

Publicaciones e Investigación



Universidad Nacional
Abierta y a Distancia

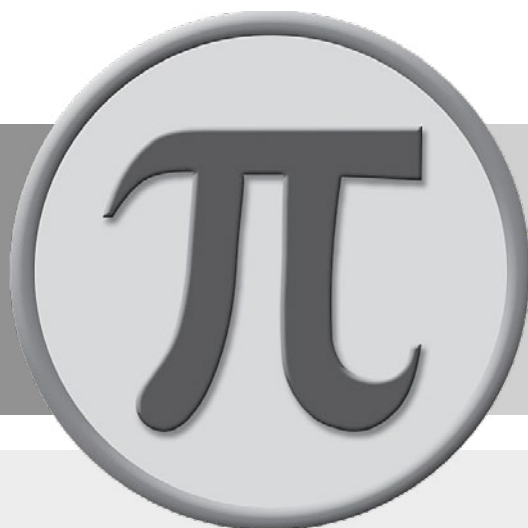
ISSN 1900-6608

EISSN 2539-4088

Especializada en Ingeniería y Tecnologías
Specialized in technology and engineering



Publicaciones e Investigación



**Revista Especializada,
Tecnología e Ingeniería**

Vol. 19 No. 2 - 2025



UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA - UNAD

BOGOTÁ, D.C.

REVISTA PUBLICACIONES E INVESTIGACIÓN

Especializada en Tecnología e Ingeniería

Specialized in technology and engineering

Rector

Jaime Alberto Leal Afanador

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Constanza Abadía García

Vicerrector Medios y Mediaciones Pedagógicas

Leonardo Yunda Perlaza

Vicerrector de Servicios a Aspirantes, Estudiantes y Egresados

Edgar Guillermo Rodríguez Díaz

Vicerrector de Relaciones Intersistémicas e Internacionales

Leonardo Sánchez Evemeleth

Vicerrectora de Inclusión Social para el Desarrollo Regional y la Proyección Comunitaria

Julia Alba Angel Osorio

Vicerrector de Innovación y Emprendimiento

Andres Ernesto Salinas Duarte

Decano Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería

Claudio Camilo González Clavijo

Decano Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

Jordano Salamanca Bastidas

Decana Escuela de Ciencias Sociales, Artes y Humanidades

Martha Viviana Vargas Galindo

Decana Escuela de Ciencias de la Educación

Clara Esperanza Pedraza Goyeneche

Decana Escuela de Ciencias Administrativas, Contables, Económicas y de Negocios

Sandra Rocío Mondragón Arévalo

Decana - Escuela de Ciencias Jurídicas y Políticas

Alba Luz Serrano Rubiano

Decana Escuela de Ciencias de la Salud

Myriam Leonor Torres Pérez.

Director

Abel Aníbal Del Río Cortina

Editor

Mónica Andrea Rico Martínez

Abel Aníbal Del Río Cortina

Coeditor

Tania Hisell Corredor

Comité editorial

Ph.D. Mikhail Bennet Rodriguez - Unicafam - Bogotá, Colombia (índice H 23)

Ph.D. Hernan Hernandez Herrera - U. Simón Bolívar- B/quilla, Colombia (índice H 6)

Ph.D. Carlos Narciso Bouza-Herrera- U. de la Habana – Cuba (índice H 14)

Ph.D. Carlos Rodriguez Monroy - U. Politécnica de Madrid - España (índice H 23)

Ph.D. Mirza Marvel Cequea - U. de Piura - Perú (índice H 8)

Comité Científico Asesor

Ph.D. Luis Martinez López- U, Jaén – España

Ph.D Francisco Maugeri Filho – Unicamp. Brasil

Ph.D. Carlos Alberto Gasparetto – Facens. Brasil

Ph.D. Enrique Ortega Rodríguez - Unicamp. Brasil

Ph.D Lourdes Zumalacárregui – Cujae. Cuba.

Ph.D. Israel Herrera Orozco - CIEMAT-Barcelona. España -

Ph.D. José Félix García Rodríguez - U. Juárez Autónoma de Tabasco – México

Ph.D. Sofía Collazo Bigliardi – U. Politécnica de Valencia– Valencia. España

Diagramación y Diseño de portada

Roberto López Castro

Política Editorial

La Revista especializada en tecnología e ingeniería, órgano de divulgación científica de la Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería – ECBTI, de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD; tiene una periodicidad de publicación semestral (enero - junio, julio - diciembre); divulga artículos originales evaluados bajo la modalidad de pares doble ciego en temas de las áreas de la ciencia, tecnología e ingeniería. Los artículos deben ser inéditos y las opiniones expresadas en ellos son responsabilidad de los autores. La reproducción total o parcial sin fines comerciales, se autoriza si se indica claramente la fuente: revista publicaciones e investigación <https://doi.org/10.22490/issn.2539-4088> y debe ser usado en bibliografía, leyendas, notas al pie y referencias.

CONTENIDO



Editorial	8
 Tendencias en biopolímeros como materiales de envase de productos farmacéuticos. Una revisión	
Trends in biopolymers as packaging materials for pharmaceutical products. A review	11
Nelson Daniel Pinzón-Neira, Rodrigo Rey-Galindo	
Actitud ética de los Servidores Públicos ante la implementación de la Armonización Contable	
The ethical attitude of public servants before the implementation of the accounting harmonization	39
Margarita Aurora Trinidad-Hernández, Germán Martínez Prats, Candelaria Guzmán Fernández	
Planeación estratégica en Mipymes del sector de cultivos interiores en Bogotá	
Strategic planning in MSMEs in the indoor crops sector in Bogotá	52
Sofia Madero	
Propuesta de mejora para la eficiencia operativa en una empresa dedicada al suministro, diseño, fabricación e instalación de carpintería arquitectónica	
Proposal for improving operational efficiency in a company dedicated to the supply, design, manufacture and installation of architectural carpentry	62
Valentina Gómez Dávila, Jefferson Mauricio Jaramillo Aguilar, Isabella Toro Vidal	
Perfiles de riesgo de salud mental en estudiantes universitarios mediante GHQ-28 y técnicas de Machine Learning	
Profiles of mental health risk in university students using GHQ-28 and machine learning techniques	77
Doris Paola Sanabria García, Jesus Antonio Villarraga Palomino	

Comparación entre enseñanza tradicional y aprendizaje asistido por inteligencia artificial (IA): impacto en el desempeño académico en geometría

Comparison between traditional teaching and AI-assisted learning: impact on academic performance in geometry 85

Janier Andrés Ballesteros Rincón

Estrategias para la prevención del VPH en estudiantes de colegios públicos de Pereira y su relación con el cáncer de cuello uterino

Strategies for the prevention of HPV in students at public schools in Pereira and its link with cervical cancer 100

John Jairo Villa Carmona, Andrés Arismendi Ramírez, Jorge Luis Quintero López, Ángela Liceth Pérez Rendón

Caracterización de las granizadas sobre la ciudad de Bogotá, Colombia

Characterization of Hailstorms over the city of Bogotá, Colombia 108

Ávila Bonilla, K. S, Torres Torres, L. C, Almansa Rivera, D. F, Rocha Bedoya, H. D, Vega Montenegro, G, Puentes Mojica, J. E., Villamizar Hernández, A, Andrade Guerrero, Y. A., Moreno Santamaria, A. I, López Mogollón, M, Amaris Martínez, J. D, Rubio Velandia, A, Sandoval Cobos, K. L, Bogota Bueno, J. H, Quijano Noreña, J. C, & Rodríguez Sandoval, E. A.

Análisis del comportamiento de una turbina Savonius en condiciones de superficie libre

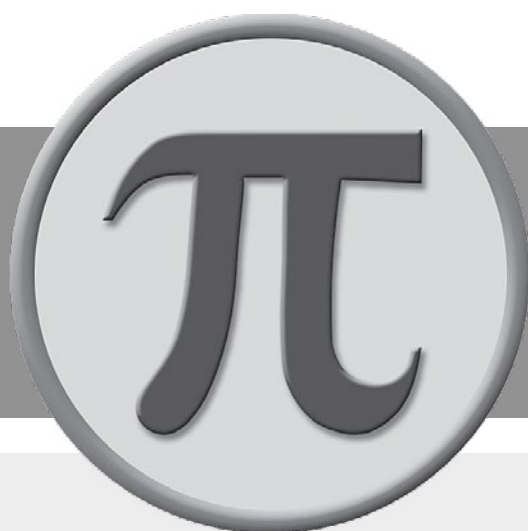
Analysis of the behavior of a Savonius turbine under free surface conditions 118

Nicolás Ardila Vergara, Mateo Velandia Suarez, Laura Catalina Ramírez Villareal

Producción de abono (frass) a partir de pulpa de café mediante biotransformación con larvas de mosca soldado negra (hermetia illucens)

Production for compost (frass) from coffee pulp by biotransformation with black soldier fly larvae (Hermetia illucens) 126

Juan Pablo Ospina-Yepes, Nelson Ceballos-Aguirre, Diana Marcela Cuesta-Parra



EDITORIAL



Investigación aplicada e interdisciplinaria: Tendencias para la transformación social en América Latina

El presente número reúne un conjunto de investigaciones que, desde diversas disciplinas, convergen en un propósito común: abordar problemáticas sociales, ambientales y organizacionales mediante enfoques interdisciplinarios que integran innovación tecnológica, sostenibilidad y gestión. Los trabajos aquí compilados reflejan el compromiso de la academia latinoamericana con la generación de conocimiento pertinente, contextualizado y socialmente responsable.

Un primer eje articulador de este volumen es la aplicación de tecnologías emergentes, especialmente inteligencia artificial y aprendizaje automático, como herramientas transversales para la transformación de sectores estratégicos. En el ámbito educativo, se exploran soluciones que potencian el aprendizaje autónomo y la personalización de la enseñanza, en línea con las tendencias que identifican a la inteligencia artificial como un catalizador para reducir brechas de acceso y calidad en contextos con limitaciones de infraestructura (Mohd Amin et al., 2025; Berisha Qehaja, 2025). En el campo de la salud, la inteligencia artificial se presenta como un aliado para el diagnóstico asistido, el cribado poblacional y la gestión de riesgos psicosociales. La literatura reciente destaca el potencial de los modelos de aprendizaje profundo para procesar grandes volúmenes de datos clínicos y de imágenes médicas, ofreciendo apoyo a los profesionales en contextos de alta demanda y recursos limitados (Ponnambalath Mohanadas et al., 2026; Fu et al., 2026). Estos avances no solo mejoran la precisión diagnóstica, sino que también democratizan el acceso a servicios especializados en regiones remotas o marginadas.

La sostenibilidad ambiental y la economía circular emergen como un segundo eje. Las investigaciones abordan el aprovechamiento de residuos agroindustriales, el monitoreo de la calidad del aire en espacios urbanos y la caracterización de fenómenos meteorológicos extremos. Estas temáticas se inscriben en un contexto global donde los desafíos climáticos y la presión sobre los ecosistemas exigen soluciones innovadoras que integren la ciencia, la tecnología y la participación comunitaria (Shukla et al., 2025; Boudalia et al., 2026). La valorización de subproductos mediante procesos biotecnológicos y la optimización de recursos en entornos urbanos constituyen líneas de investigación que responden a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente en lo relacionado con ciudades sostenibles, producción responsable y acción por el clima (Boudalia et al., 2026).

Un tercer eje lo conforma la salud pública y la prevención, con especial énfasis en la educación para la salud y las condiciones laborales de los profesionales sanitarios. Los trabajos abordan la necesidad de fortalecer estrategias de comunicación y educación que trasciendan el plano informativo y promuevan cambios conductuales efectivos, particularmente en poblaciones jóvenes y vulnerables (Duque et al., 2026).

La gestión operativa y organizacional constituye el cuarto eje, abordando la eficiencia productiva, el mantenimiento de activos y la planeación estratégica en micro, pequeñas y medianas empresas. Estos temas son cruciales para la competitividad y sostenibilidad del tejido empresarial latinoamericano, donde las mipymes representan una proporción mayoritaria del empleo y la producción (Sandoval et al., 2025). Finalmente, un eje transversal lo constituye la gobernanza y la ética en la gestión pública. Los trabajos exploran cómo los valores institucionales, el trabajo en equipo y la actitud de los servidores públicos inciden en la implementación de políticas de transparencia y rendición de cuentas. Esta línea dialoga con los debates actuales sobre la profesionalización del servicio público y la construcción de confianza en las instituciones, aspectos esenciales para el fortalecimiento del Estado de derecho y la cohesión social. La armonización contable y la estandarización de procesos financieros se presentan como herramientas que, más allá de su dimensión técnica, requieren de un compromiso ético y de una cultura organizacional que favorezca la integridad y la eficiencia (Rocha, W. & Craveiro, G. 2025).

En conjunto, los trabajos reunidos en este número evidencian la vitalidad y pertinencia de la investigación aplicada en América Latina. Al cruzar fronteras disciplinarias y abordar problemáticas desde perspectivas integradoras, estos estudios no solo contribuyen al avance del conocimiento, sino que también ofrecen insumos valiosos para la formulación de políticas públicas y el diseño de intervenciones efectivas. La inteligencia artificial, el aprendizaje automático y las tecnologías emergentes se consolidan como herramientas transversales que potencian la capacidad de diagnóstico, la eficiencia operativa y la toma de decisiones informadas en diversos sectores. La sostenibilidad ambiental, la salud pública y la gestión organizacional emergen como desafíos prioritarios que requieren enfoques colaborativos y socialmente inclusivos. La interdisciplina no es solo una opción metodológica, sino una necesidad epistémica para comprender y transformar realidades complejas en contextos de cambio acelerado.

Invitamos a la comunidad académica a continuar explorando estas líneas de investigación, convencidos de que el diálogo entre la tecnología, la sociedad y el medio ambiente es el camino más prometedor para construir horizontes de futuro compartidos y para garantizar que la innovación contribuya al bienestar colectivo y a la justicia social.

Amaimen Guillén-Pacheco,
PhD en Ingeniería

Referencias bibliográficas

Berisha Qehaja A (2025), “Strategic integration of artificial intelligence solutions to transform teaching practices in higher education”. *Foresight*, Vol. 27 No. 5 pp. 970–991. <https://doi.org/10.1108/FS-04-2024-0079>

Boudalia, S.; Symeon, G.K.; Dots, V.; Gueboudji, Z.; Kouadri, I.; Sehili, B.; Terfa, M.T.; Smeti, S.; Gueroui, Y.; Bousbia, A. The Valorization of Agrifood Byproducts and Waste to Advance the Sustainable Development Goals: Current State and New Perspectives. *Sustainability* 2026, 18, 2165. <https://doi.org/10.3390/su18052165>

Duque, J., Moreira, J., Silva, F., & Gonçalves, H. (2026). Artificial intelligence in support of teaching: Predictive models and adaptive systems for personalising learning. *Procedia Computer Science*, Vol. 278, pp. 192-199. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2026.02.454>

Fu, X., Li, X., Delamare, E., Dunn, A. G., Bi, L., & Kim, J. (2026). A systematic review of generative artificial intelligence techniques for synthetic medical image datasets: Quality, models, public availability and applications. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, Vol. 280, 109331. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2026.109331>

Mohd Amin, M. R., Ismail, I., & Sivakumaran, V. M. (2025). Revolutionizing education with artificial intelligence (AI)? Challenges, and implications for open and distance learning (ODL). *Social Sciences & Humanities Open*, Vol. 11, 101308. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2025.101308>

Ponnambalath Mohanadas, H., Manikandan, A., Ismail, A. F., Tucker, N., & Jaganathan, S. K. (2026). Artificial intelligence applications in medical devices for personalized health care solutions: Systematic review. *Journal of Medical Internet Research*, Vol. 28, e72410. <https://doi.org/10.2196/72410>

Rocha, W. y Craveiro, G. (2025) «Comunicación pública y gobierno abierto en América Latina: explorando convergencias», *Revista del CLAD Reforma y Democracia*, (93), pp. 236–268. <https://doi.org/10.69733/clad.ryd.n93.a447>

Sandoval Trujillo, S. J., Ramírez Cortés, V. y Hernández Bonilla, B. E. (2025) «La planeación y gestión estratégica como medios para la sostenibilidad empresarial», *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 16(31). <https://doi.org/10.23913/ride.v16i31.2510>

Shukla, S., Khan, R., Chrzanowski, Ł., Vagliasindi, F. G. A., & Roccaro, P. (2025). Advancing sustainable agriculture through multi-omics profiling of biosolids for safe application: A review. *Journal of Environmental Management*, Vol. 375, 124292. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.124292>

TENDENCIAS EN BIOPOLÍMEROS COMO MATERIALES DE ENVASE DE PRODUCTOS FARMACÉUTICOS. UNA REVISIÓN

TRENDS IN BIOPOLYMERS AS PACKAGING MATERIALS FOR PHARMACEUTICAL PRODUCTS. A REVIEW



¹ Nelson Daniel Pinzón-Neira,
² Rodrigo rey-Galindo

Cómo citar: Pinzón Neira , N. D. ., & Rey Galindo, R. (2025). Tendencias en biopolímeros como materiales de envase de productos farmacéuticos. Una revisión. Publicaciones E Investigación, 19(2). <https://doi.org/10.22490/25394088.9817>

Recibido 10 mayo, Aprobado 15 junio 2025

RESUMEN

Los biopolímeros provienen de elementos renovables de la naturaleza; es decir, son de origen biobasado y se degradan por microorganismos naturales como bacterias, hongos y algas en condiciones ambientales. En la actualidad, estos biopolímeros se utilizan en el desarrollo de múltiples tecnologías en diferentes campos de investigación, por ejemplo: biomedicina, industria farmacéutica, empaque de alimentos y productos en general, entre otros. El objetivo de esta revisión consiste en identificar los diferentes biopolímeros que han sido resultado de investigaciones entre el 2008 y el 2022, establecer los países con mayor número de publicaciones, los materiales más investigados y las aplicaciones dadas a cada material. Finalmente, se clasifican los biopolímeros según su forma de obtención y sus aplicaciones como envase en la industria farmacéutica. Para el desarrollo de esta investigación, se utilizó la metodología de análisis de contenido, apoyada en la hermenéutica general y el paradigma interpretativo. En los resultados se puede observar que las publicaciones sobre biopolímeros están ascendiendo año a año; los materiales que más se implementan para su desarrollo son: celulosa, quitosano y ácido poliláctico, y sus aplicaciones más comunes son para empaque de alimentos, biomedicina y empaque en general. Se concluye que los avances científicos en la línea de los biopolímeros son un buen escenario para disminuir el consumo de plásticos convencionales y reducir su impacto ambiental, además de ofrecer garantías en campos como los empaques de alimentos, la biomedicina y los envases de productos farmacéuticos, dado que no son tóxicos y son biodegradables.

Palabras clave: bioplástico; biodegradación; biopolímero; material de empaque; nanocompuestos; PLA.

¹ Administrador Ambiental y magíster en Desarrollo Sustentable y Gestión Ambiental. Gerente de Monser Productos Farmacéuticos; danielpinzon1992@gmail.com. ORCID: 0000-0003-3716-081X

² Administrador Ambiental y magíster en Derecho con énfasis en Recursos Naturales. Docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, e integrante del Grupo de Investigación en Estudios Ambientales GEA-UD; rodrigo.reyg@gmail.com; ORCID: 0000-0003-2650-9369

ABSTRACT

Biopolymers come from renewable elements in nature; that is, they are of bio-based origin and are degraded by natural microorganisms such as bacteria, fungi and algae under environmental conditions. Currently, these biopolymers are used in the development of multiple technologies in different fields of research, for example: biomedicine, pharmaceutical industry, food packaging and products in general, among others. The objective of this review is to identify the different biopolymers that have been the result of research between 2008 and 2022, establish the countries with the greatest number of publications, the most researched materials and the applications given to each material. Finally, biopolymers are classified according to how they are obtained and their applications as packaging in the pharmaceutical industry. To develop this research, the content analysis methodology was used, supported by general hermeneutics and the interpretive paradigm. In the results it can be seen that publications on biopolymers are increasing year by year, the materials that are most implemented for their development are: Cellulose, Chitosan and Polylactic Acid, and their most common applications are for food packaging, biomedicine and packaging in general. It is concluded that scientific advances in the line of biopolymers are a good scenario to reduce the consumption of conventional plastics with less environmental impact, in addition to guarantees in fields such as food packaging, biomedicine and for pharmaceutical product packaging, since they are non-toxic and biodegradable.

Keywords: bioplastic; biodegradation; biopolymer; packaging material; nanocomposites; PLA..



1. INTRODUCCIÓN

La producción de envases representa la mayor aplicación de plásticos en la actualidad (Lagaron y Lopez-Rubio, 2011). Para el 2015, esta producción derivada del petróleo superó los 300 millones de toneladas (Mellinas et al., 2015). Cada año se generan 34 millones de toneladas de plásticos como residuos sólidos (Mekonnen et al., 2013). Geyer et al. (2017) estiman que desde 1950 hasta el 2015 se produjeron 6300 millones de toneladas de residuos plásticos acumulados, de los cuales el 9 % han sido reciclados, el 12 % se incineraron y el 79 % han terminado en los océanos, vertederos o sitios destinados de disposición final. Es así que, por cada kilogramo de plástico quemado, puede generarse hasta 2,8 kg de CO₂ (Mellinas et al., 2015) lo que agudiza la problemática del cambio climático.

Además, la producción de envases representa no solo la mayor aplicación de plásticos (Lagaron y Lopez-Rubio, 2010), sino también una carga importante

como contaminación ambiental, debido a su participación en los residuos sólidos municipales (United Nations Environment Programme [UNEP], 2024). Para el 2015, esta producción derivada del petróleo superó los 300 millones de toneladas (Mellinas et al., 2015).

Es importante señalar que los productos manufacturados de materiales renovables para envases ocupan solo el 2 % del mercado mundial (Johansson et al., 2012). Esto se debe a que los biopolímeros presentan bajas propiedades de resistencia mecánica, térmica y de barrera, en comparación con los materiales petroquímicos convencionales.

Además, es necesario tener en cuenta que los combustibles convencionales de petróleo han disminuido su disponibilidad, lo que aumenta su costo con pronóstico de posible escasez (Davis y Song, 2006; Hernández-Silva y Guzmán Martínez, 2009). Para satisfacer

la creciente demanda de sostenibilidad y seguridad ambiental, un número significativo de investigaciones se han dirigido al desarrollo de materiales de envasado y empaque que pueden degradarse rápidamente y mineralizarse por completo en el medioambiente, disminuyendo su impacto ambiental negativo (Jayaramudu et al., 2013; Ortega-Santiago et al., 2023).

El resultado de estas investigaciones son los bioplásticos provenientes de elementos renovables en la naturaleza como la celulosa, el almidón y el azúcar (Meeks et al., 2015), estos plásticos se degradan por microorganismos naturales como bacterias, hongos y algas, acompañados de condiciones ambientales como temperatura, agua y oxígeno (Thakur et al., 2018). Al realizar la presente investigación sobre los bioplásticos como materiales de envase para medicamentos, se evidencia el comportamiento productivo de estos, así como los avances y desarrollos sobre el tema.

Los envases para medicamentos se diferencian de dos maneras. Existe el denominado “envase primario”, que es el contenedor que está en contacto directo con el medicamento, fabricado con materiales de naturaleza variada, diseñado de modo que brinde información y óptima protección tanto a su contenido como al medioambiente (Orantes y Hernández, 2006). Por otro lado, los llamados “envases de segundo tipo” son aquellos que se utilizan como embalaje de productos para evitar averías en el envase primario, proporcionar cuidados especiales al producto o como medida preventiva, y para brindar mayor información al cliente o usuario sobre el medicamento (Borja y Eva, 2006).

En cuanto a los bioplásticos, estos pueden ser un biopolímero derivado de la naturaleza o un polímero que puede retornar a la naturaleza. Su fabricación se asocia a materiales 100 % renovables, polímeros biodegradables o una combinación de materiales renovables y fósiles (Reddy et al., 2013). Los biopolímeros son polímeros formados por la naturaleza durante los ciclos de crecimiento de los organismos; se les conoce como polímeros naturales. Su síntesis generalmente implica reacciones de polimerización de crecimiento en cadena, catalizadas por enzimas de monómeros activos,

que se forman dentro de las células mediante procesos metabólicos complejos (Zhang et al., 2013).

