sánchez, 2021).

Por ende, con el propósito de determinar la distribución y carga total de la institución se realizó un registro del parámetro eléctrico a través del consumo eléctrico registrado según los equipos que tiene el laboratorio y su tiempo de uso.

Actualmente existe la necesidad de comprender y promover la conciencia de las personas y empresarios sobre el uso de energías limpias en los hogares, instituciones y negocios, teniendo en cuenta todas las necesidades de los lugares donde se utilizan estas tecnologías, como el consumo energético uso diario, semanal y mensual. Por ende, en el instituto universitario de la paz se desarrolló un registro paramétrico en el laboratorio de la universidad con el fin de determinar la distribución energética total.

Fig. 4. Instituto Universitario de la Paz



Se observa el Instituto universitario de la paz donde se le hará la medición y análisis de la carga actual para determinar la potencia con el fin de identificar la demanda energética requerida.

En el laboratorio se registraron 12 equipos eléctrico que producen el consumo total, se relaciona un compilado de la cantidad de equipos, su voltaje, consumo en vatios y la fotografía de identificación para su posterior análisis.

Tabla 1. Compilado de equipos electrónicos en el laboratorio.

Equipo	Cant	Voltaje (V)	Total, Vatio (W)
Pistola de calor de soldadura de reparación	1	110	740
Banco de herramientas	1	110	1500
Modulo didáctico negro	1	110	500
1 tablero de controles eléctricos y de potencia	1	220	3000
Cuenta colonias	1	117	40
Inversor de velocidades trifásico 220V	1	220	2000

Modulo didáctico a 110V	1	110	700
Impresora 3D de resina 300 vatios a 110V	1	110	300
Lectores biométricos	2	110	16
Aire industrial	1	230	1700
Farolas LED	16	120	60
Señalizaciones LED	2	110	40

en el cual intervienen diversos equipos, este consumo se obtuvo por medio de la potencia de los dispositivos y el tiempo de consumo, posteriormente se realizó la suma de los mismo y se halló el consumo total para el laboratorio, actualmente este consumo se basa principalmente en la energía fósil, y existen problemas lo que provoca el agotamiento de las reservas, la dependencia energética, la dificultad e incertidumbre del suministro energético, así como los efectos negativos sobre el medio ambiente.

La irradiación anual del espacio donde está ubicado las instalaciones de la UNIPAZ es de 4,6-5,0 kWh/m². La temperatura media anual es de 29,6 °C. Estas características hacen de los paneles solares una excelente opción para la generación de energía.

Fig. 5. Instalaciones UNIPAZ



Tabla 2. Localización Unipaz.

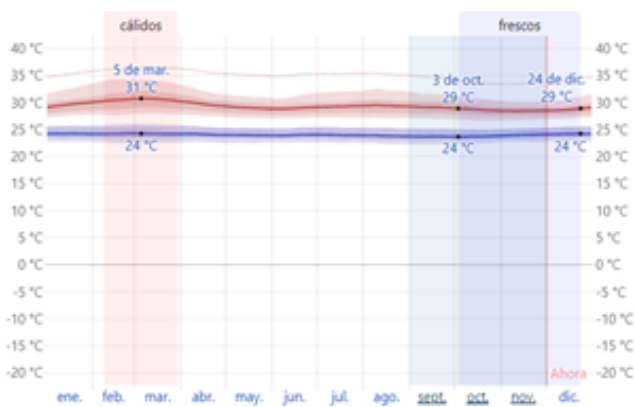
Localización	Barrancabermeja, Santander
País	Colombia
Región	América del Sur
Latitud	7.069415 N
Longitud	-73.74542 W
Altitud	76 msnm

Como todas las fuentes de energía alternativas, la energía solar tiene ventajas y limitaciones. Sin embargo, algunas de las limitaciones de esta fuente de energía pierden importancia cuando se considera su viabilidad en áreas tropicales como Colombia, en especial Barrancabermeja, en el laboratorio de electromecánica del instituto universitario la paz se determina un consumo total de 11.552W

Como propuesta se espera la integración de tecnología policristalina. Esta es la tecnología que proporciona la mejor relación kW h/kW p de todas las tecnologías y supondrá un aumento significativo en la producción de energía solar. Esta integración se propone teniendo en cuenta las condiciones geográficas del sitio. En su latitud cercana a Ecuador, la radiación solar cae perpendicular al techo. Por lo tanto, la integración de este tipo de sistemas es una opción muy recomendable en este caso particular.