En este sentido, los polímeros biodegradables se pueden dividir, según su origen, en cuatro categorías: (1) polímeros obtenidos directamente de la biomasa, incluidos los polisacáridos como quitosano, almidón y celulosa, y las proteínas como zeína; (2) polímeros sintéticos basados en monómeros petroquímicos, tales como poli ϵ -caprolactona, poli (adipato-co-tereftalato de butileno) y poli (alcohol vinílico) (PVOH); (3) polímeros sintéticos basados en monómeros renovables, por ejemplo, polilactida (PLA); (4) polímeros naturales producidos por microorganismos, típicamente polihidroxialcanoatos (PHA), tales como poli (3-hidroxibutirato) (PHB) y poli (hidroxibutirato-co-hidrovalerato) (PHBV) (Lagarón y Busolo, 2011; Martínez et al., 2019).

La mayor parte de las investigaciones que se han realizado sobre biopolímeros, en relación con su base biológica y biodegradable, se refieren al almidón, PLA, PHB y sus mezclas. Si bien la rigidez y la resistencia de estos suelen ser altas, su aplicación a menudo está limitada por la dificultad en el procesamiento, la sensibilidad al agua y la baja resistencia al impacto (Imre y Pukánszky, 2013).

El poli(ácido láctico) ha recibido mucha atención en los últimos años como una de las alternativas más prometedoras a los plásticos convencionales (Auras et al., 2004). Sus propiedades mecánicas son comparables a las del poliestireno, y, como consecuencia, se utiliza en cantidades cada vez mayores en aplicaciones de envasado (Martin y Avérous, 2001). El representante más común de los PHA es el poli(3-hidroxibutirato), un polímero quebradizo, dado que su polimerización enzimática conduce a la formación de macromoléculas con una estructura estereoquímica altamente ordenada y, por lo tanto, gran cristalinidad (Sudesh et al., 2000). Aunque el aumento de las capacidades ha dado lugar a una producción más confiable y a una disminución en el precio de los biopolímeros, su costo aún supera al de la mayoría de los polímeros comerciales (Imre y Pukánszky, 2013).

El objetivo de esta investigación es identificar las tendencias mundiales de bioplásticos aplicados a envases de medicamentos en el periodo 2008-2022. Se reconocerán los bioplásticos según el recurso de origen y el producto que se obtenga de este. Luego, se clasificarán por las aplicaciones industriales que se les otorgan a cada material en particular para envases farmacéuticos. Finalmente, se identificará el biopolímero con mayor número de investigaciones para su uso práctico como envase farmacéutico.

2. MÉTODOLOGÍA

La presente revisión se encuentra fundamentada en la metodología de análisis de contenido (Bardin, 1996; Fernández, 2002; López-Noguero, 2002; Valbuena-Ussa, 2011; Hernández y Mendoza, 2018). Además, se apoya en la hermenéutica general (Grondin, 2014) y el paradigma interpretativo (Vasilachis de Gialdino, 2006), con el fin de construir la interpretación conceptual que permite inferir la dirección de las investigaciones consultadas y analizadas sobre biopolímeros en el mundo.

Se aplicó a 196 artículos de investigación sobre empaques biopolímeros, en una escala temporal entre el 2008 y el 2022 (quince años). Las bases de datos utilizadas para identificar los documentos fueron Scopus, Science Direct y Springer Link.

Sobre los documentos identificados se realizó una sistematización que permitió establecer las

categorías explicativas. El filtro inicial se aplicó con la frase clave “Biopolymer packaging pharmaceutical”, obteniéndose 14 032 artículos (Scopus 1 %, Springer Link 36 %, Science Direct 63 %). Al especificar el tiempo, se identificaron 8269 artículos como universo.

La búsqueda inicial se realizó por temáticas en cada base de datos, de la siguiente manera: para Scopus, “Chemistry”, “Engineering”; para Springer Link, “Chemistry” “Polimeric science”, “Engineering”, y para Science Direct, “Chemistry”, “Engineering”. Posteriormente, se seleccionaron los artículos que incluyeran al menos una de las siguientes palabras clave en el título, como unidades de análisis: “biopolymer”, “packaging”, “drugs”, “composites”, “biomaterial”. Esto permitió obtener 201 artículos. Se encontraron 5 artículos duplicados. Finalmente, el análisis de contenido y la inferencia interpretativa se concentraron en la revisión de 196 documentos.

La información recolectada se clasificó según una adaptación del análisis clúster jerárquico (Kaufman y Rousseeuw, 2005), con grupos reconocidos, para encontrar clasificaciones por segmentos a partir de sus características. La pertinencia documental se basó en hallar textos con información relacionada con el objeto de la revisión, utilizando inicialmente la frase de búsqueda (biopolymer + packaging + pharmaceutical), con la temporalidad entre 2008 y 2022 (véase la tabla 1).

Tabla 1. Clúster inicial

Fase inicial			Área de estudio			Palabras clave			
Bases de datos	Biopolymer + packaging + pharmaceutical	Año (2008-2022)	Chemistry	Engineering	Polimeric science	1	2	3	Sub total
Scopus	188	126	42	12	0	13	8	1	22
Science Direct	8825	4551	492	169	0	56	19	1	76
Springer Link	5019	3592	335	48	269	78	15	5	98
Subtotal	14 032	8269	869	229	269	147	42	7	196
Total	14 032	8269	1367			196			

Fuente: Autores

Como categorías de análisis, para cada uno de los artículos seleccionados, se formularon criterios relacionados con autores, año de publicación, país de origen, biopolímero utilizado, origen del biopolímero, forma de obtención y aplicación del insumo. Para los artículos tipo revisión, se filtró por la expresión “biopolímeros”; en estos casos, se establecieron y cuantificaron el origen, la forma de obtención y la aplicación del biopolímero.

La presente investigación profundizó en la información clave sobre los biopolímeros, contenida en la estructura temática de los artículos de investigación analizados. Además, se incluyó el tipo de biopolímero, su origen, forma de obtención y aplicación.

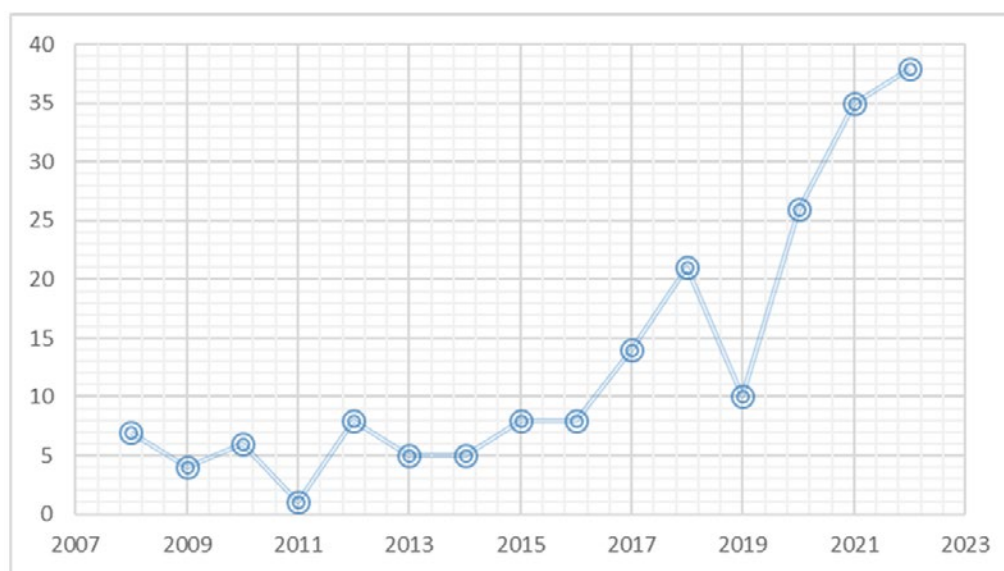
En varios de estos artículos se encontraron múltiples hallazgos sobre los materiales.

3. RESULTADOS

Tendencias en investigación de biopolímeros

Para analizar el comportamiento de las publicaciones sobre biopolímeros durante el periodo 2008-2022, se utilizó el método estadístico de dispersión lineal. Se evidencia un incremento sostenido en las publicaciones sobre la temática año a año (véase la figura 1). El año con mayor número de artículos es el 2022, con 19 % de los documentos registrados.

Figura 1. Publicaciones al año sobre biopolímeros



Fuente: Autores

El comportamiento de la revisión por países muestra que India es el país con mayor número de publicaciones en el periodo analizado, con 33 artículos, seguido de China (14 artículos) y Brasil (13 artículos) (véase la tabla 2). En la presente revisión se determinó que las empresas exportadoras de materiales para pruebas

químicas de biopolímeros provienen de Estados Unidos, Canadá e India. Este último país se ha especializado en el desarrollo académico de los biopolímeros, con la cooperación de universidades locales y colaboración internacional.

Tabla 1. Temáticas de publicación por país

País	Polímero	Referencias
Alemania Total (5)	Pullulano	Gutiérrez y Alvarez (2017)
	PLA	Kale, Kijchavengkul et al. (2007); Mallakpour y Jarang (2018)
	Biomasa	Friedrich (2022)
	Nanopartículas	Ghanbari Adivi et al. (2019)
	PPC	Henke et al. (2017)
Arabia Saudi Total (4)	PHA	Rajan et al. (2018)
	CMC	Ahmed K.K et al. (2022)
	Nanocompuestos	Wazzan (2021)
	Quitosano	Abutalib y Rajeh (2021)
Argentina Total (3)	Quitosano	Ansorena et al. (2018)
	Celulosa	Villarreal et al. (2021); De Oliveira et al. (2021)
	Quitosano	Favatela et al. (2022)
Brasil Total (13)	PHA-PLG	Fasciotti (2017)
	Biopolímeros	De Mesquita et al. (2010); Alves Lopes et al. (2020); Parente et al. (2023); Núñez-Gómez et al. (2021); Da Rosa et al. (2020)
	PLA	Lopes et al. (2012)
	PVA	Silva et al. (2008)
	Quitosano	De Mesquita et al. (2010)
	Celulosa	Meneguín et al. (2020)
	Nanocompuestos	Rodrigues et al. (2020); Kostag et al. (2019)
Canadá Total (6)	Biopolímeros	Shen et al. (2014); Soares et al. (2018)
	Gelatina	Duquette y Dumont (2019)
	Pullulano	Miao y Hamad (2013)
	PLA	Chow et al. (2008)
	PBS-PBAT	Muthuraj et al. (2014)
	Quitosano	Akhlaghi et al. (2013)
Chile	Celulosa	Oyarce et al. (2022)
China Total (14)	Celulosa	Wang et al. (2018)
	PLA	Zhang et al. (2018); Xian et al. (2018); Xie et al. (2014); Wang et al. (2014)
	PHMC	Hu et al. (2018)
	Biopolímeros	Xing et al. (2021); Qiu et al. (2021); AL-Oqla et al. (2022); Zheng-Yang et al. (2020)
	Nanopartículas	Wang et al. (2022); Hashim et al. (2022)
	Polifenoles	Zhang et al. (2021)
	Quitosano	Jiang et al. (2022); Zhao et al. (2022); Dong et al. (2022); Zou et al. (2020)
Colombia Total (2)	Nanofibras	Rodríguez-Sánchez et al. (2021)
	PHA	Vega-Castro et al. (2021)
Corea	Biopolímeros	Rhim et al. (2007)
Dinamarca	Celulosa	Siró y Plackett (2010)

País	Polímero	Referencias
Egipto Total (6)	PVA	El-Gamal et al. (2018)
	Quitosano	Elhussieny et al. (2020); Ahmed et al. (2021)
	Celulosa	Elhussieny et al. (2020)
	Nanopartículas	Moustafa et al. (2022)
	Biopolímeros	Ibrahim et al. (2021)
España Total (8)	Alginato	Serrano-Aroca et al. (2018)
	Biopolímeros	Quiles-Carrillo et al. (2019); Aznar et al. (2019)
	PLA	Perez-Masia et al. (2013)
	Nano partículas	Abdullah et al. (2022)
	Polisacáridos	Rincón et al. (2021)
	Oligómeros	Ubeda et al. (2021)
Estados Unidos Total (6)	Celulosa	Janjarasskul y Krochta (2010)
	Biopolímeros	Williamson y Hatzakis (2019); Virtanen et al. (2017); Kumar et al. (2009); Bandyopadhyay-Ghosh et al. (2018); Farris et al. (2009); Correa et al. (2016); Biswas et al. (2022)
	PLA	Correa et al. (2016); Resano-Goizueta et al. (2018); Satam et al. (2018)
	PHA	York et al. (2008)
	PHA-PLG	Zhang et al. (2013)
Francia Total (2)	PLA	Chauvet et al. (2017)
	Biopolímeros	Paul et al. (2021)
Grecia	PLA	Liarou et al. (2018)
Holanda Total (2)	Biopolímeros	Mooibroek et al. (2007)
	Gelatina	Scholten et al. (2014)
Hungria Total (3)	PLA	Vidović (2016)
	Biopolímeros	Yi et al. (2022); Takács et al. (2020)
India Total (33)	Celulosa	Neera y Batra (2015); Mishra et al. (2018); Mishra et al. (2021); Kalyani y Khandelwal (2021)
	Biopolímeros	Luckachan y Pillai (2011); Sofi et al. (2019); Shahadat et al. (2017); Visakh y Thomas (2010); Selvalakshmi et al. (2017); Goel et al. (2023); Kumar et al. (2022); Vibha y Negi (2020); Kanatt y Makwana (2020); Das et al. (2022); Thulasisingh et al. (2022); Kaur et al. (2020); Tambawala et al. (2022); Umesh et al. (2022); Priyadarsini et al. (2021); Manimohan et al. (2020a); Aquinas et al. (2022); Agrawal et al. (2022); Gasti et al. (2021)
	PLA	Sangeetha et al. (2018); Sharmila et al. (2013).
	PHA	Mathuriya y Yakhmi (2017).
	Quitosano	Malhotra et al. (2015); Divakara et al. (2010); Narasagoudr et al. (2020); Yadav et al. (2020); Yadav et al. (2021); Manimohan et al. (2020b); Hiremani et al. (2022)
	WPBA	Zafar et al. (2015)
	Mucilagos	Rohini et al. (2020)
	Gelatina	Sharma et al. (2021)
	Nanocompuestos	Gupta et al. (2022); Thivya et al. (2021); Chaudhary et al. (2020); Kendre et al. (2022)

País	Polímero	Referencias
Indonesia Total (1)	Nanocompuestos	Hasan et al. (2019)
Irán Total (9)	Alginato	Dekamin et al. (2018)
	Celulosa	Erfani et al. (2022); Abdulkhani et al. (2020)
	Biopolímeros	Alizadeh-Sani et al. (2020); Karimi et al. (2020); Ghasempour et al. (2022)
	Nanocompuestos	Janani et al. (2020); Zahiri Oghani et al. (2021); Sherafatkhah et al. (2021)
Iraq	Quitosano	Ahmed M.K et al. (2022)
Irlanda Total (2)	Biopolímeros	Khodaei et al. (2021); Garavand et al. (2022)
Italia Total (5)	Celulosa	Rovera et al. (2018)
	PLA	Trombino et al. (2012); Scaffaro et al. (2016)
	Quitosano	Rossi et al. (2013)
	Nanopartículas	De Marco (2022)
	Biopolímeros	Marassi et al. (2021)
Korea Total (2)	PP-PM	Basavaraja et al. (2010)
	Celulosa	Rukmanikrishnan et al. (2021)
Malasia Total (5)	PLA	Bakri et al. (2018)
	PHA	Hema et al. (2013)
	Quitosano	Julkapli et al. (2011)
	Biopolímeros	Asyraf et al. (2022); Mohd Basri et al. (2021)
Marruecos Total (2)	Celulosa	El Achaby et al. (2018)
	Quitosano	Orkhis y Ettaqi (2022)
Mexico	Quitosano	Fonseca-García et al. (2021)
Pakistan Total (4)	Pullulano	Tabasum et al. (2018)
	PHA	Zia et al. (2015)
	Biopolímeros	Muneer et al. (2021)
	PVA	Asgher et al. (2020)
Peru	Biopolímeros	Torres et al. (2019)
Polonia Total (9)	Celulosa	Kowalczyk et al. (2015); Ciecholewska et al. (2021)
	Biopolímeros	Sikorska et al. (2017)
	Proteína de suero	Kawecka-Radomska et al. (2015)
	PP-PM	Wiacek et al. (2017)
	Quitosano	Jamróz et al. (2021)
	Alginato	Kurczewska et al. (2021)
	Gelatina	Tkaczewska et al. (2021)
	Nanocompuestos	Bajer et al. (2020)
Portugal Total (3)	PLA	Pinto et al. (2013)
	Alginato	Lomartire et al. (2022)
	Carrageenan	Lomartire et al. (2022)

País	Polímero	Referencias
Rep. De Korea Total (5)	PVA	Tak et al. (2019)
	Pululan	Lee et al. (2019); Priyadarshi et al. (2021)
	Pectina	Lee et al. (2019)
	Quitosano	Kim et al. (2021)
Rusia Total (3)	Gelatina	Vasil'ev (2007)
	Nanopartículas	Volkova et al. (2022)
	Biopolímeros	Chursin y Lyubimtseva (2020)
Singapur	PHA	Yeo et al. (2018)
Suiza	Celulosa	Hansen et al. (2012); Duval y Lawoko (2014)
Sur Africa	Biopolímeros	Ibrahim et al. (2022)
Tailandia Total (5)	Gelatina	Sukhlaaied y Riyajan (2018)
	Quitosano	Sukhlaaied y Riyajan (2016); Soe et al. (2020).
	Biopolímeros	Riyajan (2019); Singh et al. (2022).
Taiwan Total (2)	PLA	Wu et al. (2016)
	Gelatina	Wu et al. (2021)
Tanzania	PHA	Mlalila et al. (2018)
Ukrania	Nanocompuestos	Barbash et al. (2022)

Fuente: Autores

Biopolímeros, biobasados y naturales

La investigación sobre biopolímeros presenta una clasificación inicial según su origen. Es así que los polímeros de base biológica provienen de materiales derivados de la biomasa, como productos agrícolas, microorganismos, algas o crustáceos, y también polímeros parcialmente compuestos o sintetizados (Hottle et al., 2013). Para estos polímeros se identificaron 12 categorías, según la materia prima, los reactivos y procesos químicos, las cuales se subdividen en 30 insumos, de acuerdo con el recurso del cual provienen. Además, se han documentado 21 métodos de obtención o desarrollos tecnológicos. El polímero con mayor representación de base biológica es el ácido poliláctico, con 10 insumos utilizados,

seguido del acetato de polivinilo (PVA), con 9 insumos (véase la tabla 3).

Por otro lado, los polímeros naturales son macromoléculas que se pueden encontrar en la naturaleza, como proteínas, polisacáridos, terpenos y lípidos (Sell et al., 2010). Según la revisión, estos polímeros naturales se han dividido en 8 categorías, que, a partir de los compuestos que extraen de los recursos naturales, se subdividen en 43 insumos, para los cuales se presentan 28 métodos de obtención o desarrollos tecnológicos. Es así que la celulosa cuenta con 22 diferentes materias primas para su obtención, y el quitosano con 18, por lo que son los elementos más representativos (véase la tabla 3).

Tabla 3. Clasificación de biopolímeros

Tipo de polímero	Polímero	Recurso de origen	Producto / obtención	Referencia
Natural	Alginato	Algas	Hidrogeles	Serrano-Aroca et al. (2018)
			Neutralización	Lomartire et al. (2022)
	Carrageenan	Coco babasú	Reticulación	Tak et al. (2019)
		Minerales de halloysita	Adsorbentes	Kurczewska et al. (2021)
		Algas	Hidrocoloides	Lomartire et al. (2022)
		Hoja de olivo	Extracción por microondas	Da Rosa et al. (2020)
	Celulosa	Frutas	Nanotecnología (filogenética)	Neera et al. (2015)
			Nanofibras	Sofi et al. (2019)
		Madera	Nanofibras	Hansen et al. (2012)
		Plantas	Polímeros reforzados	Miao y Hamad (2013)
		Almidón	Biocompuestos	Gutiérrez y Alvarez (2017)
		Hongos	Nanocompuestos	Wang et al. (2018)
		Residuos vegetales	Desfibrilación bacteriana	Meneguín et al. (2020)
		Cascara de arroz	Difracción rayos X	Elhussieny et al. (2020)
		Canela	Emulsión	Erfani et al. (2022)
		Bacterias de celulosa	Reticulación	Ciecholewska-Juśko et al. (2021)
		Salicornia neei (planta)	Extracción y fraccionamiento	Villarreal et al. (2021)
		Xilano	Difracción de rayos X	Abdulkhani et al. (2020)
		Sílice	Difracción de rayos X	Rukmanikrishnan et al. (2021)
		Plata	Difracción de rayos X	Rukmanikrishnan et al. (2021)
		Fibras de coco	Espectroscopia infrarroja	Gupta et al. (2022)
		Cascara de cacahuete	Espectroscopia infrarroja	Gupta et al. (2022)
		Arrurruz	Nanoemulsión	De Oliveira et al. (2021)
		Bambú	Difracción de rayos X	Hasan et al. (2019)
		Lechuga de agua	Microscopia electrónica de barrido	Umesh et al. (2022)
		Tallo de chalota	Extracción asistida por microondas	Thivya et al. (2021)
		Semillas de tamarindo	Extracción asistida por microondas	Thivya et al. (2021)
		Agar	Espectroscopia infrarroja	Kalyani y Khandelwal (2021)
		Cáñamo	Espectroscopia infrarroja	Barbash et al. (2022)
	Mucilagos	Ocimum bacilicum	Difracción de rayos X	Rohini et al. (2020)

Tipo de polímero	Polímero	Recurso de origen	Producto / obtención	Referencia
Natural	Quitosano	Algas	Catalizador	Shahadat et al. (2017)
			Emulsionante	Zia et al. (2017)
			Fibras	Virtanen et al. (2017)
		Hongos	Nanocompuestos	Shahadat et al. (2017)
		Madera (eucalipto)	Nanocompuestos	Wiącek et al. (2017)
		Cangrejo, krill, camarón	Polímeros reforzados	Divakara et al. (2010)
		Almidón de maíz	Difracción de rayos X	Fonseca-García et al. (2021)
		Residuos de camarón	Resonancia magnética nuclear	Elhussieny et al. (2020)
		Hojas té negro	Difracción de rayos X	Ahmed et al. (2022)
		Furcellaria	Espectroscopia infrarroja	Jamróz et al. (2021)
		Arroz glutinoso	Difracción de rayos X	Soe et al. (2020)
		Quercetina	Espectroscopia infrarroja	Yadav et al. (2020)
		Ácido gálico	Espectroscopia infrarroja	Yadav et al. (2021)
		Melanina	Entrecruce molecular	Zhao et al. (2022)
		Sílice	Difracción de rayos X	Dong et al. (2022)
		Halloysita	Electrohilado	Zou et al. (2020)
		Hoja de ortiga	Espectroscopia infrarroja	Zahiri Oghani et al. (2021)
		Ácido cítrico	Difracción de rayos X	Favatela et al. (2022)
		Reactivo de Schiff	Difracción de rayos X	Manimohan et al. (2020a)
		Pluma de pollo	Espectroscopia infrarroja	Orkhis y Ettaqi (2022)
	Gelatina	Caucho seco	Solución de látex	Sukhlaaied y Riyajan (2016)
		Gelatina	Fruto de bael	Sharma et al. (2021)
		Piel de carpa	Hidrolizado	Tkaczewska et al. (2021)
		Goma gellan	Espectroscopia infrarroja	Wu L. et al. (2021)
	Pullulano	Algas	Fibras	Tabasum et al. (2018)
			Hidrogeles	Tabasum et al. (2018)
			Nanofibras	Tabasum et al. (2018)
		Soya	Fundición en solución	Lee et al. (2019)
		Pectina	Fundición en solución	Priyadarshi et al. (2021)
	Proteína de suero	Suero de leche	Gel	Kawecka-Radomska et al. (2015).
		Goma persa	Difracción de rayos X	Ghasempour et al. (2022)