En Barrancabermeja, la temporada alta de temperatura dura 1,7 meses, del 8 de febrero al 29 de marzo, con una temperatura máxima promedio diario superior a 30 °C. El mes más caluroso del año en Barrancabermeja es febrero con una temperatura promedio de 30 °C y una mínima de 24 °C. La temporada fresca dura 2,6 meses, del 3 de octubre al 24 de diciembre, con una temperatura de 24 °C máximo 29 °.

Fig. 6. Temperatura de Barrancabermeja



A continuación, se resalta un estudio de viabilidad en cuanto a la implementación de un sistema solar fotovoltaico en las piscícolas. Inicialmente se plantea la identificación de una serie de pautas requeridas para la construcción, óptimo funcionamiento y normativas requeridas para la estructuración del mismo.

Demanda de potencia=69.3 KW/Día

El sistema solar puede suministrar un máximo de 5 horas diarias el restante debe ser guardado en baterías para poder mantener la energía demanda.

11.552 W/h

Hora de energía solar 5 horas

11.5 KW/h*5 h=57.5 KW

La energía solar en 5 h=57.5 KW la energía restante en baterías

69.3 KW-57.5 KW=11.8KW (Energía total almacenada en la batería)

1552 W*30%=3465.6 W

11552 W+3465.6 W=15017.6

15017 W / 340 W =44.16 Paneles

Se aproxima a 45 paneles de 340 W

Se colocan 5 juegos de 9 paneles de 340 W en serie para generar 216 voltios y y a su vez estos conectados en paralelo.

45 paneles*340 W=15300W

15300 W*5 h=76500 W=76.5 KW

Para el banco de baterías está calculado para almacenar 11.8 KW se utilizan baterías de 255 amperios hora a 12 voltios

La corriente almacenada para el sistema fotovoltaico está dada:

$$I=P/V$$

I= Intensidad (amperios) A

P= Potencia (vatios) W

V= Voltaje (voltios) V

$$I= 11800W / 24 V$$

$$I= 491.6 A$$

Cantidad de baterías

Baterías = Corriente suministrada / Cantidad de corriente almacenada por batería

$$Baterías=(491.6A)/(255 A)=1.92 \text{ baterías}$$

aproximadamente 2 baterías

Se aproxima a 4 baterías, como solo se utiliza el 50 por ciento de las baterías se utilizan el doble y su vez la configuración.

Tabla 3. Requisitos para el sistema solar

Descripción	Valor
Número de módulos fotovoltaicos	45
Potencia pico del módulo fotovoltaico	340
Numero de baterías	4
Potencia de almacenamiento de baterías	11.8 KW
Inversor	24 DC a 220 AC

Se detallan las especificaciones técnicas de los equipos necesarios para la implementación del sistema solar en el laboratorio de electromecánica del Instituto Universitario de la Paz

Tabla 4. Especificaciones técnicas del equipo necesitado

Equipo	Descripción
MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	Voltaje:12V Potencia máxima:210 W Formato de venta: Unidad Ancho x Largo: 120 cm x 100cm Peso: 28 kg Eficiencia: 21.3%
BATERÍAS	BATERIA 12V 35AH Peso: 28.5 kg Capacidad: 100Ah C10 Número de ciclos al 100%: 550 Número de ciclos al 30%: 2.400 Temperatura de operación: -20 - 40°
INVERSOR	Voltaje de salida nomina RMS 100V/110V/120V AC Eficiencia del MPPT 98% Voltaje de la batería 24V Corriente de carga máxima de 60-30AMP

REGULADOR DE VOLTAJE	Auto reconocimiento 12/24V Pantalla LCD Indicadores LED Salida de 12VDC de carga de iluminación Útil para cualquier sistema solar.
CABLE CONDUCTOR CONCÉNTRICO	Cable Eléctrico Encauchetado 3x12 awg Línea Económica Nacional. Color: Negro. Recubrimiento: Pvc de alta resistencia. Conductor: Cobre Aleación
CABLE CONDUCTOR CONCÉNTRICO	Cable Eléctrico Encauchetado 3x12 awg Línea Económica Nacional. Color: Negro. Recubrimiento: Pvc de alta resistencia. Conductor: Cobre Aleación

CONECTOR PANEL SOLAR	Especificaciones de cableado: 2,5/4/6 mm (AWG14/12/10) Voltaje de trabajo: igual o inferior a 1000 V Material de la carcasa: material de aislamiento PPO Rango de temperatura: -40 grados C a +85 grados C
----------------------	---

Tabla 5. Costo de materiales en el sistema fotovoltaico

Descripción	Cant	Precio Unitario	Precio Total
Módulos fotovoltaicos	45	\$564.90	\$25.420.500
Numero de Baterías	4	\$255.00	\$1.020.000
Inversor	1	\$479.00	\$479.00
Regulador de Voltaje	1	\$237.00	\$237.00
Cable Conductor Concéntrico	2	\$105.70	\$211.40
Conector Panel Solar	45	\$98.00	\$4.410.000
TOTAL			\$31.777.900

Se evidencian los costos unitarios y totales de los elementos necesario para la implementación de un sistema fotovoltaico para el laboratorio electromecánico del instituto Universitario de la Paz, por medio del cual se concluye que es necesario una inversión de \$ 31.777.900 para la puesta en marcha del presente proyecto.

Solaris PV es un software BIM que fue pionero en la escala de las instalaciones eléctricas solares. Este software se utiliza para simulaciones, las cuales podemos realizar a cualquier tipo de tensión dependiendo de las necesidades del cliente o del lugar donde se vaya a implementar. Ellos pueden ser:

- Instalación en edificios nuevos o existentes de mayor tamaño (parques solares).
- Seleccionar cualquier ubicación (ubicación geográfica con datos climáticos de referencia).
- Cargar módulos e inversores de cualquier tipo (archivos con miles de modelos). Tiene la ventaja de usar modelado 3D

Fig. 7. Plano arquitectónico de la batería

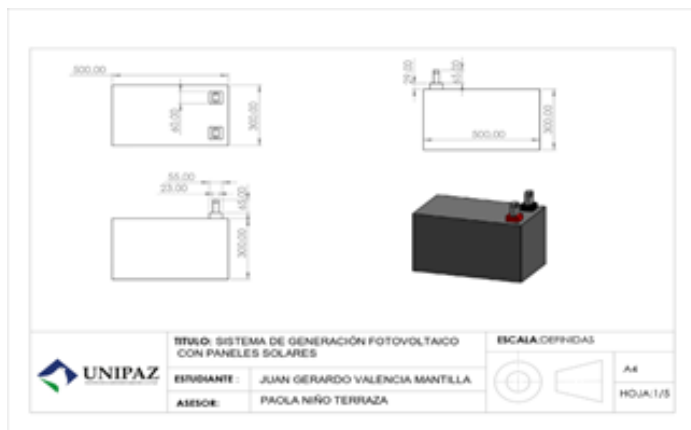
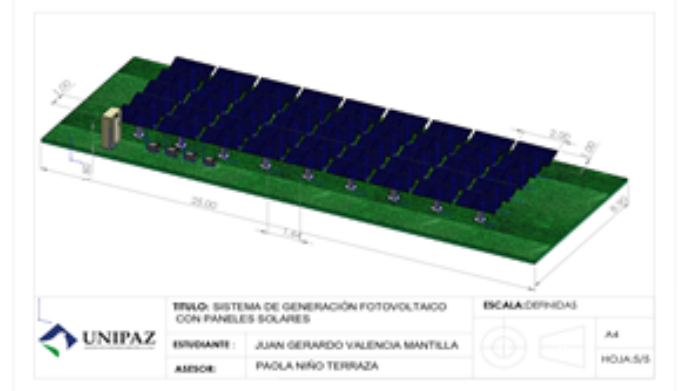


Fig. 8. Plano arquitectónico del panel solar



Fig. 9. Plano arquitectónico del sistema fotovoltaico en vista isométrica



6. CONCLUSIONES

La dependencia energética de la humanidad ha aumentado con el tiempo, por lo que se busca una solución para satisfacer la demanda energética cada vez mayor. La idea es utilizar los abundantes y casi inagotables recursos naturales locales, como el viento, el sol, el agua, para producir electricidad de manera sostenible al menor costo, mientras que las fuentes de energía tradicionales también permiten la renovación de estos recursos.

Al generar electricidad sin involucrar procesos de combustión ni etapas de desarrollo térmico, se postula como un proceso muy favorable desde el punto de vista ecológico, ya que es teóricamente limpio y no tiene problemas de contaminación, etc. Cabe señalar que se suprime por completo el impacto de la cantidad de combustible durante la extracción, transformación, transporte y quema, lo que sin duda beneficia la protección de la atmósfera, el agua, los animales, la vegetación, el suelo y la salud humana.