Tipo de polímero	Polímero	Recurso de origen	Producto / obtención	Referencia
Biobase	Policaprolactona (PCL)	Café	Epóxidos (lípidos)	Williamson y Hatzakis (2019)
		Aceite plantas	Electrohilado	Bhullar et al. (2015)
	PLA (ácido poliláctico)	Maíz	Hidrogeles	Duquette y Dumont (2019)
			Electricidas	Perez-Masia et al. (2013)
			Gomas	Zhang et al. (2018)
			Fibras	Scaffaro et al. (2016)
			Nanocristales	Scaffaro et al. (2017)
			Espuma de polímeros	Chauvet et al. (2017)
		Caña azúcar	Polímeros reforzados	Xian et al. (2018)
		Semilla jaca	Fibras	Sharmila et al. (2013)
		Acacias	Polímeros reforzados	Bakri et al. (2018)
		Yuca	Polímeros reforzados	Sangeetha et al. (2018)
		Hongos	Fibras	Satam et al. (2018)
		Soya	Fibras	Janjarasskul y Krochta (2010)
		Maíz	Redisolución	Aznar et al. (2019)
		Oligómeros	Extracción sorptiva	Ubeda et al. (2021)
		Fibra de lino	Mezclas	Asyraf et al. (2022)
	Polifenoles	Nanofibras de Te	Electrohilado	Zhang et al. (2021)
	Poliuretano	Quitina	Difracción de rayos X	Moustafa et al. (2022)
		Colofonia	Espectroscopia infrarroja	Moustafa et al. (2022)
	PHA	Colágeno	Fibras	Vasil'ev (2007)
		Bacteria Cupriavidus	Nanocompuestos	Hema et al. (2013)
		Bacterias	Polímeros reforzados	Yeo et al. (2018)
		Aguas residuales	Espectroscopia infrarroja	Paul et al. (2021)
		Cascara de yuca	Electrohilado	Vega-Castro et al. (2021)
	PHA-PLG	Microorganismos (almidón)	Fibras	Mlalila et al. (2018)
		Microorganismos (hongos)	Morfología 3D	Bandyopadhyay-Ghosh et al. (2018)
	PBS-PBAT	Almidón	Fibras	Muthuraj et al. (2014)
		Fibroína de seda	Nanofibras electro hiladas	Zheng-Yang et al. (2020)
	PHMC	Microorganismos	Hidrogel	Hu et al. (2018)

Tipo de polímero	Polímero	Recurso de origen	Producto / obtención	Referencia
Biobase	PPC	Microorganismos	Espuma de polímeros	Henke et al. (2017)
	PP-PM	Microorganismos	Nanocompuestos	Basavaraja et al. (2010)
	PVA	Microorganismos	Gel	Silva et al. (2008)
			Plastificantes	Silva et al. (2008)
		Palma aceitera	Nanofibras	Solikhin et al. (2018)
		Nanopartículas de selenio	Difracción de rayos X	Al-hakimi et al. (2022)
		Frijol	Sundilac	Tak et al. (2019)
		Aloe vera	Espectroscopia infrarroja	Kanatt y Makwana (2020)
		Cascara de arroz	Microscopia electrónica de barrido	Asgher et al. (2020)
		Glicerol	Espectroscopia infrarroja	Asgher et al. (2020)
		Alginato de sodio	Difusión hidrófila	Singh et al. (2022)
		Goma guaran	Difracción de rayos X	Gasti et al. (2021)
	WPBA	Semillas vegetales	Polímeros reforzados	Zafar et al. (2015)

Fuente: Autores

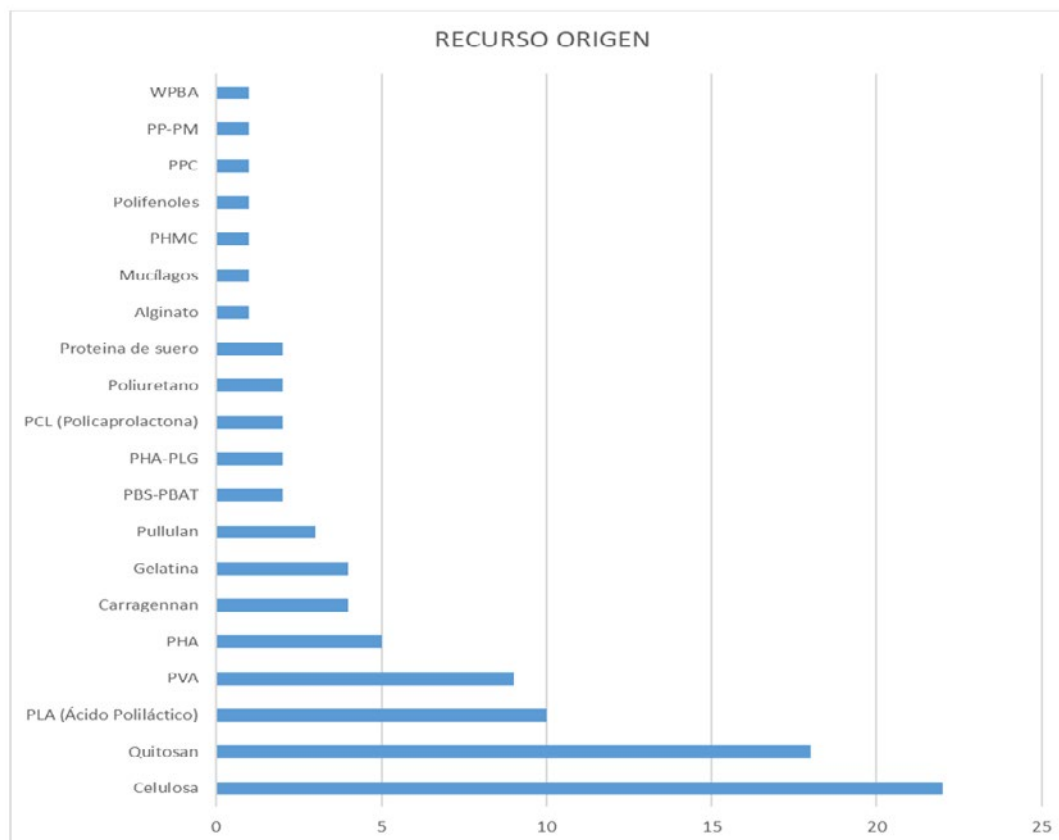
Aplicación de biopolímeros

Los biopolímeros son compuestos de cadena larga formados por subunidades que también son cadenas largas (Malhotra et al., 2015). Gracias a esta característica, se han desarrollado múltiples investigaciones y se han descubierto diversos usos para estos materiales. El método de obtención más común es la polimerización del compuesto básico, por ejemplo, almidones o nanopartículas de laboratorio,

que dan como resultado insumos útiles para diferentes aplicaciones.

De los artículos revisados, el biopolímero natural con mayor número de investigaciones hasta el 2022 es la celulosa, con 22 desarrollos diferentes (véase la figura 2). Este polisacárido se encuentra entre los más utilizados en la producción de películas biodegradables (Yu et al., 2019), debido a su facilidad de extracción.

Figura 2. Cantidad de recursos desarrollados como biopolímeros



Fuente: Autores

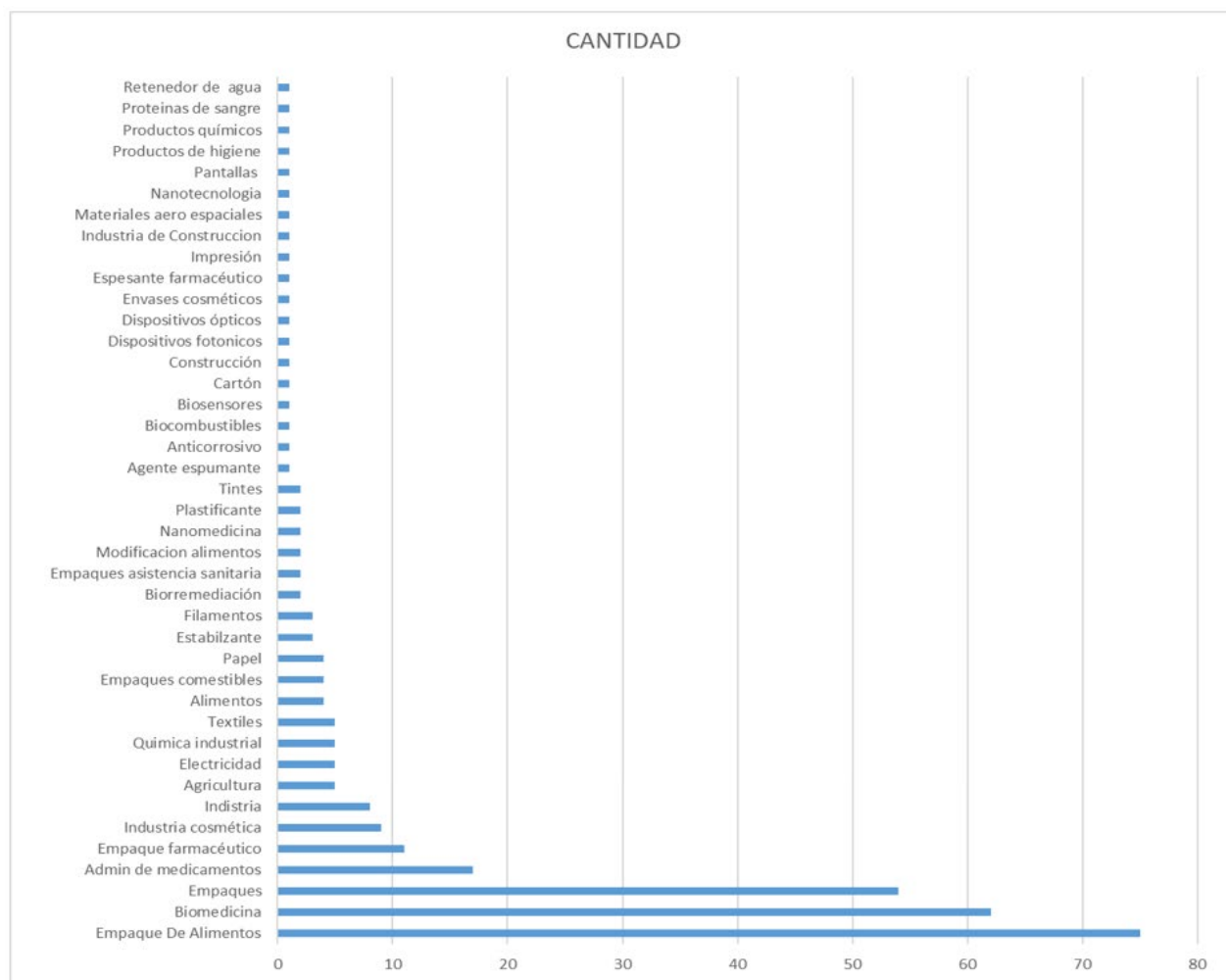
En cuanto a los biopolímeros biobasados, el ácido poliláctico (PLA) presenta el mayor número de investigaciones, con 10 diferentes procesos. Esto se debe a sus versátiles aplicaciones industriales (John et al., 2009). La producción del ácido poliláctico ha aumentado debido a su capacidad de ser compostable y al uso de recursos renovables para su obtención. La producción biotecnológica de ácido láctico ofrece varias ventajas en comparación con la síntesis química, como el bajo costo de los sustratos, la baja temperatura de producción y el bajo consumo de energía (Madhavan et al., 2010).

Los resultados muestran que, respecto al desarrollo de productos, el “empaque de alimentos” es la industria para la cual se han realizado más estudios,

con 75 investigaciones diferentes (véase la figura 3). Es decir, del total de la muestra seleccionada, el 38 % de los artículos relaciona el empaque de alimentos como un posible uso de los biopolímeros. Otro factor relevante es el aumento significativo, año a año, de hasta cinco veces más de investigaciones relacionadas con los materiales de empaque de alimentos de origen bio-base. Este aumento en las investigaciones se presenta por el potencial que tienen los materiales en cuanto a sus características físicas y mecánicas para ser usados como polímeros en la industria de los empaques (Abdullah et al., 2022).

El segundo sector con mayor número de aplicaciones es la biomedicina. Esto se debe principalmente a que los biopolímeros no presentan toxicidad y están

Figura 3. Aplicación de biopolímeros 2008-2022



Fuente: Autores

autorizados para uso médico, según la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, por sus siglas en inglés Food and Drug Administration) de Estados Unidos (Philp et al., 2005). Además, estos materiales han ofrecido respuestas para influir en la función metabólica de las células en una variedad de formas, dado que pueden servir como sustrato energético, por su carácter no cargado y su tamaño pequeño (Philp et al., 2005). También presentan avances en la ingeniería de tejidos, como puentes tisulares y resistencia a la adhesión celular (Wang et al., 2007), e incluso pueden utilizarse como hueso artificial, capaz de ser reabsorbido por el organismo (Pant et al., 2013).

En cuanto al desarrollo de envases para la industria farmacéutica, el ácido poliláctico (PLA) es el material con mayor número de investigaciones destinadas a su uso como empaque farmacéutico (véase la tabla 4). La constancia sobre este material se debe a los efectos físico-mecánicos notables para aplicaciones industriales, lo que le permite avanzar como material de empaque (Perez-Masia et al., 2015). Además, presenta aspectos de calidad como estabilidad, uniformidad del contenido y liberación del contenido. Por otra parte, en cuanto a la resistencia mecánica, esta puede verse afectada durante las operaciones de procesamiento (Abreu et al., 2015).

Tabla 4. Biopolímeros utilizados para envases

Material	Método	País	Año	Referencias
Celulosa	Espectroscopia infrarroja	India	2021	Kalyani y Khandelwal
Gelatina	Espectroscopia infrarroja	Egipto	2021	Ibrahim et al.
Nanocompuestos	Mezclas	India	2022	Kendre et al.
Nanocompuestos	Precipitación química	Alemania	2019	Ghanbari Adivi et al.
PHA	Mezclas	Sur África	2022	Ibrahim et al.
PLA	Grupo fenólicos	Italia	2012	Trombino et al.
PLA	Espectroscopia infrarroja	Irán	2020	Karimi et al.
PLA	Electrohilado	Hungría	2022	Yi et al.
PLA	Hidrolisis	China	2018	Xian et al.
Pullulano	Microscopia electrónica de barrido	Pakistán	2018	Tabasum et al.
PVA	Espectroscopia infrarroja	Tailandia	2019	Riyajan
Quitosano	Difracción rayos X	Tailandia	2020	Soe et al.

Fuente: Autores

Otro biopolímero que presenta excelente respuesta en el empaque de productos farmacéuticos es el poli(alcohol vinílico) de Pullulan, es un biopolímero biocompatible y no tóxico que se puede obtener como solvente y utilizar como material de embalaje de medicamentos (Tabasum et al., 2018).

CONCLUSIONES

Existe una tendencia marcada en la realización de investigaciones sobre biopolímeros en los últimos años. Por ejemplo, India es el país con el mayor número de investigaciones de la muestra analizada, donde existe una fuerte profundización académica sobre el tema. Además, se logró identificar dos tipos de biopolímero de acuerdo a su origen: (1) los de base biológica, que presentan 21 métodos de desarrollo tecnológico y de obtención —el ácido poliláctico (PLA) y el acetato de polivinilo (PVA) son los de mayor representación—, y (2) los de base natural, con 28 métodos, sinodo la celulosa y el quitosano los más utilizados.

Asimismo, de la información analizada entre el 2008 y el 2022, las investigaciones sobre

biopolímeros muestran un comportamiento ascendente, en algunos casos con un crecimiento de hasta 5 veces con respecto al año anterior. Los países con mayor número de publicaciones son India, China y Brasil, respectivamente, con una participación de 60 de los 196 artículos revisados.

En la actualidad, los biopolímeros representan una posibilidad real para remplazar los plásticos convencionales derivados del petróleo. Esta investigación demuestra que se han utilizado 43 materiales de origen bio-base para el desarrollo de biopolímeros, con 28 formas de obtención diferentes, e investigado 41 usos potenciales.

De acuerdo con la relación de las posibles aplicaciones de los biopolímeros, se encontró como tendencia que las investigaciones se orientan a su uso como empaques de alimentos y en biomedicina, dadas sus características físicas y mecánicas en estos campos, además de no ser tóxicos y presentar posibilidades de bioasimilación con el cuerpo humano.

Del mismo modo, el ácido poliláctico (PLA), con cuatro aplicaciones como empaque farmacéutico, es

el biopolímero más desarrollado hasta ahora, por su maleabilidad y capacidad de síntesis con otros materiales para su bioasimilación, lo que permite reforzar sus características para maximizar y mejorar sus usos. Su fabricación a partir de subproductos agrícolas garantiza una disponibilidad suficiente para su desarrollo industrial, no produce contaminación atmosférica en su fabricación y minimiza la generación de residuos por su característica compostable.

En las diferentes investigaciones revisadas, los biopolímeros se mezclan con otros insumos para evitar que se interfiera con el propósito del medicamento. Por tanto, la clave para determinar cuál es el material idóneo como envase de medicamentos está en las mezclas exitosas de biopolímeros con otros materiales, que permita la estabilidad del producto y puedan ser avaladas para este uso.

REFERENCIAS

- Abdulkhani, A., Najd Mazhar, A., Hedjazi, S., y Hamzeh, Y. (2020). Preparation of xylan bio-composite films reinforced with oxidized carboxymethyl cellulose and nanocellulose. *Polymer Bulletin*, 77(12), 6227-6239. <https://doi.org/10.1007/s00289-019-03075-5>
- Abdullah, J. A. A., Jiménez-Rosado, M., Benítez, J. J., Guerrero, A., y Romero, A. (2022). Biopolymer-based films reinforced with FexOy-nanoparticles. *Polymers*, 14(21), 4487. <https://doi.org/10.3390/polym14214487>
- Abreu, A. S., Oliveira, M., de Sá, A., Rodrigues, R. M., Cerqueira, M. A., Vicente, A. A., y Machado, A. V. (2015). Antimicrobial nanostructured starch based films for packaging. *Carbohydrate Polymers*, 129, 127-134. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.04.021>
- Abutalib, M. M., y Rajeh, A. (2021). Enhanced structural, electrical, mechanical properties and antibacterial activity of Cs/PEO doped mixed nanoparticles (Ag/TiO₂) for food packaging applications. *Polymer Testing*, 93, 107013. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.107013>
- Agrawal, R., Kumar, A., Singh, S., y Sharma, K. (2022). Recent advances and future perspectives of lignin biopolymers. *Journal of Polymer Research*, 29(6), 222. <https://doi.org/10.1007/s10965-022-03068-5>
- Ahmed, K. K., Hussien, S. A., y Aziz, S. B. (2022). Transferring the wide band gap chitosan: POZ-based polymer blends to small optical energy band gap polymer composites through the inclusion of green synthesized Zn²⁺-PPL metal complex. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(7), 103913. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.103913>
- Ahmed, M. K., Moydeen, A. M., Ismail, A. M., El-Naggar, M. E., Menazea, A. A., y El-Newehy, M. H. (2021). Wound dressing properties of functionalized environmentally biopolymer loaded with selenium nanoparticles. *Journal of Molecular Structure*, 1225, 129138. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.129138>
- Akhlaghi, S. P., Berry, R. C., y Tam, K. C. (2013). Surface modification of cellulose nanocrystal with chitosan oligosaccharide for drug delivery applications. *Cellulose*, 20(4), 1747-1764. <https://doi.org/10.1007/s10570-013-9954-y>
- Al-hakimi, A. N., Asnag, G. M., Alminderej, F., Alhagri, I. A., Al-Hazmy, S. M., y Abdallah, E. M. (2022). Enhanced structural, optical, electrical properties and antibacterial activity of selenium nanoparticles loaded PVA/CMC blend for electrochemical batteries and food packaging applications. *Polymer Testing*, 116, 107794. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2022.107794>
- Alizadeh-Sani, M., Mohammadian, E., y McClements, D. J. (2020). Eco-friendly active packaging consisting of nanostructured biopolymer matrix reinforced with TiO₂ and essential oil: Application for preservation of refrigerated meat. *Food Chemistry*, 322, 126782. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126782>
- AL-Oqla, F. M., Alaaeddin, M. H., Hoque, M. E., y Thakur, V. K. (2022). Biopolymers and biomimetic materials in medical and electronic-related applications for environment-health-development nexus: Systematic review. *Journal of Bionic Engineering*, 19(6), 1562-1577. <https://doi.org/10.1007/s42235-022-00240-x>
- Alves Lopes, I., Coelho Paixão, L., Souza da Silva, L. J., Almeida Rocha, A., D. Barros Filho, A. K., y Amorim Santana, A. (2020). Elaboration and characterization of biopolymer films with alginate and babassu coconut mesocarp. *Carbohydrate Polymers*, 234, 115747. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115747>
- Ansorena, M. R., Marcovich, N. E., y Pereda, M. (2018). Food biopackaging based on chitosan. En L. M. T. Martínez, O. V. Kharissova, y B. I. Kharisov (eds.), *Handbook of ecomaterials* (pp. 1-27). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48281-1_68-1
- Aquinas, N., Bhat M, R., y Selvaraj, S. (2022). A review presenting production, characterization, and applications of biopolymer curdlan in food and pharmaceutical sectors. *Polymer Bulletin*, 79(9), 6905-6927. <https://doi.org/10.1007/s00289-021-03860-1>
- Asgher, M., Nasir, I., Khalid, N., y Qamar, S. A. (2020). Development of biocomposites based on bacterial cellulose reinforced delignified rice husk-PVA plasticized with glycerol. *Journal of Polymer Research*, 27(11), 347. <https://doi.org/10.1007/s10965-020-02314-y>
- Asyraf, M. R. M., Ishak, M. R., Norrrahim, M. N. F., Amir, A. L., Nurazzi, N. M., Ilyas, R. A., Asrofi, M., Rafidah, M., y

- Razman, M. R. (2022). Potential of flax fiber reinforced biopolymer composites for cross-arm application in transmission tower: A review. *Fibers and Polymers*, 23(4), 853-877. <https://doi.org/10.1007/s12221-022-4383-x>
- Auras, R., Harte, B., y Selke, S. (2004). An overview of poly lactides as packaging materials. *Macromolecular Bioscience*, 4(9), 835-864. <https://doi.org/10.1002/mabi.200400043>
- Aznar, M., Ubeda, S., Dreolin, N., y Nerín, C. (2019). Determination of non-volatile components of a biodegradable food packaging material based on polyester and polylactic acid (PLA) and its migration to food simulants. *Journal of Chromatography A*, 1583, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2018.10.055>
- Bajer, D., Janczak, K., y Bajer, K. (2020). Novel Starch/Chitosan/Aloe Vera composites as promising biopackaging materials. *Journal of Polymers and the Environment*, 28(3), 1021-1039. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01661-7>
- Bakri, M. K. B., Jayamani, E., Hamdan, S., Rahman, Md. R., y Kakar, A. (2018). Potential of Borneo Acacia wood in fully biodegradable bio-composites' commercial production and application. *Polymer Bulletin*, 75(11), 5333-5354. <https://doi.org/10.1007/s00289-018-2299-9>
- Bandyopadhyay-Ghosh, S., Ghosh, S. B., Rodríguez, A., y Sain, M. M. (2018). Biosynthesis, microstructural characterisations and investigation of in-vitro mutagenic and eco-toxicological response of a novel microbial exopolysaccharide based biopolymer. *Journal of Polymers and the Environment*, 26(1), 365-374. <https://doi.org/10.1007/s10924-016-0925-x>
- Barbash, V. A., Yashchenko, O. V., Yakymenko, O. S., Zakharko, R. M., y Myshak, V. D. (2022). Preparation of hemp nanocellulose and its use to improve the properties of paper for food packaging. *Cellulose*, 29(15), 8305-8317. <https://doi.org/10.1007/s10570-022-04773-6>
- Bardin, L. (1996). *El análisis de contenido* (C. Suárez, trad., 2.a ed.). Akal Ediciones.
- Basavaraja, C., Veeranagouda, Y., Lee, K., Vishnuvardhan, T. K., Pierson, R., y Huh, D. S. (2010). Synthesis and characterization of conducting polypyrrole-polymannuronate nanocomposites. *Journal of Polymer Research*, 17(2), 233-239. <https://doi.org/10.1007/s10965-009-9309-4>
- Bhullar, S. K., Kaya, B., y Jun, M. B. G. (2015). Development of bioactive packaging structure using melt electrospinning. *Journal of Polymers and the Environment*, 23(3), 416-423. <https://doi.org/10.1007/s10924-015-0713-z>
- Biswas, M. C., Jony, B., Nandy, P. K., Chowdhury, R. A., Halder, S., Kumar, D., Ramakrishna, S., Hassan, M., Ahsan, M. A., Hoque, M. E., y Imam, M. A. (2022). Recent advancement of biopolymers and their potential biomedical applications. *Journal of Polymers and the Environment*, 30(1), 51-74. <https://doi.org/10.1007/s10924-021-02199-y>
- Borja, J. M., y Eva, S. J. (2006). *Recopilación bibliográfica de materiales de envase primario, secundario y terciario, para las formas farmacéuticas líquidas, sólidas y semisólidas* [tesis de pregrado]. Universidad de El Salvador.
- Chaudhary, P., Fatima, F., y Kumar, A. (2020). Relevance of Nanomaterials in Food Packaging and its Advanced Future Prospects. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 30(12), 5180-5192. <https://doi.org/10.1007/s10904-020-01674-8>
- Chauvet, M., Sauceau, M., y Fages, J. (2017). Extrusion assisted by supercritical CO₂: A review on its application to biopolymers. *The Journal of Supercritical Fluids*, 120, 408-420. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2016.05.043>
- Chow, K., Tong, H. H. Y., Lum, S., y Chow, A. H. L. (2008). Engineering of pharmaceutical materials: An industrial perspective. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 97(8), 2855-2877. <https://doi.org/10.1002/jps.21212>
- Chursin, V. I., y Lyubimtseva, E. S. (2020). Effect of polysaccharide constituents on the properties of biopolymer composites and films based on them. *Fibre Chemistry*, 51(5), 362-367. <https://doi.org/10.1007/s10692-020-10112-x>
- Ciecholewska, D., Zywicka, A., Junka, A., Drozd, R., Sobolewski, P., Midgal, P., Kowalska, U., Toporkiewicz, M., & Fijalkowski, K. (2011). Superabsorbent crosslinked bacterial cellulose biomaterials for chronic wound dressings. *Carbohydrate Polymers*, 253, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117247>
- Correa, S., Dreaden, E. C., Gu, L., y Hammond, P. T. (2016). Engineering nanolayered particles for modular drug delivery. *Journal of Controlled Release*, 240, 364-386. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2016.01.040>
- Da Rosa, G. S., Vanga, S. K., Garipey, Y., y Raghavan, V. (2020). Development of biodegradable films with improved antioxidant properties based on the addition of carrageenan containing olive leaf extract for food packaging applications. *Journal of Polymers and the Environment*, 28(1), 123-130. <https://doi.org/10.1007/s10924-019-01589-7>
- Das, A., Ringu, T., Ghosh, S., y Pramanik, N. (2022). A comprehensive review on recent advances in preparation, physicochemical characterization, and bioengineering applications of biopolymers. *Polymer Bulletin*. <https://doi.org/10.1007/s00289-022-04443-4>
- Davis, G., y Song, J. H. (2006). Biodegradable packaging based on raw materials from crops and their impact on waste management. *Industrial Crops and Products*, 23(2), 147-161. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2005.05.004>
- De Marco, I. (2022). Zein microparticles and nanoparticles as drug delivery systems. *Polymers*, 14(11), 2172. <https://doi.org/10.3390/polym14112172>
- De Mesquita, J. P., Donnici, C. L., y Pereira, F. V. (2010). Biobased nanocomposites from layer-by-layer assembly of cellulose nanowhiskers with chitosan. *Biomacromolecules*, 11(2), 473-480. <https://doi.org/10.1021/bm9011985>
- De Oliveira Filho, J. G., Albiero, B. R., Cipriano, L., de Oliveira Nobre Bezerra, C. C., Oldoni, F. C. A., Egea, M. B., de Azere-do, H. M. C., y Ferreira, M. D. (2021). Arrowroot starch-based films incorporated with a carnauba wax nanoemulsion, cellu-

- lose nanocrystals, and essential oils: A new functional material for food packaging applications. *Cellulose*, 28(10), 6499-6511. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-03945-0>
- Dekamin, M. G., Karimi, Z., Latifdoost, Z., Ilkhanizadeh, S., Daemi, H., Naimi-Jamal, M. R., y Barikani, M. (2018). Alginic acid: A mild and renewable bifunctional heterogeneous biopolymeric organocatalyst for efficient and facile synthesis of polyhydroquinolines. *International Journal of Biological Macromolecules*, 108, 1273-1280. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.050>
- Divakara, S., Siddaraju, G. N., y Somashekar, R. (2010). Comparative study of natural and man-made polymers using whole powder pattern fitting technique. *Fibers and Polymers*, 11(6), 861-868. <https://doi.org/10.1007/s12221-010-0861-7>
- Dong, W., Su, J., Chen, Y., Xu, D., Cheng, L., Mao, L., Gao, Y., y Yuan, F. (2022). Characterization and antioxidant properties of chitosan film incorporated with modified silica nanoparticles as an active food packaging. *Food Chemistry*, 373(Part A), 131414. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131414>
- Duquette, D., y Dumont, M. J. (2019). Comparative studies of chemical crosslinking reactions and applications of bio-based hydrogels. *Polymer Bulletin*, 76(5), 2683-2710. <https://doi.org/10.1007/s00289-018-2516-6>
- Duval, A., y Lawoko, M. (2014). A review on lignin-based polymeric, micro- and nano-structured materials. *Reactive and Functional Polymers*, 85, 78-96. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2014.09.017>
- El Achaby, M., El Miri, N., Hannache, H., Gmouh, S., Trabadelo, V., Aboulkas, A., y Ben Youcef, H. (2018). Cellulose nanocrystals from Miscanthus fibers: Insights into rheological, physico-chemical properties and polymer reinforcing ability. *Cellulose*, 25(11), 6603-6619. <https://doi.org/10.1007/s10570-018-2047-1>
- El-Gamal, S., El Sayed, A. M., y Abdel-Hady, E. E. (2018). Effect of cobalt oxide nanoparticles on the nano-scale free volume and optical properties of biodegradable CMC/PVA Films. *Journal of Polymers and the Environment*, 26(6), 2536-2545. <https://doi.org/10.1007/s10924-017-1151-x>
- Elhussieny, A., Faisal, M., D'Angelo, G., Aboulkhair, N. T., Everitt, N. M., y Fahim, I. S. (2020). Valorisation of shrimp and rice straw waste into food packaging applications. *Ain Shams Engineering Journal*, 11(4), 1219-1226. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.01.008>
- Erfani, A., Khalil Pirouzifard, M., Almasi, H., Gheybi, N., y Pirs, S. (2022). Application of cellulose plate modified with encapsulated Cinnamomum zelanicum essential oil in active packaging of walnut kernel. *Food Chemistry*, 381, 132246. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132246>
- Farris, S., Schaich, K. M., Liu, L., Piergiovanni, L., y Yam, K. L. (2009). Development of polyion-complex hydrogels as an alternative approach for the production of bio-based polymers for food packaging applications: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 20(8), 316-332. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.04.003>
- Fasciotti, M. (2017). Perspectives for the use of biotechnology in green chemistry applied to biopolymers, fuels and organic synthesis: From concepts to a critical point of view. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 6, 82-89. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2017.09.002>
- Favatela, M. F., Otarola, J., Ayala-Peña, V. B., Dolcini, G., Perez, S., Torres Nicolini, A., Alvarez, V. A., y Lassalle, V. L. (2022). Development and characterization of antimicrobial textiles from chitosan-based compounds: Possible biomaterials against SARS-CoV-2 Viruses. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 32(4), 1473-1486. <https://doi.org/10.1007/s10904-021-02192-x>
- Fernández, F. (2002). El análisis de contenido como ayuda metodológica para la investigación. *Revista de Ciencias Sociales*, (96), 35-53.
- Fonseca-García, A., Jiménez-Regalado, E. J., y Aguirre-Loredo, R. Y. (2021). Preparation of a novel biodegradable packaging film based on corn starch-chitosan and poloxamers. *Carbohydrate Polymers*, 251, 117009. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117009>
- Friedrich, D. (2022). Success factors of Wood-Plastic Composites (WPC) as sustainable packaging material: A cross-sector expert study. *Sustainable Production and Consumption*, 30, 506-517. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.12.030>
- Garavand, F., Khodaei, D., Mahmud, N., Islam, J., Khan, I., Jafarzadeh, S., Tahergerabi, R., y Cacciotti, I. (2022). Recent progress in using zein nanoparticles-loaded nanocomposites for food packaging applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(12), 3639-3659. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2133080>
- Gasti, T., Hiremani, V. D., Kesti, S. S., Vanjeri, V. N., Goudar, N., Masti, S. P., Thimmappa, S. C., y Chougale, R. B. (2021). Physicochemical and antibacterial evaluation of poly (Vinyl Alcohol)/Guar Gum/Silver nanocomposite films for food packaging applications. *Journal of Polymers and the Environment*, 29(10), 3347-3363. <https://doi.org/10.1007/s10924-021-02123-4>
- Geyer, R., Jambeck, J. R., y Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), 1-5. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- Ghanbari Adivi, F., Hashemi, P., y Dadkhah Tehrani, A. (2019). Agarose-coated Fe₃O₄@SiO₂ magnetic nanoparticles modified with sodium dodecyl sulfate, a new promising sorbent for fast adsorption/desorption of cationic drugs. *Polymer Bulletin*, 76(3), 1239-1256. <https://doi.org/10.1007/s00289-018-2418-7>
- Ghasempour, Z., Khodaeivandi, S., Ahangari, H., Hamishehkar, H., Amjadi, S., Moghaddas Kia, E., y Ehsani, A. (2022). Characterization and optimization of persian gum/whey protein bionanocomposite films containing betanin nanoliposomes for food packaging utilization. *Journal of Polymers and the Environment*, 30(7), 2800-2811. <https://doi.org/10.1007/s10924-021-02367-0>
- Goel, P., Arora, R., Haleem, R., y Shukla, S. K. (2023). Advances in bio-degradable polymer composites-based packaging mate-

- rial. *Chemistry Africa*, 6(1), 95-115. <https://doi.org/10.1007/s42250-022-00404-6>
- Grondin, J. (2014). ¿Qué es la hermenéutica? (A. Martínez Riu, Trad.). *Herder Editorial*. <http://www.jstor.org/stable/10.2307/j.ctvt7x88s>
- Gupta, H., Kumar, H., Gehlaut, A. K., Singh, S. K., Gaur, A., Sachan, S., y Park, J. W. (2022). Preparation and characterization of bio-composite films obtained from coconut coir and groundnut shell for food packaging. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 24(2), 569-581. <https://doi.org/10.1007/s10163-021-01343-z>
- Gutiérrez, T. J., y Alvarez, V. A. (2017). Cellulosic materials as natural fillers in starch-containing matrix-based films: A review. *Polymer Bulletin*, 74(6), 2401-2430. <https://doi.org/10.1007/s00289-016-1814-0>
- Hansen, N. M. L., Blomfeldt, T. O. J., Hedenqvist, M. S., y Plackett, D. V. (2012). Properties of plasticized composite films prepared from nanofibrillated cellulose and birch wood xylan. *Cellulose*, 19(6), 2015-2031. <https://doi.org/10.1007/s10570-012-9764-7>
- Hasan, M., Lai, T. K., Gopakumar, D. A., Jawaid, M., Owolabi, F. A. T., Mistar, E. M., Alfatah, T., Noriman, N. Z., Haafiz, M. K. M., y Abdul Khalil, H. P. S. (2019). Micro crystalline bamboo cellulose based seaweed biodegradable composite films for sustainable packaging material. *Journal of Polymers and the Environment*, 27(7), 1602-1612. <https://doi.org/10.1007/s10924-019-01457-4>
- Hashim, S. B. H., Elrasheid Tahir, H., Liu, L., Zhang, J., Zhai, X., Ali Mahdi, A., Nureldin Awad, F., Hassan, M. M., Xiaobo, Z., y Jiyong, S. (2022). Intelligent colorimetric pH sensing packaging films based on sugarcane wax/agar integrated with butterfly pea flower extract for optical tracking of shrimp freshness. *Food Chemistry*, 373(Part B), 131514. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131514>
- Hema, R., Ng, P. N., y Amirul, A. A. (2013). Green nanobiocomposite: Reinforcement effect of montmorillonite clays on physical and biological advancement of various polyhydroxyalkanoates. *Polymer Bulletin*, 70(3), 755-771. <https://doi.org/10.1007/s00289-012-0822-y>
- Henke, L., Zarrinbakhsh, N., Endres, H. J., Misra, M., y Mohanty, A. K. (2017). Biodegradable and bio-based green blends from carbon dioxide-derived bioplastic and poly(butylene succinate). *Journal of Polymers and the Environment*, 25(2), 499-509. <https://doi.org/10.1007/s10924-016-0828-x>
- Hernández-Silva, M. L., y Guzmán-Martínez, B. (2009). Biopolímeros empleados en la fabricación de envases para alimentos. *Publicaciones e Investigación*, 3(1), 103. <https://doi.org/10.22490/25394088.572>
- Hernández, R., y Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (1.a ed.). McGraw-Hill Interamericana Editores S. A. de C. V.
- Hiremani, V. D., Gasti, T., Masti, S. P., Malabadi, R. B., y Chougale, R. B. (2022). Polysaccharide-based blend films as a promising material for food packaging applications: Physicochemical properties. *Iranian Polymer Journal*, 31(4), 503-518. <https://doi.org/10.1007/s13726-021-01014-8>
- Hottle, T. A., Bilec, M. M., y Landis, A. E. (2013). Sustainability assessments of bio-based polymers. *Polymer Degradation and Stability*, 98(9), 1898-1907. <https://doi.org/10.1016/j.polym-degradstab.2013.06.016>
- Hu, Y., Zhang, S., Han, D., Ding, Z., Zeng, S., y Xiao, X. (2018). Construction and evaluation of the hydroxypropyl methyl cellulose-sodium alginate composite hydrogel system for sustained drug release. *Journal of Polymer Research*, 25(7), 148. <https://doi.org/10.1007/s10965-018-1546-y>
- Ibrahim, I. D., Hamam, Y., Sadiku, E. R., Ndambuki, J. M., Kopolati, W. K., Jamiru, T., Eze, A. A., y Snyman, J. (2022). *Need for sustainable packaging: An overview*. *Polymers*, 14(20), 4430. <https://doi.org/10.3390/polym14204430>
- Ibrahim, S., Elsayed, H., y Hasanin, M. (2021). Biodegradable, antimicrobial and antioxidant biofilm for active packaging based on extracted gelatin and lignocelluloses biowastes. *Journal of Polymers and the Environment*, 29(2), 472-482. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01893-7>
- Imre, B., y Pukánszky, B. (2013). Compatibilization in bio-based and biodegradable polymer blends. *European Polymer Journal*, 49(6), 1215-1233. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2013.01.019>
- Jamróz, E., Janik, M., Juszczak, L., Kruk, T., Kulawik, P., Szuwarzyński, M., Kawecka, A., y Khachatryan, K. (2021). Composite biopolymer films based on a polyelectrolyte complex of furcellaran and chitosan. *Carbohydrate Polymers*, 274, 118627. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118627>
- Janani, N., Zare, E. N., Salimi, F., y Makvandi, P. (2020). Antibacterial tragacanth gum-based nanocomposite films carrying ascorbic acid antioxidant for bioactive food packaging. *Carbohydrate Polymers*, 247, 116678. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116678>
- Janjarasskul, T., y Krochta, J. M. (2010). Edible packaging materials. *Annual Review of Food Science and Technology*, 1(1), 415-448. <https://doi.org/10.1146/annurev.food.080708.100836>
- Jayaramudu, J., Reddy, G. S. M., Varaprasad, K., Sadiku, E. R., Sinha Ray, S., y Varada Rajulu, A. (2013). Preparation and properties of biodegradable films from Sterculia urens short fiber/cellulose green composites. *Carbohydrate Polymers*, 93(2), 622-627. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.01.032>
- Jiang, J., Chen, X., Zhang, G. L., Hao, H., Hou, H. M., y Bi, J. (2022). Preparation of chitosan-cellulose-benzyl isothiocyanate nanocomposite film for food packaging applications. *Carbohydrate Polymers*, 285, 119234. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119234>

- Johansson, C., Bras, J., Mondragon, I., Nechita, P., Plackett, D., Šimon, P., Svetec, D. G., Virtanen, S., Baschetti, M. G., Breen, C., Clegg, F., y Aucejo, S. (2012). Renewable fibers and bio-based materials for packaging applications: A review of recent developments. *Bioresources*, 7(2), 2506-2552. <https://doi.org/10.15376/biores.7.2.2506-2552>
- John, R. P., G.S., A., Nampoothiri, K. M., y Pandey, A. (2009). Direct lactic acid fermentation: Focus on simultaneous saccharification and lactic acid production. *Biotechnology Advances*, 27(2), 145-152. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.10.004>
- Julkapli, N. M., Ahmad, Z., y Akil, H. M. (2011). Effects of different pH medium on swelling properties of 1,2,4,5-benzenetetracarboxylic-chitosan-filled chitosan bio-composites. *Polymer Bulletin*, 67(2), 291-320. <https://doi.org/10.1007/s00289-010-0424-5>
- Kale, G., Auras, R., Singh, S. P., y Narayan, R. (2007). Biodegradability of polylactide bottles in real and simulated composting conditions. *Polymer Testing*, 26(8), 1049-1061. <https://doi.org/10.1016/j.polymeresting.2007.07.006>
- Kale, G., Kijchavengkul, T., Auras, R., Rubino, M., Selke, S. E., y Singh, S. P. (2007). Compostability of Bioplastic Packaging Materials: An Overview. *Macromolecular Bioscience*, 7(3), 255-277. <https://doi.org/10.1002/mabi.200600168>
- Kalyani, P., y Khandelwal, M. (2021). Modulation of morphology, water uptake/retention, and rheological properties by in-situ modification of bacterial cellulose with the addition of biopolymers. *Cellulose*, 28(17), 11025-11036. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-04256-0>
- Kanatt, S. R., y Makwana, S. H. (2020). Development of active, water-resistant carboxymethyl cellulose-poly vinyl alcohol-Aloe vera packaging film. *Carbohydrate Polymers*, 227, 115303. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115303>
- Karimi, M., Yazdi, F. T., Mortazavi, S. A., Shahabi-Ghahfarrokhi, I., y Chamani, J. (2020). Development of active antimicrobial poly (L-glutamic) acid-poly (L-lysine) packaging material to protect probiotic bacterium. *Polymer Testing*, 83, 106338. <https://doi.org/10.1016/j.polymeresting.2020.106338>
- Kaufman, L., y Rousseeuw, P. J. (2005). Finding groups in data: An introduction to cluster analysis. Wiley.
- Kaur, A., Singh, D., y Sud, D. (2020). A review on grafted, crosslinked and composites of biopolymer Xanthan gum for phasing out synthetic dyes and toxic metal ions from aqueous solutions. *Journal of Polymer Research*, 27(10), 297. <https://doi.org/10.1007/s10965-020-02271-6>
- Kawecka-Radomska, M., Tomczyńska-Mleko, M., Wesołowska-Trojanowska, M., Kowalczyk, K., Chrzastek, M., y Mleko, S. (2015). Hard biodegradable biopolymer obtained from whey protein concentrate and montmorillonite. *Journal of Polymers and the Environment*, 23(4), 534-540. <https://doi.org/10.1007/s10924-015-0722-y>
- Kendre, P. N., Gite, M., Jain, S. P., y Pote, A. (2022). Nanocomposite polymeric materials: State of the art in the development of biomedical drug delivery systems and devices. *Polymer Bulletin*, 79(11), 9237-9265. <https://doi.org/10.1007/s00289-021-03985-3>
- Khodaei, D., Álvarez, C., y Mullen, A. M. (2021). Biodegradable packaging materials from animal processing co-products and wastes: An overview. *Polymers*, 13(15), 2561. <https://doi.org/10.3390/polym13152561>
- Kim, J., Kim, T. H., Lee, J. H., Park, Y. Ah., Kang, Y. J., y Ji, H. G. (2021). Porous nanocomposite of layered double hydroxide nanosheet and chitosan biopolymer for cosmetic carrier application. *Applied Clay Science*, 205, 106067. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2021.106067>
- Kostag, M., Gericke, M., Heinze, T., y El Seoud, O. A. (2019). Twenty-five years of cellulose chemistry: Innovations in the dissolution of the biopolymer and its transformation into esters and ethers. *Cellulose*, 26(1), 139-184. <https://doi.org/10.1007/s10570-018-2198-0>
- Kowalczyk, D., Kordowska-Wiater, M., Sołowiej, B., y Baraniak, B. (2015). Physicochemical and antimicrobial properties of biopolymer-candelilla wax emulsion films containing potassium sorbate - A comparative study. *Food and Bioprocess Technology*, 8(3), 567-579. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1423-6>
- Kumar, A. P., Depan, D., Singh Tomer, N., y Singh, R. P. (2009). Nanoscale particles for polymer degradation and stabilization - Trends and future perspectives. *Progress in Polymer Science*, 34(6), 479-515. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2009.01.002>
- Kumar, S., Kalita, S., Das, A., Kumar, P., Singh, S., Katiyar, V., y Mukherjee, A. (2022). Aloe vera: A contemporary overview on scope and prospects in food preservation and packaging. *Progress in Organic Coatings*, 166, 106799. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2022.106799>
- Kurczewska, J., Ratajczak, M., y Gajeka, M. (2021). Alginate and pectin films covering halloysite with encapsulated salicylic acid as food packaging components. *Applied Clay Science*, 214, 106270. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2021.106270>
- Lagaron, J. M., y Lopez-Rubio, A. (2011). Nanotechnology for bioplastics: Opportunities, challenges and strategies. *Trends in Food Science & Technology*, 22(11), 611-617. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.01.007>
- Lagarón, J. M., y Busolo, M. A. (2011). Multifunctional nanoclays for food contact applications. *En Multifunctional and nanoreinforced polymers for food packaging* (pp. 31-42). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857092786.1.31>
- Lee, J. H., Jeong, D., y Kanmani, P. (2019). Study on physical and mechanical properties of the biopolymer/silver based active nanocomposite films with antimicrobial activity. *Carbohydrate Polymers*, 224, 115159. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115159>