Los avances tecnológicos en energías renovables van en aumento hasta tal punto que ahora es más fácil integrar las energías renovables en los sistemas energéticos tanto para comunidades aisladas como para otras que están conectadas a la red. La energía renovable se puede integrar en los sistemas de energía en áreas remotas para reducir los costos operativos y las emisiones nocivas. Uno de los aspectos más importantes del progreso económico de un país es proporcionar energía suficiente y confiable a un menor costo y, lo más importante, ser amigable con el medio ambiente.

7. RECOMENDACIONES

Para implementar un sistema fotovoltaico se deben cumplir las condiciones de ubicación y tamaño, porque no siempre se cumplen los parámetros, y se encontrarán errores de factibilidad, porque el retorno de la inversión será muy alto.

En relación con este proyecto, es imperativo que el operario tenga un buen conocimiento del manejo y mantenimiento de los sistemas solares, ya que esto afecta la operación y vida útil de los paneles.

Se recomienda implementar el diseño realizado en el actual proyecto, con el fin de una óptima distribución del espacio en base a los paneles solares necesarios para la alimentación del laboratorio de la universidad.

REFERENCIAS

Barón, C. (s. f.). Capacidad instalada de energía solar en Colombia de 2015 a 2022. Statista. <https://es.statista.com/estadisticas/1238176/capacidad-instalada-energia-solar-colombia/>

Beltrán, A., Poveda, M., & Carvajal, D. (2018). Estudio de prefactibilidad para la implementación del sistema de energización solar fotovoltaico para el laboratorio de ingeniería civil de la Universidad Cooperativa de Colombia, sede Villavicencio (Trabajo de grado, Universidad Cooperativa de Colombia). Repositorio Institucional UCC. https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/6272/1/2018_estudio_prefactibilidad_implementacion.pdf

Camacho, C. (2019). Determinación de la factibilidad para la implementación de celdas fotovoltaicas en las bodegas 11 y 22 de la Corporación de Abastos de Bogotá S.A. (Trabajo de grado, Universidad El Bosque). Repositorio Institucional Universidad El Bosque. <https://repositorio.unbosque.edu.co/items/b3cfc588-fb25-4273-86d3-898d83118041>

Cedeño, E., & García, C. (2020). Estudio de factibilidad para la implementación de un sistema fotovoltaico activado por los vehículos que circulan, como energía alternativa para el Puente de la Unidad Nacional de la ciudad de Guayaquil, que permitirá sustentar su alumbrado (Trabajo de titulación, Universidad Politécnica Salesiana). Repositorio Institucional UPS.
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20689>

Guarín, D., & Sánchez, M. (2021). Estudio de factibilidad para la implementación de energía limpia con paneles solares (Trabajo de grado, Universidad Cooperativa de Colombia). Repositorio Institucional UCC.
<https://repository.ucc.edu.co/bitstreams/8d164200-faee-442e-81e3-444588b49280/download>

León, M. (2022). Estudio de factibilidad para la implementación de sistemas fotovoltaicos en residencias de la parroquia la puntilla perteneciente al cantón zamborondón (Trabajo de titulación, Universidad Politécnica Salesiana). Repositorio Institucional UPS.
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22960>

Peláez, C., & Granada, M. (2019). Análisis de viabilidad para la implementación de la energía solar en la planta de confección Diseños con Estilo de Dosquebradas (Trabajo de grado, Universidad Tecnológica de Pereira). Repositorio Institucional UTP.
<https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/5a53a582-017c-4c8a-8f66-ace6e37>

Quintero, B., & Cárdenas, J. (2017). Estudio de factibilidad para la creación de una empresa dedicada al diseño, instalación y servicio técnico de dispositivos de energía solar (Trabajo de grado, Universidad Católica de Pereira). Repositorio Institucional UCP.
<https://repositorio.ucp.edu.co/bitstream/10785/4366/1/DDMIIND35.pdf>

Rojas, S. (2019). Estudio de factibilidad para la implementación de un sistema de paneles fotovoltaicos como energía alternativa en una unidad residencial de la localidad de Puente Aranda (Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas). RIUD.
<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/22997/RojasDiazSebastianAndres2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>