- Liarou, E., Varlas, S., Skoulas, D., Tsimblouli, C., Sereti, E., Dimas, K., y Iatrou, H. (2018). Smart polymersomes and hydrogels from polypeptide-based polymer systems through ϵ -amino acid N-carboxyanhydride ring-opening polymerization. From chemistry to biomedical applications. *Progress in Polymer Science*, 83, 28-78. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2018.05.001>
- Lomartire, S., Marques, J. C., y Gonçalves, A. M. M. (2022). An overview of the alternative use of seaweeds to produce safe and sustainable bio-packaging. *Applied Sciences*, 12(6), 3123. <https://doi.org/10.3390/app12063123>
- Lopes, M. S., Jardim, A. L., y Filho, R. M. (2012). Poly (Lactic Acid) Production for Tissue Engineering Applications. *Procedia Engineering*, 42, 1402-1413. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.534>
- López-Noguero, F. (2002). El análisis de contenido como método de investigación. *Revista de Educación*, XXI(4), 167-180.
- Luckachan, G. E., y Pillai, C. K. S. (2011). Biodegradable polymers - A review on recent trends and emerging perspectives. *Journal of Polymers and the Environment*, 19(3), 637-676. <https://doi.org/10.1007/s10924-011-0317-1>
- Madhavan Nampoothiri, K., Nair, N. R., y John, R. P. (2010). An overview of the recent developments in polylactide (PLA) research. *Bioresource Technology*, 101(22), 8493-8501. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.05.092>
- Malhotra, B., Keshwani, A., y Kharkwal, H. (2015). *Natural polymer based cling films for food packaging*, 7(4), 10-18.
- Mallakpour, S., & Jarang, N. (2018). Production of bionanocomposites based on poly(vinyl pyrrolidone) using modified TiO₂ nanoparticles with citric acid and ascorbic acid and study of their physicochemical properties. *Polymer Bulletin*, 75(4), 1441-1456. <https://doi.org/10.1007/s00289-017-2100-5>
- Manimohan, M., Pugalmani, S., y Sithique, M. A. (2020a). Biologically Active Water Soluble Novel Biopolymer/Hydrazide Based O-Carboxymethyl Chitosan Schiff Bases: Synthesis and Characterisation. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 30(9), 3658-3676. <https://doi.org/10.1007/s10904-020-01487-9>
- Manimohan, M., Pugalmani, S., y Sithique, M. A. (2020b). Synthesis, Spectral Characterisation and Biological Activities of Novel Biomaterial/N, N, O Donor Tridentate Co (II), Ni (II) and Zn (II) Complexes of Hydrazide Based Biopolymer Schiff Base Ligand. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 30(11), 4481-4495. <https://doi.org/10.1007/s10904-020-01578-7>
- Marassi, V., De Marchis, F., Roda, B., Bellucci, M., Capocchi, A., Reschiglian, P., Pompa, A., y Zattoni, A. (2021). Perspectives on protein biopolymers: Miniaturized flow field-flow fractionation-assisted characterization of a single-cysteine mutated phaseolin expressed in transplastomic tobacco plants. *Journal of Chromatography A*, 1637, 461806. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2020.461806>
- Martin, O., y Avérous, L. (2001). Poly(lactic acid): Plasticization and properties of biodegradable multiphase systems. *Polymer*, 42(14), 6209-6219. [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(01\)00086-6](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(01)00086-6)
- Martínez, L. M. T., Kharissova, O. V., y Kharisov, B. I. (eds.). (2019). *Handbook of Ecomaterials*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68255-6>
- Mathuriya, A. S., y Yakhmi, J. V. (2017). Polyhydroxyalkanoates: Biodegradable plastics and their applications. En L. M. T. Martínez, O. V. Kharissova, y B. I. Kharisov (eds.), *Handbook of Ecomaterials* (pp. 1-29). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48281-1_84-1
- Meeks, D., Hottle, T., Bilec, M. M., y Landis, A. E. (2015). Compostable biopolymer use in the real world: Stakeholder interviews to better understand the motivations and realities of use and disposal in the US. *Resources, Conservation and Recycling*, 105(Part A), 134-142. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.10.022>
- Mekonnen, T., Mussone, P., Khalil, H., y Bressler, D. (2013). Progress in bio-based plastics and plasticizing modifications. *Journal of Materials Chemistry A*, 1(43), 13379. <https://doi.org/10.1039/c3ta12555f>
- Mellinas, C., Valdés, A., Ramos, M., Burgos, N., Garrigós, M. del C., y Jiménez, A. (2015). Active edible films: Current state and future trends. *Journal of Applied Polymer Science*, 133(2). <https://doi.org/10.1002/app.42631>
- Meneguín, A. B., da Silva Barud, H., Sábio, R. M., de Sousa, P. Z., Manieri, K. F., de Freitas, L. A. P., Pacheco, G., Alonso, J. D., y Chorilli, M. (2020). Spray-dried bacterial cellulose nanofibers: A new generation of pharmaceutical excipient intended for intestinal drug delivery. *Carbohydrate Polymers*, 249, 116838. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116838>
- Miao, C., y Hamad, W. Y. (2013). Cellulose reinforced polymer composites and nanocomposites: A critical review. *Cellulose*, 20(5), 2221-2262. <https://doi.org/10.1007/s10570-013-0007-3>
- Mishra, D., Khare, P., Singh, D. K., Yadav, V., Luqman, S., Kumar, P. V. A., y Shanker, K. (2021). Synthesis of Ocimum extract encapsulated cellulose nanofiber/chitosan composite for improved antioxidant and antibacterial activities. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 2, 100152. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2021.100152>
- Mishra, R. K., Sabu, A., y Tiwari, S. K. (2018). Materials chemistry and the futurist eco-friendly applications of nanocellulose: Status and prospect. *Journal of Saudi Chemical Society*, 22(8), 949-978. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2018.02.005>
- Mlalila, N., Hilonga, A., Swai, H., Devlieghere, F., y Ragaert, P. (2018). Antimicrobial packaging based on starch, poly(3-hydroxybutyrate) and poly(lactic-co-glycolide) materials and application challenges. *Trends in Food Science & Technology*, 74, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.01.015>

- Mohd Basri, M. S., Abdul Karim Shah, N. N., Sulaiman, A., Mohamed Amin Tawakkal, I. S., Mohd Nor, M. Z., Ariffin, S. H., Abdul Ghani, N. H., y Mohd Salleh, F. S. (2021). Progress in the valorization of fruit and vegetable wastes: Active packaging, biocomposites, by-products, and innovative technologies used for bioactive compound extraction. *Polymers*, 13(20), 3503. <https://doi.org/10.3390/polym13203503>
- Mooibroek, H., Oosterhuis, N., Giuseppin, M., Toonen, M., Franssen, H., Scott, E., Sanders, J., y Steinbüchel, A. (2007). Assessment of technological options and economical feasibility for cyanophycin biopolymer and high-value amino acid production. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 77(2), 257-267. <https://doi.org/10.1007/s00253-007-1178-3>
- Moustafa, H., Darwish, N. A., y Youssef, A. M. (2022). Rational formulations of sustainable polyurethane/chitin/rosin composites reinforced with ZnO-doped-SiO₂ nanoparticles for green packaging applications. *Food Chemistry*, 371, 131193. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131193>
- Muneer, F., Nadeem, H., Arif, A., y Zaheer, W. (2021). Bioplastics from Biopolymers: An Eco-Friendly and Sustainable Solution of Plastic Pollution. *Polymer Science, Series C*, 63(1), 47-63. <https://doi.org/10.1134/S1811238221010057>
- Muthuraj, R., Misra, M., y Mohanty, A. K. (2014). Biodegradable poly(butylene succinate) and poly(butylene adipate-co-terephthalate) blends: Reactive extrusion and performance evaluation. *Journal of Polymers and the Environment*, 22(3), 336-349. <https://doi.org/10.1007/s10924-013-0636-5>
- Narasagoudr, S. S., Hegde, V. G., Vanjeri, V. N., Chougale, R. B., y Masti, S. P. (2020). Ethyl vanillin incorporated chitosan/poly(vinyl alcohol) active films for food packaging applications. *Carbohydrate Polymers*, 236, 116049. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116049>
- Neera, Ramana, K. V., y Batra, H. V. (2015). Occurrence of cellulose-producing Gluconacetobacter spp. In fruit samples and kombucha tea, and production of the biopolymer. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 176(4), 1162-1173. <https://doi.org/10.1007/s12010-015-1637-8>
- Núñez-Gómez, D., Rodrigues, C., Lapolli, F. R., y Lobo-Recio, M. A. (2021). Physicochemical characterization of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) waste as a low-cost chitinous biomaterial. *Journal of Polymers and the Environment*, 29(2), 576-587. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01887-5>
- Orantes, J. M. B., y Hernández, S. J. E. (2006). *Recopilación bibliográfica de materiales de envase primario, secundario y terciario, para las formas farmacéuticas líquidas, sólidas y semisólidas* [tesis de grado]. Universidad de El Salvador.
- Orkhis, S., y Ettaqi, S. (2022). Effects of alkali treatment on mechanical properties of chicken feather fiber/chitosan composites for packaging applications. *Waste and Biomass Valorization*, 13(4), 2309-2320. <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01630-8>
- Ortega-Santiago, Y., Julio-Rivas, S. A., Gómez, J. M. P., y Lozano-Rivera, D. (2023). El Ecodiseño: Un llamado a la conciencia en el uso de polímeros biodegradables y no biodegradables. *Gestión y Ambiente*, 26(1), 1-12. <https://doi.org/10.15446/ga.v26n1.110077>
- Oyarce, E., Cantero-López, P., Yañez, O., Roa, K., Boulett, A., Pizarro, G. D. C., Zhang, Y., Xu, C., Willför, S., y Sánchez, J. (2022). Nanocellulose bio-based composites for the removal of methylene blue from water: An experimental and theoretical exploration. *Journal of Molecular Liquids*, 357, 119089. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.119089>
- Pant, H. R., Risal, P., Park, C. H., Tijing, L. D., Jeong, Y. J., y Kim, C. S. (2013). Core-shell structured electrospun biomimetic composite nanofibers of calcium lactate/nylon-6 for tissue engineering. *Chemical Engineering Journal*, 221, 90-98. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.01.072>
- Parente, A. G., de Oliveira, H. P., Cabrera, M. P., y de Morais Neri, D. F. (2023). Bio-based polymer films with potential for packaging applications: A systematic review of the main types tested on food. *Polymer Bulletin*, 80(5), 4689-4717. <https://doi.org/10.1007/s00289-022-04332-w>
- Paul, E., Bessière, Y., Dumas, C., y Girbal-Neuhausser, E. (2021). Biopolymers Production from Wastes and Wastewaters by Mixed Microbial Cultures: Strategies for Microbial Selection. *Waste and Biomass Valorization*, 12(8), 4213-4237. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01252-6>
- Perez-Masia, R., Lopez-Rubio, A., Fabra, M. J., y Lagaron, J. M. (2013). Biodegradable polyester-based heat management materials of interest in refrigeration and smart packaging coatings. *Journal of Applied Polymer Science*, 130(5), 3251-3262. <https://doi.org/10.1002/app.39555>
- Perez-Masia, R., Ruben Lopez-Nicolas, Maria Jesús Periago, Gaspar Ros, Jose, Maria Lagaron, y Amparo Lopez-Rubio. (2015). Encapsulation of folic acid in food hydrocolloids through nanospray drying and electrospraying for nutraceutical applications. *Food chemistry*, 168, 124-133. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.051>
- Philp, A., Macdonald, A. L., y Watt, P. W. (2005). Lactate - a signal coordinating cell and systemic function. *Journal of Experimental Biology*, 208(24), 4561-4575. <https://doi.org/10.1242/jeb.01961>
- Pinto, A. M., Moreira, S., Gonçalves, I. C., Gama, F. M., Mendes, A. M., y Magalhães, F. D. (2013). Biocompatibility of poly(lactic acid) with incorporated graphene-based materials. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 104, 229-238. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2012.12.006>
- Priyadarshi, R., Kim, S. M., y Rhim, J. W. (2021). Pectin/pullulan blend films for food packaging: Effect of blending ratio. *Food Chemistry*, 347, 129022. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129022>

- Priyadarsini, M., Biswal, T., y Dash, S. (2021). Biodegradable superabsorbent with potential biomedical application as drug delivery system of “pectin-g-P(AN-co-AM)/chicken eggshell” bio-composite. *Polymer Bulletin*, 78(11), 6337-6349. <https://doi.org/10.1007/s00289-020-03424-9>
- Qiu, S., Zhou, Y., Waterhouse, G. I. N., Gong, R., Xie, J., Zhang, K., y Xu, J. (2021). Optimizing interfacial adhesion in PBAT/PLA nanocomposite for biodegradable packaging films. *Food Chemistry*, 334, 127487. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127487>
- Quiles-Carrillo, L., Montanes, N., Lagaron, J. M., Balart, R., y Torres-Giner, S. (2019). In Situ Compatibilization of Biopolymer Ternary Blends by Reactive Extrusion with Low-Functionality Epoxy-Based Styrene-Acrylic Oligomer. *Journal of Polymers and the Environment*, 27(1), 84-96. <https://doi.org/10.1007/s10924-018-1324-2>
- Rajan, K. P., Thomas, S. P., Gopanna, A., y Chavali, M. (2018). Polyhydroxybutyrate (PHB): A standout biopolymer for environmental sustainability. En L. M. T. Martínez, O. V. Kharisova, y B. I. Kharisov (eds.), *Handbook of Ecomaterials* (pp. 1-23). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48281-1_92-1
- Reddy, M. M., Vivekanandhan, S., Misra, M., Bhatia, S. K., y Mohanty, A. K. (2013). Biobased plastics and bionanocomposites: Current status and future opportunities. *Progress in Polymer Science*, 38(10-11), 1653-1689. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2013.05.006>
- Resano-Goizueta, I., Ashokan, B. K., Trezza, T. A., y Padua, G. W. (2018). Effect of nano-fillers on tensile properties of biopolymer films. *Journal of Polymers and the Environment*, 26(9), 3817-3823. <https://doi.org/10.1007/s10924-018-1260-1>
- Rhim, J. W., y Ng, P. K. W. (2007). Natural biopolymer-based nanocomposite films for packaging applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47(4), 411-433. <https://doi.org/10.1080/10408390600846366>
- Rincón, E., Espinosa, E., García-Domínguez, M. T., Balu, A. M., Vilaplana, F., Serrano, L., y Jiménez-Quero, A. (2021). Bio-active pectic polysaccharides from bay tree pruning waste: Sequential subcritical water extraction and application in active food packaging. *Carbohydrate Polymers*, 272, 118477. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118477>
- Riyajan, S. A. (2019). Environmentally friendly novel maleated poly(vinyl alcohol) grafted 1, 4-butanediol modified with biopolymer for encapsulation of capsaicin. *Journal of Polymers and the Environment*, 27(11), 2637-2649. <https://doi.org/10.1007/s10924-019-01542-8>
- Rodrigues, C., de Mello, J. M. M., Dalcanton, F., Macuvele, D. L. P., Padoin, N., Fiori, M. A., Soares, C., y Riella, H. G. (2020). Mechanical, thermal and antimicrobial properties of chitosan-based-nanocomposite with potential applications for food packaging. *Journal of Polymers and the Environment*, 28(4), 1216-1236. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01678-y>
- Rodríguez-Sánchez, I. J., Fuenmayor, C. A., Clavijo-Grimaldo, D., y Zuluaga-Domínguez, C. M. (2021). Electrospinning of ultra-thin membranes with incorporation of antimicrobial agents for applications in active packaging: A review. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 70(15), 1053-1076. <https://doi.org/10.1080/00914037.2020.1785450>
- Rohini, B., Padma Ishwarya, S., Rajasekharan, R., y VijayaKumar, A. K. (2020). Ocimum basilicum seed mucilage reinforced with montmorillonite for preparation of bionanocomposite film for food packaging applications. *Polymer Testing*, 87, 106465. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.106465>
- Rossi, S., Faccendini, A., Bonferoni, M. C., Ferrari, F., Sandri, G., Del Fante, C., Perotti, C., y Caramella, C. M. (2013). “Sponge-like” dressings based on biopolymers for the delivery of platelet lysate to skin chronic wounds. *International Journal of Pharmaceutics*, 440(2), 207-215. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2012.07.056>
- Rovera, C., Cozzolino, C. A., Ghaani, M., Morrone, D., Olsson, R. T., y Farris, S. (2018). Mechanical behavior of biopolymer composite coatings on plastic films by depth-sensing indentation – A nanoscale study. *Journal of Colloid and Interface Science*, 512, 638-646. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2017.10.108>
- Rukmanikrishnan, B., Ramalingam, S., Kim, S. S., y Lee, J. (2021). Rheological and anti-microbial study of silica and silver nanoparticles-reinforced k-carrageenan/hydroxyethyl cellulose composites for food packaging applications. *Cellulose*, 28(9), 5577-5590. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-03873-z>
- Sangeetha, V. H., Deka, H., Varghese, T. O., y Nayak, S. K. (2018). State of the art and future perspectives of poly(lactic acid) based blends and composites. *Polymer Composites*, 39(1), 81-101. <https://doi.org/10.1002/pc.23906>
- Satam, C. C., Irvin, C. W., Lang, A. W., Jallorina, J. C. R., Shofner, M. L., Reynolds, J. R., y Meredith, J. C. (2018). Spray-coated multilayer cellulose nanocrystal—Chitin Nanofiber films for barrier applications. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6(8), 10637-10644. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b01536>
- Scaffaro, R., Botta, L., Lopresti, F., Maio, A., y Sutura, F. (2017). Polysaccharide nanocrystals as fillers for PLA based nanocomposites. *Cellulose*, 24(2), 447-478. <https://doi.org/10.1007/s10570-016-1143-3>
- Scaffaro, R., Botta, L., Maio, A., Mistretta, M., y La Mantia, F. (2016). Effect of graphene nanoplatelets on the physical and antimicrobial properties of biopolymer-based nanocomposites. *Materials*, 9(5), 351. <https://doi.org/10.3390/ma9050351>
- Scholten, E., Moschakis, T., y Biliaderis, C. G. (2014). Biopolymer composites for engineering food structures to control product functionality. *Food Structure*, 1(1), 39-54. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2013.11.001>

- Sell, S. A., Wolfe, P. S., Garg, K., McCool, J. M., Rodriguez, I. A., y Bowlin, G. L. (2010). The use of natural polymers in tissue engineering: A focus on electrospun extracellular matrix analogues. *Polymers*, 2(4), 522-553. <https://doi.org/10.3390/polym2040522>
- Selvalakshmi, S., Mathavan, T., Selvasekarapandian, S., y Premalatha, M. (2017). Study on NH4I composition effect in agar-agar-based biopolymer electrolyte. *Ionics*, 23(10), 2791-2797. <https://doi.org/10.1007/s11581-016-1952-2>
- Serrano-Aroca, Á., Iskandar, L., y Deb, S. (2018). Green synthetic routes to alginate-graphene oxide composite hydrogels with enhanced physical properties for bioengineering applications. *European Polymer Journal*, 103, 198-206. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2018.04.015>
- Shahadat, M., Khan, M. Z., Rupani, P. F., Embrandiri, A., Sultana, S., Ahammad, S. Z., Wazed Ali, S., y Sreekrishnan, T. R. (2017). A critical review on the prospect of polyaniline-grafted biodegradable nanocomposite. *Advances in Colloid and Interface Science*, 249, 2-16. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2017.08.006>
- Sharma, B., Sandilya, A., Patel, U., Shukla, A., y Sadhu, S. D. (2021). A bio-inspired exploration of eco-friendly bael gum and guar gum-based bioadhesive as tackifiers for packaging applications. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 110, 102946. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2021.102946>
- Sharmila, G., Muthukumaran, C., Nayan, G., y Nidhi, B. (2013). Extracellular Biopolymer Production by *Aureobasidium pullulans* MTCC 2195 Using Jackfruit Seed Powder. *Journal of Polymers and the Environment*, 21(2), 487-494. <https://doi.org/10.1007/s10924-012-0459-9>
- Shen, J., Fatehi, P., y Ni, Y. (2014). Biopolymers for surface engineering of paper-based products. *Cellulose*, 21(5), 3145-3160. <https://doi.org/10.1007/s10570-014-0380-6>
- Sherafatkhan Azari, S., Alizadeh, A., Roufegarinejad, L., Asefi, N., y Hamishehkar, H. (2021). Preparation and characterization of gelatin/ε-glucan nanocomposite film incorporated with ZnO nanoparticles as an active food packaging system. *Journal of Polymers and the Environment*, 29(4), 1143-1152. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01950-1>
- Sikorska, W., Musioł, M., Zawidlak-Węgrzyńska, B., y Rydz, J. (2017). Compostable polymeric ecomaterials: Environment-friendly waste management alternative to landfills. En L. M. T. Martínez, O. V. Kharissova, y B. I. Kharisov (eds.), *Handbook of ecomaterials* (pp. 1-31). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48281-1_36-1
- Silva, G. G. D., Sobral, P. J. A., Carvalho, R. A., Bergo, P. V. A., Mendieta-Taboada, O., y Habitante, A. M. Q. B. (2008). Biodegradable films based on blends of gelatin and poly (vinyl alcohol): Effect of PVA type or concentration on some physical properties of films. *Journal of Polymers and the Environment*, 16(4), 276-285. <https://doi.org/10.1007/s10924-008-0112-9>
- Singh, S., Chunglok, W., Nwabor, O. F., Ushir, Y. V., Singh, S., y Panpipat, W. (2022). Hydrophilic biopolymer matrix antibacterial peel-off facial mask functionalized with biogenic nanostructured material for cosmeceutical applications. *Journal of Polymers and the Environment*, 30(3), 938-953. <https://doi.org/10.1007/s10924-021-02249-5>
- Siró, I., y Plackett, D. (2010). Microfibrillated cellulose and new nanocomposite materials: A review. *Cellulose*, 17(3), 459-494. <https://doi.org/10.1007/s10570-010-9405-y>
- Soares, R. M. D., Siqueira, N. M., Prabhakaram, M. P., y Ramakrishna, S. (2018). Electrospinning and electrospray of bio-based and natural polymers for biomaterials development. *Materials Science and Engineering: C*, 92, 969-982. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2018.08.004>
- Soe, M. T., Pongjanyakul, T., Limpongsa, E., y Jaipakdee, N. (2020). Modified glutinous rice starch-chitosan composite films for buccal delivery of hydrophilic drug. *Carbohydrate Polymers*, 245, 116556. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116556>
- Sofi, H. S., Ashraf, R., Khan, A. H., Beigh, M. A., Majeed, S., y Sheikh, F. A. (2019). Reconstructing nanofibers from natural polymers using surface functionalization approaches for applications in tissue engineering, drug delivery and biosensing devices. *Materials Science and Engineering: C*, 94, 1102-1124. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2018.10.069>
- Solikhin, A., Hadi, Y. S., Massijaya, M. Y., Nikmatin, S., Suzuki, S., Kojima, Y., y Kobori, H. (2018). Properties of poly(vinyl alcohol)/chitosan nanocomposite films reinforced with oil palm empty fruit bunch amorphous lignocellulose nanofibers. *Journal of Polymers and the Environment*, 26(8), 3316-3333. <https://doi.org/10.1007/s10924-018-1215-6>
- Sudesh, K., Abe, H., y Doi, Y. (2000). Synthesis, structure and properties of polyhydroxyalkanoates: Biological polyesters. *Progress in Polymer Science*, 25(10), 1503-1555. [https://doi.org/10.1016/S0079-6700\(00\)00035-6](https://doi.org/10.1016/S0079-6700(00)00035-6)
- Sukhlaaied, W., y Riyajan, S. A. (2016). Preparation and properties of a novel environmentally friendly film from maleated poly(vinyl alcohol) grafted with chitosan in solution form: The effect of different production factors. *Polymer Bulletin*, 73(3), 791-813. <https://doi.org/10.1007/s00289-015-1520-3>
- Sukhlaaied, W., y Riyajan, S. A. (2018). A novel environmentally compatible bio-based product from gelatin and natural rubber: Physical properties. *Journal of Polymers and the Environment*, 26(7), 2708-2719. <https://doi.org/10.1007/s10924-017-1161-8>
- Tabasum, S., Noreen, A., Maqsood, M. F., Umar, H., Akram, N., Nazli, Z. H., Chatha, S. A. S., y Zia, K. M. (2018). A review on versatile applications of blends and composites of pullulan with natural and synthetic polymers. *International Journal of Biological Macromolecules*, 120(Part A), 603-632. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.07.154>

- Tak, H. Y., Yun, Y. H., Lee, C. M., y Yoon, S. D. (2019). Sulindac imprinted mungbean starch/PVA biomaterial films as a transdermal drug delivery patch. *Carbohydrate Polymers*, 208, 261-268. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.12.076>
- Takács, T., Abdelghafour, M. M., Deák, Á., Szabó, D., Sebők, D., Dékány, I., Rovó, L., Kukovecz, Á., y Janovák, L. (2020). Surface wetting driven release of antifibrotic Mitomycin-C drug from modified biopolymer thin films. *European Polymer Journal*, 139, 109995. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2020.109995>
- Tambawala, H., Batra, S., Shirapure, Y., y More, A. P. (2022). Curcumin- a bio-based precursor for smart and active food packaging systems: A review. *Journal of Polymers and the Environment*, 30(6), 2177-2208. <https://doi.org/10.1007/s10924-022-02372-x>
- Thakur, S., Chaudhary, J., Sharma, B., Verma, A., Tamulevicius, S., y Thakur, V. K. (2018). Sustainability of bioplastics: Opportunities and challenges. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13, 68-75. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.04.013>
- Thivya, P., Bhosale, Y. K., Anandakumar, S., Hema, V., y Sinija, V. R. (2021). Exploring the Effective Utilization of Shallot Stalk Waste and Tamarind Seed for Packaging Film Preparation. *Waste and Biomass Valorization*, 12(10), 5779-5794. <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01402-4>
- Thulasingh, A., Kumar, K., Yamunadevi, B., Poojitha, N., Suhail-MadharHanif, S., y Kannaiyan, S. (2022). Biodegradable packaging materials. *Polymer Bulletin*, 79(7), 4467-4496. <https://doi.org/10.1007/s00289-021-03767-x>
- Tkaczewska, J., Kulawik, P., Jamróz, E., Guzik, P., Zając, M., Szymkowiak, A., y Turek, K. (2021). One- and double-layered furcellaran/carp skin gelatin hydrolysate film system with antioxidant peptide as an innovative packaging for perishable foods products. *Food Chemistry*, 351, 129347. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129347>
- Torres, F. G., Rodriguez, S., y Saavedra, A. C. (2019). Green Composite Materials from Biopolymers Reinforced with Agroforestry Waste. *Journal of Polymers and the Environment*, 27(12), 2651-2673. <https://doi.org/10.1007/s10924-019-01561-5>
- Trombino, S., Cassano, R., Ferrarelli, T., Leta, S., Puoci, F., y Picci, N. (2012). Preparation, characterization and efficacy evaluation of synthetic biocompatible polymers linking natural antioxidants. *Molecules*, 17(11), 12734-12745. <https://doi.org/10.3390/molecules171112734>
- Ubeda, S., Aznar, M., Nerín, C., y Kabir, A. (2021). Fabric phase sorptive extraction for specific migration analysis of oligomers from biopolymers. *Talanta*, 233, 122603. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2021.122603>
- Umesh, M., Santhosh, A. S., Shanmugam, S., Thazeem, B., Alharbi, S. A., Almoallim, H. S., Chi, N. T. L., y Pugazhendhi, A. (2022). Extraction, characterization, and fabrication of cellulose biopolymer sheets from Pistia stratiotes as a biodegradable coating material: An unique strategy for the conversion of invasive weeds into value-added products. *Journal of Polymers and the Environment*, 30(12), 5057-5068. <https://doi.org/10.1007/s10924-022-02511-4>
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2024). Global Waste Management Outlook 2024: Beyond an age of waste – Turning rubbish into a resource. *Isua Global Waste Management Outlook*. <https://www.unep.org/resources/global-waste-management-outlook-2024>
- Valbuena-Ussa, E. O. (2011). El análisis de contenido: De lo manifiesto a lo oculto. En *La investigación en ciencias sociales. Estrategias de investigación* (1.a ed., pp. 211-222). Universidad Piloto de Colombia.
- Vasilachis de Gialdino, I. (2006). *La investigación cualitativa*. En Estrategias de investigación cualitativa. Gedisa.
- Vasil'ev, M. P. (2007). Basic scientific and practical results and prospects for development of collagen-based biomaterials. *Fibre Chemistry*, 39(2), 114-121. <https://doi.org/10.1007/s10692-007-0025-8>
- Vega-Castro, O., León, E., Arias, M., Cesario, M. T., Ferreira, F., da Fonseca, M. M. R., Segura, A., Valencia, P., Simpson, R., Nuñez, H., y Contreras-Calderon, J. (2021). Characterization and production of a polyhydroxyalkanoate from cassava peel waste: manufacture of biopolymer microfibers by electrospinning. *Journal of Polymers and the Environment*, 29(1), 187-200. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01861-1>
- Vibha, K., y Negi, S. (2020). Enzymatic plasticising of lignin and styrene with adipic acid to synthesize a biopolymer with high antioxidant and thermostability. *Polymer Degradation and Stability*, 174, 109081. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2020.109081>
- Vidović, E., Faraguna, F., y Jukić, A. (2017). Influence of inorganic fillers on PLA crystallinity and thermal properties. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 127(1), 371-380. <https://doi.org/10.1007/s10973-016-5750-x>
- Villarreal, M. R., Navarro, D. A., Ponce, N. M. A., Rojas, A. M., y Stortz, C. A. (2021). Perennial halophyte Salicornia neei Lag.: Cell wall composition and functional properties of its biopolymers. *Food Chemistry*, 350, 128659. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128659>
- Virtanen, S., Chowreddy, R. R., Irmak, S., Honkapää, K., y Isom, L. (2017). Food Industry Co-streams: Potential Raw Materials for Biodegradable Mulch Film Applications. *Journal of Polymers and the Environment*, 25(4), 1110-1130. <https://doi.org/10.1007/s10924-016-0888-y>

- Visakh, P. M., y Thomas, S. (2010). Preparation of Bionanomaterials and their Polymer Nanocomposites from Waste and Biomass. *Waste and Biomass Valorization*, 1(1), 121-134. <https://doi.org/10.1007/s12649-010-9009-7>
- Volkova, T. V., Simonova, O. R., y Perlovich, G. L. (2022). Permeability of diverse drugs through a lipid barrier: Impact of pH and cyclodextrin. *Journal of Molecular Liquids*, 357, 119135. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.119135>
- Wang, D. Y., Li, H. J., Chen, X., Nie, B. L., y Wu, Y. C. (2022). Fabricating of grape seed proanthocyanidins loaded Zein-NaCas composite nanoparticles to exert effective inhibition of Q235 steel corrosion in seawater. *Journal of Molecular Liquids*, 348, 118467. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.118467>
- Wang, H., Li, Y., Zuo, Y., Li, J., Ma, S., y Cheng, L. (2007). Biocompatibility and osteogenesis of biomimetic nano-hydroxyapatite/polyamide composite scaffolds for bone tissue engineering. *Biomaterials*, 28(22), 3338-3348. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2007.04.014>
- Wang, X., Qu, P., y Zhang, L. (2014). Thermal and structure properties of biobased cellulose nanowhiskers/poly (lactic acid) nanocomposites. *Fibers and Polymers*, 15(2), 302-306. <https://doi.org/10.1007/s12221-014-0302-0>
- Wang, Y., Wang, X., Xie, Y., y Zhang, K. (2018). Functional nanomaterials through esterification of cellulose: A review of chemistry and application. *Cellulose*, 25(7), 3703-3731. <https://doi.org/10.1007/s10570-018-1830-3>
- Wazzan, N. (2021). Adsorption of non-steroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) on nanographene surface: Density functional theory study. *Arabian Journal of Chemistry*, 14(3), 103002. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103002>
- Wiącek, A. E., Jurak, M., Gozdecka, A., y Worzakowska, M. (2017). Interfacial properties of PET and PET/starch polymers developed by air plasma processing. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 532, 323-331. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2017.04.074>
- Williamson, K., y Hatzakis, E. (2019). NMR analysis of roasted coffee lipids and development of a spent ground coffee application for the production of bioplastic precursors. *Food Research International*, 119, 683-692. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.046>
- Wu, J. H., Wu, C. P., Kuo, M. C., y Tsai, Y. (2016). Characterization and Properties of Reactive Poly (Lactic Acid)/Ethylene-Vinyl Alcohol Copolymer Blends with Chain-Extender. *Journal of Polymers and the Environment*, 24(2), 129-138. <https://doi.org/10.1007/s10924-016-0755-x>
- Wu, L. T., Tsai, I. L., Ho, Y. C., Hang, Y. H., Lin, C., Tsai, M. L., y Mi, F. L. (2021). Active and intelligent gellan gum-based packaging films for controlling anthocyanins release and monitoring food freshness. *Carbohydrate Polymers*, 254, 117410. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117410>
- Xian, X., Wang, X., Zhu, Y., Guo, Y., y Tian, Y. (2018). Effects of MCC Content on the Structure and Performance of PLA/MCC Biocomposites. *Journal of Polymers and the Environment*, 26(8), 3484-3492. <https://doi.org/10.1007/s10924-018-1226-3>
- Xie, L., Xu, H., Wang, Z. P., Li, X. J., Chen, J. B., Zhang, Z. J., Yin, H. M., Zhong, G. J., Lei, J., y Li, Z. M. (2014). Toward faster degradation for natural fiber reinforced poly(lactic acid) biocomposites by enhancing the hydrolysis-induced surface erosion. *Journal of Polymer Research*, 21(3), 357. <https://doi.org/10.1007/s10965-014-0357-z>
- Xing, H., Zhang, T., Pan, F., y Liu, J. (2021). Application of Electrochemically Synthesized Zinc Oxide Nanorods/Fava Bean Starch biocomposite in Food Active Packaging. *International Journal of Electrochemical Science*, 16(3), 210357. <https://doi.org/10.20964/2021.03.32>
- Yadav, S., Mehrotra, G. K., Bhartiya, P., Singh, A., y Dutta, P. K. (2020). Preparation, physicochemical and biological evaluation of quercetin based chitosan-gelatin film for food packaging. *Carbohydrate Polymers*, 227, 115348. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115348>
- Yadav, S., Mehrotra, G. K., y Dutta, P. K. (2021). Chitosan based ZnO nanoparticles loaded gallic-acid films for active food packaging. *Food Chemistry*, 334, 127605. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127605>
- Yeo, J. C. C., Muiruri, J. K., Thitsartarn, W., Li, Z., y He, C. (2018). Recent advances in the development of biodegradable PHB-based toughening materials: Approaches, advantages and applications. *Materials Science and Engineering: C*, 92, 1092-1116. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.11.006>
- Yi, L., Luo, S., Cui, L., Budai-Szücs, M., Móczó, J., y Pukánszky, B. (2022). Processes taking place during the preparation and use of electrospun PLA fibers and their effect on controlled drug release. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 147(23), 13191-13199. <https://doi.org/10.1007/s10973-022-11554-7>
- York, A., Kirkland, S., y McCormick, C. (2008). Advances in the synthesis of amphiphilic block copolymers via RAFT polymerization: Stimuli-responsive drug and gene delivery. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 60(9), 1018-1036. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2008.02.006>
- Yu, J., Zhu, Y., Ma, H., Liu, L., Hu, Y., Xu, J., Wang, Z., y Fan, Y. (2019). Contribution of hemicellulose to cellulose nanofiber-based nanocomposite films with enhanced strength, flexibility and UV-blocking properties. *Cellulose*, 26(10), 6023-6034. <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02518-6>
- Zafar, F., Sharmin, E., Zafar, H., Shah, M. Y., Nishat, N., y Ahmad, S. (2015). Facile microwave-assisted preparation of waterborne polyesteramide/OMMT clay bio-nanocomposites for protective coatings. *Industrial Crops and Products*, 67, 484-491. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.01.057>

- Zahiri Oghani, F., Tahvildari, K., y Nozari, M. (2021). Novel antibacterial food packaging based on chitosan loaded ZnO nano particles prepared by green synthesis from nettle leaf extract. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 31(1), 43-54. <https://doi.org/10.1007/s10904-020-01621-7>
- Zhang, D., Chen, L., Cai, J., Dong, Q., Din, Z., Hu, Z. Z., Wang, G. Z., Ding, W. P., He, J. R., y Cheng, S. Y. (2021). Starch/tea polyphenols nanofibrous films for food packaging application: From facile construction to enhance mechanical, antioxidant and hydrophobic properties. *Food Chemistry*, 360, 129922. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129922>
- Zhang, Q., Li, D., Zhang, H., Su, G., y Li, G. (2018). Preparation and properties of poly(lactic acid)/sesbania gum/nano-TiO₂ composites. *Polymer Bulletin*, 75(2), 623-635. <https://doi.org/10.1007/s00289-017-2059-2>
- Zhang, Y., Chan, H. F., y Leong, K. W. (2013). Advanced materials and processing for drug delivery: The past and the future. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 65(1), 104-120. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2012.10.003>
- Zhao, W., Liang, X., Wang, X., Wang, S., Wang, L., y Jiang, Y. (2022). Chitosan based film reinforced with EGCG loaded melanin-like nanocomposite (EGCG@MNPs) for active food packaging. *Carbohydrate Polymers*, 290, 119471. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119471>
- Zheng-Yang He, -Chen, Q., Wu, Y.-T., & Pan, Z.-J. (2020). Biopolymer Composite Nanofibers Electrospun from Regenerated Silk Fibroin and PHBV: Fabrication Method, Morphology and Thermal Stability. *Polymer Science, Series A*, 62(6), 648-659. <https://doi.org/10.1134/S0965545X2006005X>
- Zia, F., Zia, K. M., Zuber, M., Kamal, S., y Aslam, N. (2015). Starch based polyurethanes: A critical review updating recent literature. *Carbohydrate Polymers*, 134, 784-798. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.08.034>
- Zia, K. M., Tabasum, S., Nasif, M., Sultan, N., Aslam, N., Noreen, A., y Zuber, M. (2017). A review on synthesis, properties and applications of natural polymer based carrageenan blends and composites. *International Journal of Biological Macromolecules*, 96, 282-301. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.11.095>
- Zou, Y., Zhang, C., Wang, P., Zhang, Y., y Zhang, H. (2020). Electrospun chitosan/polycaprolactone nanofibers containing chlorogenic acid-loaded halloysite nanotube for active food packaging. *Carbohydrate Polymers*, 247, 116711. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116711>

ACTITUD ÉTICA DE LOS SERVIDORES PÚBLICOS ANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA ARMONIZACIÓN CONTABLE

THE ETHICAL ATTITUDE OF PUBLIC SERVANTS BEFORE THE IMPLEMENTATION OF THE ACCOUNTING HARMONIZATION



¹Margarita Aurora Trinidad-Hernández

²Germán Martínez Prats

³Candelaria Guzmán Fernández

^{1,2,3}Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Cómo citar: Trinidad, M. A., Martínez Prats, G. ., & Guzmán Fernández, C. (2025).
Actitud ética de los Servidores Públicos ante la implementación de la Armonización Contable.
Publicaciones E Investigación, 19(2). <https://doi.org/10.22490/25394088.10107>

Recibido 07 Octubre 2025, Aprobado 12 Diciembre 2025

RESUMEN

Este artículo analiza cómo la actitud ética en los servidores públicos (SP) interviene en la aplicación de la armonización contable (AC); se desarrolla mediante una investigación de enfoque mixto (cuantitativa y cualitativa). El alcance del estudio es de tipo explicativo, por lo que mide el efecto de la actitud ética de los servidores públicos ante la armonización contable de los entes de gobierno del estado de Tabasco. Este efecto se evalúa a través de un modelo de ecuaciones estructurales (SEM) como método estadístico para el modelado y prueba de la hipótesis de la investigación; se aplica análisis, criterio y razonamiento de los resultados obtenidos por el investigador, para lograr una investigación completa y profunda, mediante codificación abierta y axial en Atlas.ti 9.0 y ajuste del modelo mediante el *software* AMOS.

Palabras clave: actitud; efecto; guía de acción; armonización contable.

ABSTRACT

This article analyzes how the ethical attitudes of public servants (PS) influence the implementation of accounting harmonization (AH); it is based on a mixed-methods study (quantitative and qualitative). The study is explanatory in nature, measuring the effect of public servants' ethical attitudes on accounting harmonization in government entities in the state of Tabasco. This effect is evaluated using a structural equation model (SEM) as the statistical method

¹ División Académica de Ciencias Económico-Administrativas, México <https://orcid.org/0000-0002-7468-7293>

² División Académica de Ciencias Económico-Administrativas, México <https://orcid.org/0000-0001-6371-448X>

³ División Académica de Ciencias Económico-Administrativas, México <https://orcid.org/0000-0002-6144-7397>



for modeling and testing the research hypothesis; the researcher applies analysis, criteria, and reasoning to the results obtained to achieve comprehensive and in-depth study, using open-ended and axial coding in Atlas.ti 9.0 and model fitting using AMOS software.

Keywords: *commitment, teamwork, public servant values, transparency.*

1. INTRODUCCIÓN

La contabilidad, a lo largo del tiempo, ha traspasado fronteras entre países y continentes. Esto ha sido posible gracias a que existen usuarios de esta información en los lugares del país donde se encuentra ubicada la empresa, la cual informa sobre la gestión realizada y su efecto en la posición financiera y económica de esta (Tello, 2015).

De acuerdo al Diario Oficial de la Federación (DOF, 2021), se indica que la hace referencia que Ley General de Contabilidad Gubernamental (LGCG) ha estado vigente desde el 2009. Durante dicho periodo ha experimentado un total de cuatro reformas; la primera y más significativa se dio el 12 de noviembre del 2012; posteriormente, el 9 de diciembre del 2013, el 30 de diciembre del 2015 y el 27 de abril del 2016.

De acuerdo con lo publicado en la página oficial del CONAC, se han emitido más de ochenta acuerdos normativos hasta la actualidad, entre los cuales se encuentran:

- Postulados básicos de contabilidad gubernamental.
- Marco conceptual de contabilidad gubernamental.
- Plan de cuentas.
- Normas de patrimonio.
- Clasificaciones presupuestales.
- Normas para presentación de estados financieros.
- Normas de consolidación.

- Difusión de la información financiera gubernamental.
- Reglas de registro.
- Normas de evaluación al desempeño.

Todo ello con el fin de mejorar lo que conlleva el proceso de ejecución de la armonización contable. En este sentido, dentro de las mejoras realizadas a la LGCG, se busca estandarizar y homologar todos los procesos contables y financieros en tiempo real para garantizar las cuentas públicas confiables y transparentes.

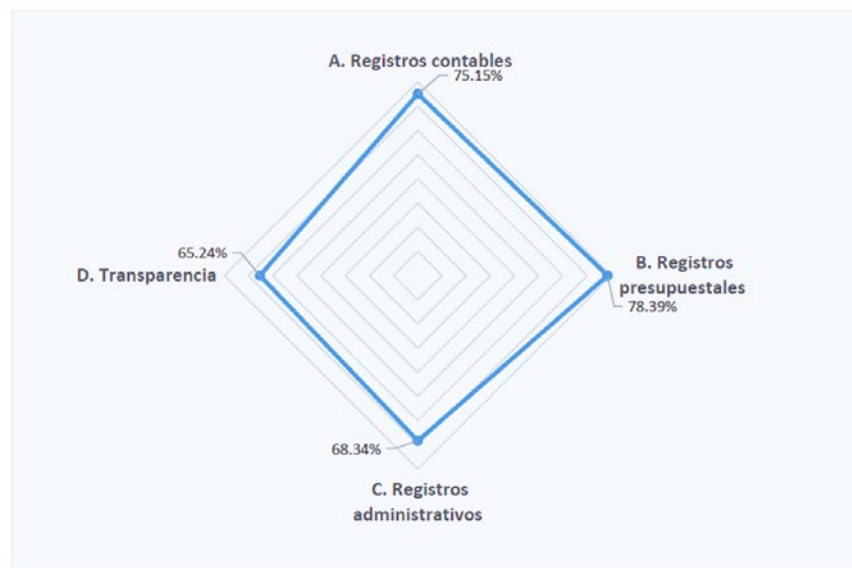
Por lo tanto, esta investigación analiza el grado en que influye la actitud ética del SP en el cumplimiento y desarrollo de la aplicación de la armonización contable.

Revisión de literatura

Con la entrada en vigor en México, desde el 2009, de la Ley General de Contabilidad Gubernamental (LGCG) como normativa de observancia obligatoria para los entes públicos, es importante mencionar que a partir del 2014 las entidades federativas y sus entes públicos tuvieron plazo para concluir con el proceso de implementación de armonización contable. Sin embargo, de acuerdo con la última cifra publicada por el órgano rector, el Consejo Nacional de Armonización Contable (CONAC, 2021a), se pueden apreciar los avances mostrados en la figura 1.

De acuerdo con los hallazgos de Dávila-Flores (2020), se observa que no existe una relación directa

Figura 1. Evaluación de la armonización contable 2019



Nota. El gráfico representa la evaluación de la armonización contable correspondiente al cuarto periodo del 2019, la cual fue revisada por la Entidad de Fiscalización Superior Local a través del Sistema de Evaluaciones de la Armonización Contable (SEvAC).

Fuente: Consejo Nacional de Armonización Contable (CONAC, 2021a).

entre el porcentaje de cumplimiento y los montos observados por la Auditoría Superior de la Federación (ASF); sin embargo, sí existen conceptos que son observados y que muestran incumplimiento a la LGCG y su normatividad. Estos hechos justifican que es indispensable que los entes públicos identifiquen las causas de las observaciones y fortalezcan sus controles internos para evitar las irregularidades. De no ser así, podrían ser acreedores de procedimientos de responsabilidad administrativa o causar daño a la hacienda pública federal.

Los resultados de la investigación de Cárdenas y Rivera (2021) confirmaron que la práctica de la actitud ética de los servidores públicos tiene relación con su desempeño laboral, pues refleja mayor interés en el compromiso institucional. Es decir, los funcionarios se sienten comprometidos con los objetivos de la institución y muestran sentido de pertenencia con ella; asimismo, como también muestran mejoras en la productividad diaria, al reconocer que esta es la manera en que contribuyen al éxito institucional.

Cabe señalar, que en la investigación antes mencionada, se midió el grado de correlación de las variables actitud ética y desempeño laboral, pero no se estudió el impacto del grado de satisfacción de los usuarios, el cual podría coadyuvar un mejor análisis de la investigación debido a que podría demostrarse la relación entre el cumplimiento de las funciones laborales bajo las normas establecidas y la satisfacción de los usuarios.

Para poner en contexto la temática del presente estudio —Actitud ética de los servidores públicos ante la ejecución de la armonización contable en México— es necesario especificar sus variables del mismo, la primera es la actitud de los servidores públicos y la segunda es la ética profesional.

Actitud de los servidores públicos

La percepción que tienen las personas sobre el Estado muchas veces no responde a las expectativas de la población. Esto puede deberse a diversos factores, además de los cambios sociales en el mundo laboral por los avances tecnológicos, cambios políticos, aspectos

económicos, entre otros, como la actitud de los servidores públicos.

De acuerdo con la problemática de la presente investigación, la ejecución de la contabilidad gubernamental en México ha presentado un avance poco significativo debido a la inadecuada actitud de algunos de los servidores de los entes públicos.

Nolasco y Delgado (2020) manifiestan que los servidores públicos constituyen el recurso humano que será protagonista de la implementación jurídica correspondiente. Sin embargo, estos pueden asumir una actitud positiva o negativa frente a la implementación de la norma. De conformidad con la Ley de Servidores Públicos, dicha situación es inconcebible, pero es real.

Ética profesional

Los temas relacionados con la transparencia, la rendición de cuentas y el combate a la corrupción han cobrado relevancia en el debate público en México, debido a que la corrupción es una afectación costosa para la sociedad, ya que quebranta el desarrollo económico al disminuir la inversión, la calidad de los servicios prestados y la infraestructura gubernamental. Esto, a su vez, afecta la calidad de vida de la sociedad (Atondo, 2018).

Se ha apreciado en investigaciones y conferencias que, en la intervención y ejecución de los recursos públicos, ocurren conductas de incumplimiento por parte de los funcionarios públicos; por ello, se requiere de capacitación basada en ética y valores para los servidores públicos. La ética, indudablemente, es un elemento clave para elevar la calidad de la administración pública mediante una conducta honesta e íntegra de sus funcionarios.

Ley de Responsabilidades de los Servidores Públicos

En la Ley de Responsabilidades de los Servidores Públicos (LRSP) (Ley Federal de Responsabilidad de los Servidores Públicos, 2024), el artículo 47 menciona que todo servidor público tendrá las siguientes

obligaciones para salvaguardar la legalidad, honradez, lealtad, imparcialidad y eficiencia que deben ser observadas en el desempeño de su empleo, cargo o comisión, y cuyo incumplimiento dará lugar al procedimiento y a las sanciones que correspondan, sin perjuicio de sus derechos laborales (DOF, 2019).

Esto permite establecer un orden, una responsabilidad y obligatoriedad para quienes interactúan en los subsistemas, así como una congruencia entre la normatividad y los hechos debido a su ejercicio, con base en la comunicación como eje principal en la dinámica de cada subsistema en la institución para llevar a cabo la armonización contable (Ackoff, 2008).

Transparencia fiscal

La transparencia y la rendición de cuentas en el sector público surgen como consecuencia de la lucha de la sociedad civil por resguardar su derecho a la información. Así, estos principios se elevan a rango de ley para garantizar a todo ciudadano el derecho de acceso a la información pública mediante procedimientos sencillos y expeditos.

Como resultado de la adquisición de responsabilidades, la transferencia de recursos y la capacidad de toma de decisiones por parte de los gobiernos subnacionales, también se vuelve indispensable un sano ejercicio de la transparencia fiscal mediante una rendición de cuentas que se interrelacione con los diferentes órdenes de gobierno y que, además, impulse una mayor participación ciudadana en el corto y mediano plazo (Becerra, 2020).

Los argumentos antes expuestos permiten entender la necesidad de que la armonización contable gubernamental se ejecute en tiempo y forma para favorecer una rendición de cuentas eficiente; sin embargo, la realidad actual impera en México es distinta.

Valores

Arteaga y Ramón (2009) expresan que la inteligencia emocional puede entenderse como la capacidad de

una persona para reconocer los propios sentimientos, manejar sus emociones para mantenerse optimista y motivada, y fundamentar con ello la habilidad para reconocer en otras las diferentes condiciones emocionales. Esta capacidad puede utilizarse para desarrollar relaciones interpersonales efectivas con el propósito de favorecer el trabajo en conjunto en pro de la consecución de metas comunes.

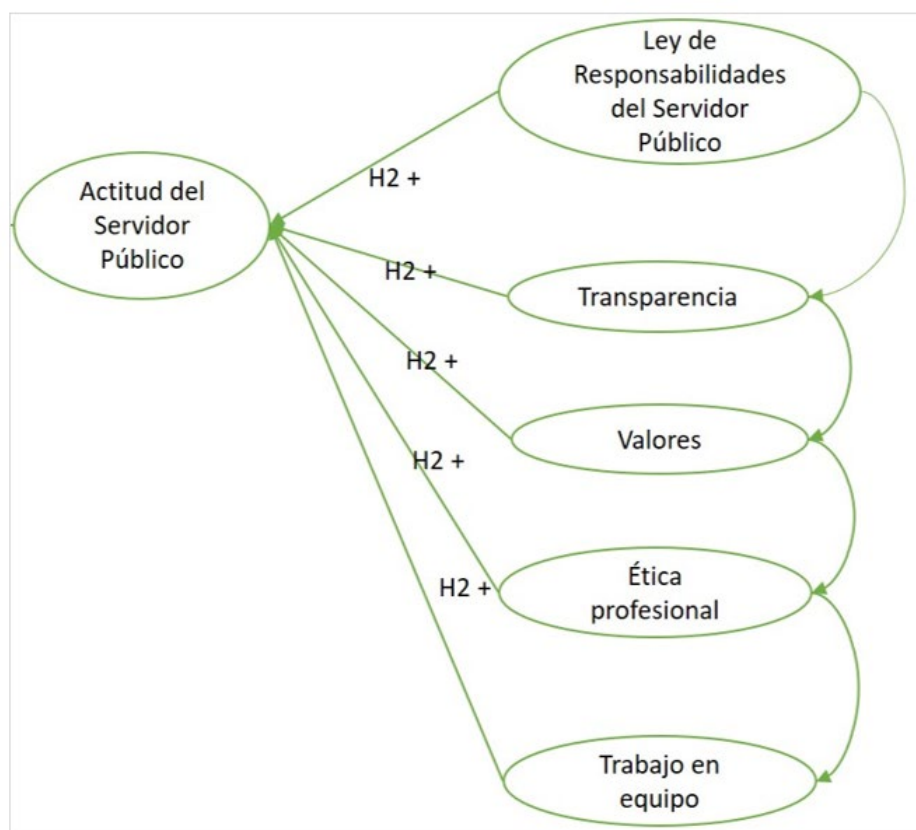
En relación con lo destacado por Atondo (2018), el autor enfatiza que, dentro de la administración pública, el objetivo de la ética es la adopción de códigos de valores y conducta tomando como base la integridad, la honradez, el honor y la cortesía de los servidores públicos para robustecer las estructuras institucionales.

Por estas razones, es indispensable fomentar dichos valores y darles un seguimiento adecuado.

Modelo teórico

En la revisión de la literatura se encontró la variable “actitud ética del SP” con sus respectivas dimensiones, como la Ley de Responsabilidades del SP, transparencia, valores, trabajo en equipo; donde el constructo actitud del SP se encuentra relacionado de manera directa con la aplicación de la armonización contable. De esta forma, cuando dicho factor es positivo, es un gran apoyo para su ejecución, tal como se muestra en la figura 2.

Figura 2. Modelo teórico de acuerdo con los diversos autores consultados en la literatura



Nota. Modelo teórico de acuerdo a la revisión de la literatura, en el cual se presenta la variable con sus dimensiones.

Fuente: elaboración propia con base en datos de Nolasco y Delgado (2020), Atondo (2018), Becerra (2020), Arteaga y Ramón (2009).

En la teoría fundamentada dentro del contexto de la administración pública este constructo interviene con sus respectivas dimensiones a la ejecución de la AC. Así, la forma en que intervenga determinará cómo influye en el proceso de aplicación de la misma en los sujetos obligados al cumplimiento de la LGCG.

2. METODOLOGÍA

La investigación aplicada es mixta, por lo que incluye el enfoque cualitativo y cuantitativo, lo cual permitió obtener mejor contraste en los resultados, conclusiones y recomendaciones.

En el enfoque cualitativo de la investigación, se utilizó la teoría fundamentada, la cual permite realizar un análisis exhaustivo de la información recabada a través de la entrevista estructurada aplicada a los sujetos de esta investigación. La muestra estuvo conformada por tres participantes con las siguientes características.

- Dos directores del área financiera
- Un director del área contable

La muestra seleccionada fue no probabilista por conveniencia; por lo tanto, se eligieron tres dependencias gubernamentales del estado de Tabasco, sujetas a la LGCG, todas ellas organismos descentralizados.

En el enfoque cuantitativo, la investigación se delimitó de la siguiente manera: es una investigación no experimental que aplica la observación y el análisis de los objetos de estudio, de modo que no permite la manipulación de las variables (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018). Asimismo, se considera de tipo transversal, debido a que la medición de las variables es una sola vez y en un único momento en el tiempo ... (Landerero y González, 2016). El método utilizado es deductivo, tal como comenta Bernal (2010), quien señala que se parte de una idea y se delimita gradualmente, tal como ocurrió en esta investigación. El alcance del estudio es de tipo explicativo, ya que mide el efecto que tiene la actitud ética de los servidores públicos ante la armonización contable en los entes de gobierno del estado de Tabasco. Este efecto se evaluó a través de un modelo de ecuaciones estructurales (SEM) como método estadístico para el modelado y prueba de la hipótesis de la investigación.

El tipo de muestreo se determinó debido al comportamiento de la población. Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) mencionan que, al utilizar una muestra probabilística, los datos pueden extrapolarse a la población con una estimación precisa del error. El tipo de muestreo utilizado para el enfoque cuantitativo fue aleatorio simple, tomando en cuenta que la población es finita, estimándose un nivel de confianza del 95 % y un error de 5 %. La ecuación utilizada fue la siguiente:

$$n = \frac{Z^2 N p q}{E^2 (N - 1) + Z^2 p q}$$

Donde

Z = Factor del coeficiente de confianza
N = Universo o población
n = Tamaño de la muestra
p = Probabilidad a favor
q = Probabilidad en contra
E = Error de estimación

Sustituyendo

Z = 1.96 → 95%
N = 1064
n = ?
p = .50
q = .50
E = 0.5

Se sustituyó la fórmula con los datos obtenidos de la población, de acuerdo con las características de los entes de gobierno sujetos al cumplimiento de la LGCG en el estado de Tabasco, integrados por un director, dos financieros, dos contadores y cinco operativos, todos relacionados directamente con el proceso de AC en los entes de gobierno.

$$n = \frac{((1.96)^2 (1064) (.50) (.50))}{(((0.05)^2 (1064-1) + (1.96)^2 (.50) (.50))} \\ = 282 \text{ encuestas que aplicar}$$

De estas, solo se aplicaron 235. En el momento de la aplicación de la encuesta y la entrevista, las instituciones gubernamentales se encontraban en auditoría, tanto interna como de la Función Pública.

No se aplicaron todas debido a la indisponibilidad de algunas instituciones gubernamentales, debido a que se encontraban bajo auditorías internas y externas, o mostraron hermetismo en relación con el tema de AC.

El *software* utilizado para el desarrollo de la investigación fue Atlas.ti 9.0, el cual facilitó el análisis de la información obtenida mediante la entrevista estructurada que se aplicó a los sujetos de estudio.

Se empleó como instrumento de investigación no estandarizado la entrevista estructurada, la cual se caracteriza porque se realizan las mismas preguntas a todos los entrevistados, con la misma formulación y en el mismo orden. No obstante, los entrevistados tienen plena libertad para responder como deseen; se trata de un cuestionario de preguntas abiertas (Corbetta, 2010). De este modo, para comprender en su totalidad la problemática de la investigación, se estableció la idea principal de la entrevista, lo que permitió profundizar en la temática.

Para el enfoque cuantitativo, se aplicó el cuestionario como instrumento de investigación, mediante el cual se realizó el análisis estadístico en el *software* IBM

SPSS Statistics 25.0, que permitió obtener información relevante para la investigación.

Para comprender mejor los conceptos relacionados con el tema de investigación se utilizó la teoría fundamentada, analizando la información obtenida durante la entrevista. Se desarrollaron la codificación abierta y coaxial, lo que permitió realizar las comparaciones entre los datos, los códigos, las categorías y las subcategorías, con el fin de dar una estructura y orden a los hallazgos más representativos. La información fue digitalizada para su procesamiento en el *software*. Posteriormente, después de la codificación, se elaboró el diagrama de Sankey y la tabla de correlación de las categorías, junto con su diagrama de red semántica y sus respectivas categorías y subcategorías.

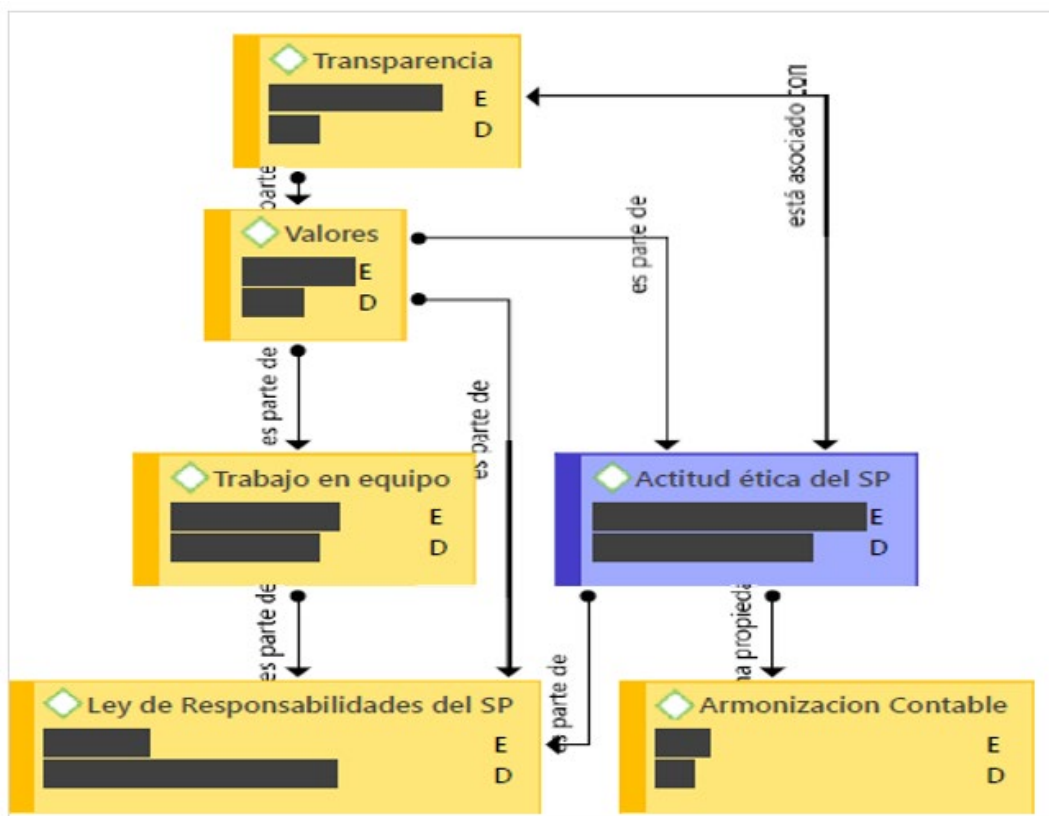
En el enfoque cuantitativo se aplicó el modelo SEM, el cual cumple con el criterio de cantidad absoluta, tal como señalan Halabí y Esquive (2017), quienes estipulan que, para validar al modelo propuesto y evitar estimaciones no precisas, es necesario contar con muestras grandes, de al menos 200 elementos analizados. Para este enfoque se utilizó el cuestionario como instrumento de investigación.

3. RESULTADOS

En primera instancia, el proceso de la investigación permitió acercarse a la realidad de lo que actualmente algunas de las entidades federativas están viviendo con la aplicación de la armonización contable. De ello deriva la actitud ética del servidor público para dar cumplimiento a la Ley General de Contabilidad Gubernamental (LGCG) y a la aplicación de la armonización contable en los procesos contables y financieros de las instituciones gubernamentales en las que prestan sus servicios bajo una remuneración económica, es decir, en aquellas en las que se encuentran inscritos dentro de una institución pública de cualquiera de los tres órdenes de gobierno: federal, estatal y municipal.

Se realizó la clasificación de las categorías y subcategorías de acuerdo al análisis de la información obtenida mediante la entrevista, tal como se muestra en la siguiente figura.

Figura 3. Matriz de categorías y subcategorías



Nota. Red semántica de categorías, subcategorías, nivel de incidencia y correlación realizada a través del software Atlas.ti 9.0.

Fuente: elaboración propia.

La variable dependiente, llamada “actitud ética del servidor público”, tiene como variables independientes la transparencia, los valores, el trabajo en equipo y la armonización contable. Presenta un alto grado de concurrencia la variable “gestión del conocimiento, trabajo en equipo y transparencia”, la cual forma parte de la actitud ética del servidor público.

A continuación, se muestra el diagrama de Sankey, el cual permitió observar el comportamiento de las categorías y subcategorías, así como las correlaciones entre ellas y su grado de importancia con relación a la ética del servidor público en la ejecución de la armonización contable.

De acuerdo con la figura 3, se puede observar la categoría “actitud ética del servidor público” y su comportamiento en relación con las subcategorías. Se identifica que la actitud ética del SP se encuentra altamente correlacionada con el trabajo en equipo; es decir, a mayor ética desarrollada por el SP, mejor será el trabajo en equipo, de manera que sus compañeros pueden verse influenciados por su comportamiento ético en la ejecución de la armonización contable.

En la figura 5, se muestra la tabla de coocurrencias, donde se muestra la alta coocurrencia entre los constructos; las categorías y las subcategorías.

Figura 4. Diagrama de Sankey de las categorías y subcategorías



Nota. Diagrama de análisis del comportamiento de las categorías con las subcategorías realizada a través del *software* Atlas.ti 9.0.

Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Coocurrencias entre las categorías y subcategorías

	● Actitud... n 14	● Armoni... n 2	● Trabajo... n 8	● Transpa... n 10	● Valores n 13
● Actitud éti... n 14		1 (0.07)	3 (0.16)		1 (0.04)
● Armonizac... n 2	1 (0.07)				
● Ley de Res... n 3					
● Trabajo en... n 8	3 (0.16)				3 (0.17)
● Transparen... n 10					1 (0.05)
● Valores n 13	1 (0.04)		3 (0.17)	1 (0.05)	

Nota. Coocurrencias de las subcategorías y categorías, analizadas a través del *software* Atlas.ti 9.0.

Fuente: elaboración propia.

En la figura se observan los niveles de coocurrencias entre las subcategorías. Así, se identifica que el trabajo en equipo presenta coocurrencias con la actitud del SP, mientras que la subcategoría valores presenta coocurrencias en relación con el trabajo en equipo.

Por otra parte, el análisis de la información obtenida en la investigación cuantitativa se realizó por medio del *software* SPSS IBM, en donde se obtuvieron los resultados del análisis de las variables sociodemográficas.

Al aplicar el instrumento de investigación, se realizó una prueba piloto con 32 cuestionarios aplicados, con la participación voluntaria de población que no formó parte de la muestra principal. Participaron algunos municipios del estado de Tabasco, obteniendo los siguientes resultados. Los valores del alfa de Cronbach por constructo y por dimensiones se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4. Fiabilidad del instrumento

Constructo	Dimensiones	Alfas de Cronbach
Actitud ética del SP	*Transparencia	.85
	*Ley General de responsabilidad del SP	.84
	*Ética profesional	.86
	*Trabajo en equipo	.79
	*Valores	.82

Nota. Datos de la fiabilidad del instrumento, calculados en el software SSP, con datos recolectados en el pilotaje.
Fuente: elaboración propia.

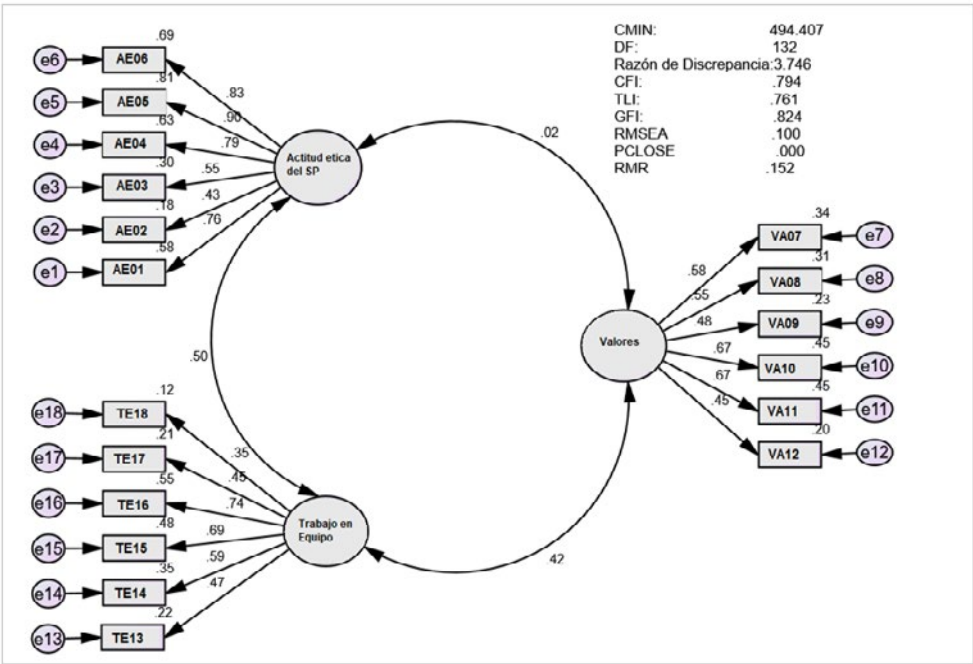
El instrumento se evaluó de dos maneras: primero, mediante la revisión de la literatura, estableciendo las escalas para su medición; y segundo, a través de una evaluación realizada por ocho expertos, lo que permitió contar con un instrumento más adaptado, eficiente, claro y coherente.

Para la validez de estructura se realizó el Análisis Factorial Exploratorio (AFE), aplicado con el método de verosimilitud y rotación oblimin directo. El índice de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) obtuvo como

resultado KMO = .88, y para el análisis confirmatorio (AC) el KMO fue de .89, con una prueba de esfericidad de Bartlett significativa ($p = .000$). Esto indica que la matriz de correlación difiere de la matriz de identidad, por lo que es viable realizar un análisis multivariante.

En la siguiente figura se muestran los constructos o factores correlacionados, como la “actitud ética del SP” (AE), el “trabajo en equipo” (TE) y los “valores” (VA).

Figura 6. Modelo de acuerdo al análisis de la información



Nota. Coeficientes estandarizados del modelo sin ajuste, realizado en IBM SSP AMOS 23.0.
Fuente: elaboración propia.

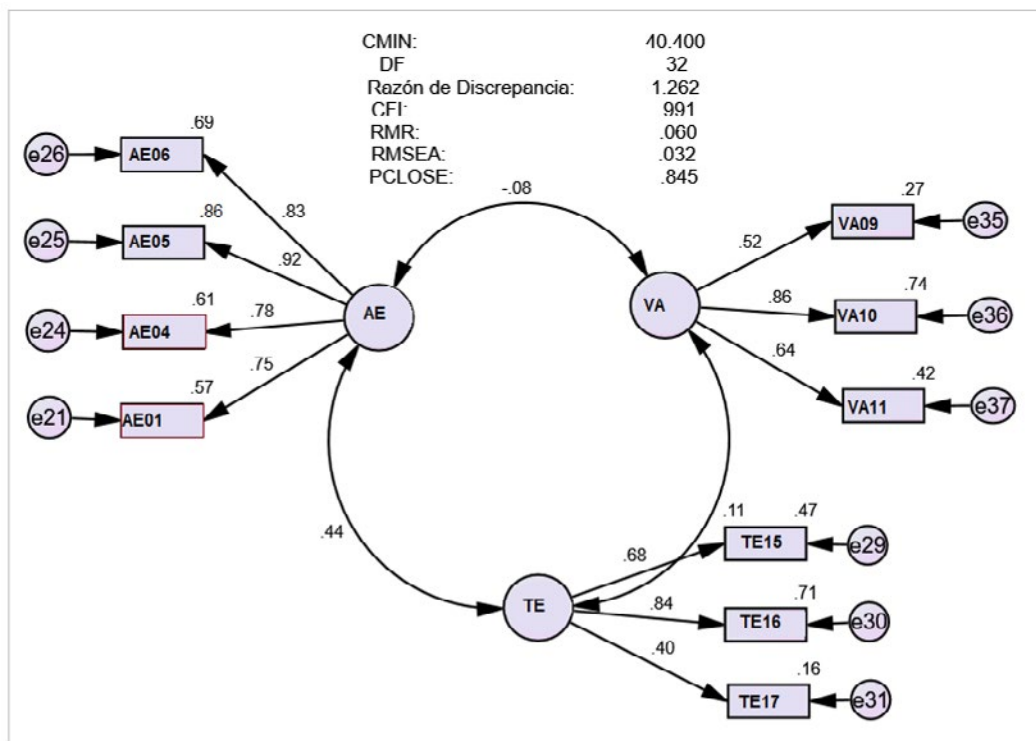
En este modelo se observa la medición del constructo AE y la correlación entre los tres factores. Sin embargo, los valores asociados a la prueba Chi-cuadrada y a los índices de ajuste no son óptimos: $\chi^2 = 494.41$, $gl = 132$, $p = .000$; CMIN = 3.75; SRMR = .15; AGFI = .77; CFI = .79; RMSEA = 0.10. Esto indica que el modelo inicial no es el apropiado, por lo que

se procedió a realizar un ajuste del modelo propuesto con el fin de mejorar los resultados obtenidos.

Ajuste del modelo

Al analizar el modelo anterior, se determinó que no es apropiado debido a los valores que este presenta. Por

Figura 7. Modelo ajustado de los constructos analizados



Nota. Resultado de los coeficientes con el modelo ajustado, realizado en IBM SSP AMOS 23.0.

Fuente: elaboración propia.

ello, se realizó un ajuste al modelo, el cual se muestra en la figura 7.

Al realizar el AFC y el análisis de los resultados obtenidos sobre las covarianzas entre cada una de las dimensiones de los constructos, con el fin de comprobar la validez de estructura, se integró el modelo realizando los ajustes necesarios, dejando los constructos con sus respectivos ítems. En la figura 7 podemos observar que las dimensiones que se conservaron fueron

AE, VA y TE. El constructo AE quedó conformado por tres ítems, VA obtuvo también tres ítems y el constructo TE contiene tres ítems (el e29, e30, e31) después del ajuste del modelo.

Discusión de resultados

Para el logro de la armonización contable es relevante el trabajo en equipo, sustentado en la aplicación de valores durante la ejecución de los procesos

armonizados. La ética de los SP se relaciona con los valores y el clima laboral, lo cual influye directamente en la ejecución de la armonización contable. Así, el trabajo en equipo, los valores y la importancia de la armonización contable se encuentran relacionadas de tal forma que, si existe ética en los SP, los procesos se llevarán a cabo de una mejor manera y se procurará el cumplimiento de la LGCG en sus tiempos y ejecución. Esto no quiere decir que la AC dependa exclusivamente de la actitud ética de los SP, pero sí que dicha actitud es uno de los factores que intervienen en su ejecución y que, mediante estrategias adecuadas, puede convertirse en un pilar importante para el logro de la ejecución de la AC.

Cárdenas y Rivera (2021) han comentado que la práctica de la actitud ética de los SP se relaciona con su desempeño laboral. En esta investigación se corroboró lo que los autores plantean.

Por otra parte, los resultados muestran que la actitud ética del SP está muy relacionada con el trabajo en equipo que desempeña, con la gestión del conocimiento el clima laboral, los valores y la importancia que se le atribuye a la ejecución de la armonización contable en México.

Se puede afirmar que, para que esto se lleve a cabo, es necesario que el SP se comprometa con los tiempos de entrega y con el desempeño de los procesos armonizados, a fin de lograr los objetivos de las entidades de gobierno en sus tres niveles: federal, estatal y municipal.

Se coincide con lo que mencionan Cárdenas y Rivera (2021) respecto a que el SP debe tener un sentido de compromiso con el cumplimiento de los objetivos institucionales y sentirse identificado con la organización, mostrando mejoras en su productividad, de tal manera que contribuya a los logros que tengan como institución.

Entre más positiva sea la actitud ética del SP hacia los procesos vinculados con la AC, mejor será el trabajo en equipo y el clima laboral. De igual forma, la gestión del conocimiento juega un papel importante

dentro del trabajo en equipo, ya que es en este espacio donde se comparten los conocimientos y experiencias relacionados con el proceso de armonización contable.

En los resultados del análisis estadístico se observa que la actitud ética del servidor público, los valores y el trabajo en equipo se encuentran correlacionados, influyendo de manera significativa en la correcta aplicación y ejecución de la AC. Para su comprobación, es importante analizar las cargas factoriales, ya que proporcionan evidencia suficiente para aceptar la hipótesis.

El grado de importancia de la actitud del SP ha generado una influencia positiva en la aplicación de la armonización contable en los entes de gobierno sujetos a la LGCG. De tal forma que, si estos factores se aplican y se usan como estrategia, pueden impactar de manera positiva en el logro de los objetivos de la LGCG en el estado de Tabasco.

4. CONCLUSIONES

Uno de los hallazgos observados es que, a mayor actitud positiva del SP, mejor será el clima laboral y el trabajo en equipo, y se facilitará la gestión del conocimiento, entendida como la acción de compartir juicios y experiencias en la aplicación de la armonización contable. Sin embargo, se detecta que los valores forman parte esencial de la aplicación de la ética del SP y que el grado de importancia que los altos mandos asignen al proceso de armonización influirá en la forma en que los subalternos lo adopten.

El objetivo propuesto en la presente investigación se cumplió, ya que se pudo apreciar que la actitud ética del SP tiene un alto grado de concurrencia con el trabajo en equipo y la gestión del conocimiento, puesto que un mayor grado de actitud ética impacta positivamente el trabajo en equipo y la aplicación de los valores. De esta manera, el proceso de ejecución de la armonización contable se desarrollará de manera positiva.

Es necesario que el SP considere reconozca el grado de importancia del proceso de armonización contable,

ya que ello permitirá obtener en tiempo real la situación financiera, el presupuesto, los egresos e ingresos. Así, se disminuirán los tiempos de procesamiento y ello dará como resultado mejores controles presupuestales, lo que beneficiará a la administración al contar con estados de resultados y reportes oportunos. Esto servirá de apoyo en la toma de decisiones sobre los recursos y, a su vez, en la implementación de estrategias que le permitan coadyuvar las cuentas públicas claras y transparentes en el tiempo que se lo soliciten los organismos reguladores.

Para mantener unas finanzas sanas, se debe de tener el control total de la información financiera y contable, conforme lo contempla el Consejo Nacional de Armonización Contable (CONAC), en tiempo real, mediante un sistema de información que automatice los procesos; sin dejar de lado que una parte importante es el factor humano, su conocimiento, experiencia y valores.

Es responsabilidad de los SP mantener el orden y hacer cumplir la normatividad y las leyes, las cuales implican un compromiso u obligación al ocupar un cargo público dentro de una institución gubernamental, con el fin de garantizar el bien común y el bienestar de los ciudadanos. El SP debe de conducirse con ética, de tal manera que sus valores y obligaciones se encuentren por encima de sus intereses personales. Asimismo, tiene la responsabilidad de conocer el marco jurídico que conlleva la aplicación de la armonización contable, con la finalidad de hacer lo correcto y no verse envuelto en situaciones de incumplimiento u omisión, que pueden traer repercusiones como sanciones administrativas o jurídicas.

5. REFERENCIAS

- Ackoff, L. R. (2008). *El Paradigma de Ackoff: Una administración sistemática*. Limusa.
- Arteaga, A. y Ramón, S. (2009). Liderazgo Resonante según género. *Multiciencias*, 9(3), 289-295.
- Atondo De La Vara, V. (2018). Ética en la administración pública: Valores, transparencia e integridad de los servidores públicos en el estado de sonora. *Trascender, Contabilidad y Gestión*, (9), 74-85. <https://doi.org/10.36791/tcg.v0i9.39>
- Becerra, D. L. (2020). Transparencia y coordinación fiscal intergubernamental en México: un breve diagnóstico. En Sánchez, M. y Sierra, J., (coord.). *Transparencia y participación para un gobierno abierto*, (pp. 479-490). Editorial. El consultor de los ayuntamientos.
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación*. Pearson.
- Cárdenas, R. C., y Rivera, F. (2021). Actitud ética y desempeño laboral en la Municipalidad Provincial de Huancavelica - 2014. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(5), 9955-9970. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i5.1047
- Consejo Nacional de Armonización Contable [CONAC]. (2021a). *Evaluación de la armonización la Armonización Contable - Reporte U 2021* [Informe técnico]. https://www.conac.gob.mx/work/models/CONAC/SEvAC/U_2021/00_Rep_U_2021.pdf
- Consejo Nacional de Armonización Contable [CONAC]. (2021b). *Criterios para la elaboración y presentación homogénea de la información financiera y de los formatos a que hace referencia la Ley de Disciplina Financiera de las Entidades Federativas y los Municipios*. Mexico. https://www.conac.gob.mx/work/models/CONAC/normatividad/CLDF_01_01_001.pdf
- Corbetta, P. (2010). *Metodología y técnicas de investigación social*. McGraw Hill.
- Dávila-Flores, E. (2020). El cumplimiento de la contabilidad gubernamental y su efecto en la fiscalización de recursos federales. *Vinculatégica*, 6(2), 1894-1904. <https://doi.org/10.29105/vtga6.2-695>
- Halabí, T. V., y Esquivel, R. M. (2017). Tamaño de la muestra en modelos de ecuaciones estructurales con constructos latentes: Un método práctico. *Revista Actualidades Investigativas en Educación*, 17(1). <https://doi.org/10.15517/aie.v17i1.27294>
- Hernández-Sampieri, R., y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw Hill.
- Huerta-Chávez, I. A. (2019, octubre). *Validación de un instrumento para la medición de la gestión del conocimiento, el aprendizaje organizacional y el capital intelectual en el sector público* [Ponencia]. XXIV Congreso Internacional de Contaduría, Administración e Informática. Ciudad de México, México. <https://repositorios.fca.unam.mx/investigacion/memorias/2019/14.06.pdf>
- Landero, R., y González, M. (2016). *Estadística con SPSS y metodología de la investigación*. Editorial Trillas.
- Ley Federal de Responsabilidad de los Servidores Públicos, 47 39 (2024). <https://doi.org/DOF%252001-04-2024> Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 31 de diciembre de 1982
- Nolasco, N. y Delgado, R. (2020). *Actitud de los servidores públicos y su incidencia en la implementación del nuevo régimen del servicio civil en la municipalidad distrital de Amarilis, Huánuco 2019* [tesis inédita]. Universidad Nacional Hermilio Valdizán.

PLANEACIÓN ESTRATÉGICA EN MIPYMES DEL SECTOR DE CULTIVOS INTERIORES EN BOGOTÁ

STRATEGIC PLANNING IN MSMEs IN THE INDOOR CROPS SECTOR IN BOGOTÁ



¹ Sofia Madero

Cómo citar: Madero, S. (2025). Planeación estratégica en Mipymes del sector de cultivos interiores en Bogotá. Publicaciones E Investigación, 19(2). <https://doi.org/10.22490/25394088.9770>

Recibido 26 de Agosto 2025, Aprobado 07 Octubre 2025

RESUMEN

El presente artículo investigativo explora, a través de la identificación, descripción y análisis, los desafíos asociados con la planeación estratégica en las micro, pequeñas y medianas empresas del sector de cultivos interiores en Bogotá. Mediante una metodología exploratoria y cuantitativa, que incluyó una muestra de cinco empresas del sector, se aplicó una encuesta dirigida a empresarios, cuyos resultados revelaron varios desafíos. Entre los principales retos se destacan la limitada disponibilidad de recursos financieros, la falta de personal capacitado y las dificultades para acceder a información precisa y oportuna sobre el mercado.

A pesar de estos obstáculos, los empresarios reconocen que la planeación estratégica es esencial para establecer objetivos claros, aprovechar oportunidades, minimizar amenazas y optimizar recursos, lo que contribuye al crecimiento y sostenibilidad de sus negocios. Se concluye que una planeación estratégica adecuada fortalece el posicionamiento de estas empresas en el mercado y garantiza su desarrollo sostenible.

Palabras clave: cultivos interiores; mipymes; planeación estratégica; recursos financieros; sostenibilidad empresarial. regresión logística

¹ Contaduría pública / sofia.madero@cun.edu.co / <https://orcid.org/0009-0009-3415-3172>

ABSTRACT

This research article explores, through the identification, description and analysis, the challenges associated with strategic planning in micro, small and medium-sized companies in the indoor crops sector in Bogotá. Through an exploratory and quantitative methodology, which included a sample of five companies in the sector, a survey was applied to entrepreneurs, the results of which revealed several challenges. Among the main challenges were the limited availability of financial resources, lack of trained personnel, and difficulties in accessing accurate and timely market information.

Despite these obstacles, the entrepreneurs recognize that strategic planning is essential to establish clear objectives, take advantage of opportunities, minimize threats and optimize resources, which contributes to the growth and sustainability of their businesses. It is concluded that adequate strategic planning strengthens the positioning of these companies in the market and guarantees their sustainable development.

Keywords: business sustainability; financial resources; inland crops; MSMEs; strategic planning.



1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Augusta-Moreta (2017), en el mundo empresarial actual, la planeación estratégica se ha convertido en un elemento fundamental para el éxito y la sostenibilidad de las organizaciones, especialmente para las micro, pequeñas y medianas empresas (mipymes). En el contexto específico del sector de cultivos para interiores en Bogotá, la implementación de una adecuada planificación estratégica cobra aún mayor relevancia debido a la creciente competencia y a las demandas cambiantes del mercado.

Las mipymes son un componente vital de la economía mundial, caracterizadas por su tamaño reducido, flexibilidad operativa y significativa contribución al empleo y al crecimiento económico. Según la Organización Internacional del Trabajo (OIT, 2019), generan alrededor del 70 % del empleo global y representan aproximadamente el 50 % del producto interno bruto (PIB) mundial. Estas empresas se clasifican según el número de empleados, los ingresos anuales o el volumen de ventas.

En este sentido, es importante entender que el sector de cultivos para interiores, también conocido como agricultura bajo techo, se refiere a la producción de alimentos y plantas en entornos controlados. Este tipo de cultivo optimiza recursos como el agua y la energía y permite la producción durante todo el año en diversas ubicaciones. Este enfoque innovador busca mitigar los desafíos climáticos y espaciales asociados con la agricultura tradicional (Observatorio Ambiental de Bogotá [OAB], 2022).

La planeación estratégica en las mipymes del sector de cultivos para interiores en Bogotá es fundamental para garantizar su sostenibilidad y crecimiento a largo plazo. Este proceso permite a las empresas identificar oportunidades y amenazas, optimizar recursos y establecer objetivos claros, aspectos esenciales en entornos dinámicos y competitivos. Para este sector, contar con una planificación estratégica sólida se convierte en un pilar clave para su éxito, especialmente debido a factores determinantes como las tendencias del mercado, la tecnología emergente y la sostenibilidad.

Tal como lo destacan diferentes autores, la planeación estratégica se constituye en un pilar fundamental para el éxito organizacional. Por ejemplo, Palacios (2020) resalta que esta práctica permite identificar oportunidades futuras, diseñar un futuro deseado y tomar decisiones informadas en el presente para maximizar el éxito. A su vez, Serrato (2024), señala que las mipymes enfrentan retos específicos, como la gestión eficiente de recursos, la diferenciación frente a la competencia y la adaptación a las tendencias del mercado, desafíos especialmente relevantes para el sector de cultivos para interiores.

De acuerdo con Porter (2008), “la clave para el éxito en un mercado competitivo radica en la capacidad de una empresa para desarrollar una ventaja competitiva sostenible”, lo que requiere una planificación estratégica cuidadosa y estructurada. En este orden de ideas, Serrato (2024) subraya que la planeación estratégica no solo ayuda a las mipymes a alcanzar sus metas financieras, sino que también genera beneficios intangibles, como una mayor cohesión interna, una visión compartida entre los colaboradores y una mejor capacidad de adaptación a los cambios del entorno. Estos beneficios son cruciales en el sector de cultivos para interiores, donde la eficiencia en la gestión de recursos y la innovación son fundamentales para mantenerse competitivo y garantizar la sostenibilidad a largo plazo.

En este contexto, surge la pregunta: ¿cómo pueden estas mipymes desarrollar estrategias efectivas que les permitan mejorar su competitividad y sostenibilidad en un mercado en constante cambio? Este artículo se propone explorar los principales desafíos que enfrentan las mipymes del sector de cultivos en interiores en Bogotá para implementar una planeación estratégica que les permita fortalecer su posición en el mercado y les permita alcanzar el éxito empresarial.

2. METODOLOGÍA

Para identificar los principales desafíos que enfrentan las mipymes del sector de cultivos interiores en Bogotá en su planeación estratégica, se desarrolló

una investigación de tipo exploratorio-cuantitativo. Este enfoque, de acuerdo con Gómez y Méndez (2020), se basa en la recopilación y análisis de datos cuantitativos que permiten identificar patrones, relaciones y tendencias de manera precisa, lo cual facilita obtener resultados objetivos y aplicables a contextos similares. La investigación incluyó varias etapas metodológicas que garantizan la validez y confiabilidad de los datos obtenidos.

En primer lugar, se realizó una investigación de las empresas ubicadas en la ciudad de Bogotá dedicadas al cultivo en interiores, a partir de la cual se identificaron un total de 115 organizaciones relacionadas con la agricultura dentro de la ciudad; sin embargo, solo cinco de ellas se dedican específicamente al cultivo de plantas para interiores.

Posteriormente, se aplicó una encuesta por medio de un formulario de Microsoft Forms a los gerentes o asistentes de gerencia de estas cinco empresas. Esta encuesta se diseñó para recopilar información relevante sobre los desafíos específicos que enfrentan en su proceso de planeación estratégica.

Se recopilaban datos tomando como base las variables de planeación estratégica en mipymes y del sector de cultivos de interiores en Bogotá, incluyendo indicadores tales como el número de empleados y clientes para determinar si correspondían a mipymes. Asimismo, se incluyeron preguntas relacionadas con los desafíos que experimentan en la planeación estratégica, así como con la importancia que los empresarios asignan a este tema. Finalmente, se preguntó por el impacto de la planeación estratégica en aspectos como la calidad de los productos, la rentabilidad y el posicionamiento en el mercado.

Una vez recopilada la información, los datos fueron analizados por medio de los resultados que pondera y gráfica la herramienta de Microsoft Forms, lo que permitió identificar los principales desafíos que enfrentan las mipymes del sector de cultivos en interiores en Bogotá en su planeación estratégica y su impacto en posicionamiento y la rentabilidad del

producto. El análisis incluyó la descripción de los datos obtenidos con el fin de explorar los diversos puntos de vista de los encuestados y determinar si, en consecuencia, la planeación estratégica constituye un factor clave para fortalecer el mercado de los cultivos para interiores en la ciudad de Bogotá.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cultivos Urbanos: innovación verde en Bogotá

El sector de los cultivos de interiores en Bogotá representa una alternativa innovadora y sostenible frente a los retos de la urbanización y el cambio climático que actualmente enfrenta la ciudad. Según Cáceres (2020), la agricultura urbana, incluyendo los cultivos de interiores, es una estrategia clave para garantizar la soberanía y seguridad alimentaria en entornos urbanos, al tiempo que contribuye a la sostenibilidad ambiental y la cohesión social.

Abordar este sector es esencial debido a su creciente relevancia en la producción agrícola urbana, pues permite el aprovechamiento eficiente de espacios reducidos y ofrece soluciones que impulsan la seguridad alimentaria en un entorno urbano.

Además, estos sistemas de cultivo no solo promueven prácticas responsables con el medioambiente, como la reducción del uso de pesticidas y la optimización de recursos hídricos, sino que también abren oportunidades económicas para emprendedores y pequeños productores.

Explorar este sector permite obtener una comprensión integral de su impacto en el desarrollo sostenible, la innovación tecnológica y el bienestar de las comunidades locales. Asimismo, contribuye a que un público más amplio tome conciencia de su existencia y relevancia. Al difundir información sobre los beneficios y oportunidades que ofrece, se promueve una mayor participación e interés tanto de emprendedores como de investigadores

y ciudadanos, lo cual fomenta el crecimiento y la adopción de prácticas sostenibles en entornos urbanos.

Explorando las mipymes: un enfoque claro y conciso

Como primera medida, es importante reconocer el tamaño de las empresas con el fin de establecer si, en efecto, se tratan de mipymes. En ese orden de ideas, se indagó sobre el número de clientes, entendido como los “individuos o entidades que adquieren bienes o servicios de una organización” (Kotler y Keller, 2016). Los clientes son la base de cualquier negocio, y su número puede proporcionar información valiosa sobre la escala de operaciones de la empresa. El 80 % de los encuestados indicó que tienen entre 51 y 200 clientes, rango que corresponde a la categoría de medianas empresas.

Lo anterior se sustenta en que, en Colombia, la clasificación de las empresas se establece principalmente con base en criterios como el número de empleados y los ingresos anuales, según lo estipulado en el artículo 2 de la Ley 590 de 2000, modificado por el artículo 43 de la Ley 1450 de 2011. De acuerdo con esta normatividad, las empresas medianas cuentan con un número de empleados entre 51 y 200, con lo cual coincide el rango identificado en la encuesta.

Por otra parte, conocer el número de empleados en una empresa es crucial para entender su tamaño y su estructura organizacional, ya que proporciona información valiosa sobre su capacidad operativa, alcance e impacto en la economía. Además, esta información permite determinar la escala de sus operaciones, la disponibilidad de recursos humanos y la complejidad de su gestión. Según Dessler (2020), “los empleados son recursos clave que contribuyen directamente al logro de los objetivos organizacionales y al desarrollo sostenible de la empresa”. El 80 % de los encuestados señaló que tienen entre 11 y 50 colaboradores, dato congruente con la información sobre el número de clientes.

Principales desafíos en la planeación estratégica de las mipymes

Teniendo en cuenta que la presente investigación se desarrolla con el propósito de identificar los desafíos en la planeación estratégica que enfrentan las mipymes del sector de cultivos para interiores en Bogotá, se diseñaron diversas preguntas orientadas a abordar aspectos que podrían representar barreras empresariales. Según Uribe (2021), los desafíos empresariales incluyen factores como los cambios en el mercado, la competencia global y las demandas de sostenibilidad, los cuales son cruciales para superar y así garantizar la supervivencia y el crecimiento de las organizaciones.

Al comprender los desafíos específicos de las mipymes en cuanto a la planeación estratégica, es posible desarrollar un enfoque más efectivo y orientado a resultados para ayudarlas a alcanzar sus objetivos comerciales. Entre estos desafíos se destacan la falta de recursos financieros, la falta de experiencia en la elaboración de planes estratégicos, la dificultad para prever cambios en el mercado, la resistencia al cambio dentro de la organización y la dificultad para alinear los objetivos estratégicos con las acciones cotidianas.

En este contexto, el 60 % de los encuestados enfatizó que uno de sus grandes desafíos en la planeación estratégica corresponde a la falta de recursos financieros, lo que podría indicar que muchas empresas enfrentan obstáculos para asignar los recursos necesarios a actividades clave como el diseño de objetivos a largo plazo, la identificación de oportunidades en el mercado y la implementación de estrategias de crecimiento sostenibles.

La falta de recursos financieros en las mipymes de Colombia dificulta el desarrollo de una planificación estratégica adecuada. Según estudios realizados por Forero et al. (2023), las pequeñas y medianas empresas en el país enfrentan desafíos significativos debido a la limitada disponibilidad de capital y

a la falta de acceso a financiamiento, además de la escasez de conocimientos especializados en áreas de gestión estratégica.

Esta situación también impacta negativamente en la capacidad de las mipymes para contratar personal calificado y para invertir en tecnologías que podrían mejorar su eficiencia y competitividad en el mercado. Asimismo, la ausencia de conocimientos especializados en la elaboración de planes estratégicos limita su capacidad para identificar oportunidades y amenazas, así como para diseñar estrategias efectivas que les permitan alcanzar sus objetivos a largo plazo.

Por otra parte, el 80 % de los encuestados indicó que presentan, en menor medida, el desafío de la falta de experiencia en la elaboración de planes estratégicos. Esto podría significar que, aunque este factor no se percibe como uno de los principales obstáculos, sigue siendo un aspecto relevante que algunas empresas enfrentan al tratar de optimizar su gestión y establecer objetivos claros. Considerando que la capacidad de elaborar planes estratégicos eficaces es esencial para orientar el rumbo de la empresa y aprovechar oportunidades en el mercado, una reducción en la complejidad de este aspecto podría indicar que las organizaciones cuentan con personal capacitado o acceso a herramientas que les permitan afrontar este desafío, proporcionándoles de esta manera una ventaja competitiva al definir y lograr sus objetivos organizacionales.

Respecto a la dificultad para prever cambios en el mercado, el 100 % de los encuestados señaló que experimentan este desafío en menor medida. Se infiere que esta dificultad es percibida con un impacto reducido, probablemente porque estas mipymes han desarrollado capacidades como la diversificación de productos y la innovación, factores que las protegen frente a la incertidumbre del mercado. También podría influir la baja competencia existente actualmente en este sector: al contar con un número reducido de competidores, las empresas enfrentan menos

presión para reaccionar rápidamente a las fluctuaciones, lo que les brinda un entorno más estable y les permite implementar estrategias de planeación estratégica de manera más estructurada y sin la urgencia de responder a movimientos agresivos de la competencia.

En cuanto a la resistencia al cambio, se identificaron diversos puntos de vista: el 40 % indicó que experimenta este desafío en menor medida, otro 40 % en cierta medida, y el 20 % en gran medida. Esto evidencia que, aunque una porción significativa de los encuestados parece estar más receptiva al cambio, todavía existe un porcentaje considerable que enfrenta barreras importantes en este aspecto. La adaptación al cambio es fundamental en cualquier entorno empresarial, ya que permite a las organizaciones mantenerse competitivas y responder de manera efectiva a los desafíos del mercado.

Respecto a la aplicación de la planeación estratégica, que según Pérez (2022) “implica la implementación de un conjunto de herramientas y métodos que permiten a las organizaciones alinear sus recursos y capacidades con su visión y objetivos a largo plazo, adaptándose a los cambios del entorno y maximizando su competitividad”, se reitera que la planeación estratégica permite a las organizaciones definir sus objetivos y establecer los cursos de acción necesarios para alcanzarlos.

Los resultados de la encuesta muestran que los empresarios son conscientes de la importancia de tener una planeación estratégica y, además, de actualizarla de acuerdo con el entorno empresarial cambiante. Para contextualizar este aspecto, se puede considerar el concepto VUCA, que se refiere a un entorno caracterizado por su volatilidad, incertidumbre, complejidad y ambigüedad. Según Antúnez (2023) este término se popularizó en el ámbito empresarial para describir condiciones que cambian de manera rápida e impredecible, lo que presenta desafíos significativos para las empresas que intentan adaptarse y tener éxito.

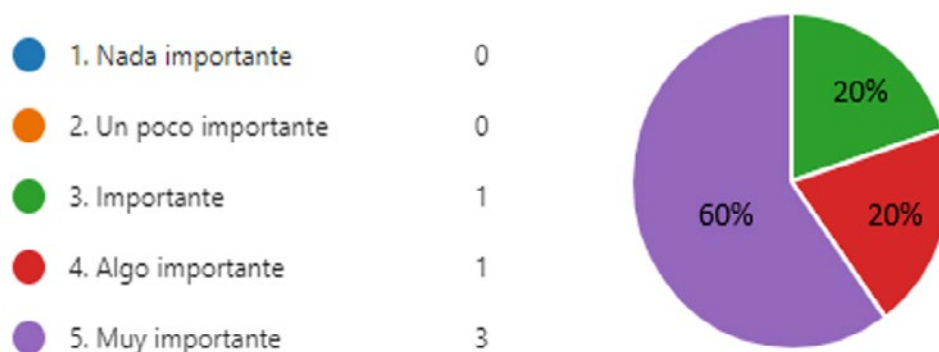
En este entorno, las organizaciones enfrentan desafíos constantes al intentar anticipar y responder con eficacia a los cambios, lo que requiere flexibilidad, agilidad y capacidad de adaptación. Las estrategias tradicionales a menudo no son efectivas en un entorno VUCA, por lo que las empresas deben adoptar enfoques más dinámicos y proactivos para sobrevivir y prosperar. En consecuencia, se vuelve necesario que los empresarios integren la comprensión de este entorno en su planificación estratégica.

La dificultad para alinear los objetivos estratégicos con las acciones cotidianas no se percibe como un obstáculo relevante para los empresarios encuestados, ya que el 100 % manifestó experimentar este desafío en menor medida. Esto podría deberse a varios factores positivos relacionados con la gestión interna, tales como contar con una estructura organizacional clara y mecanismos efectivos de comunicación interna que facilitan dicha alineación.

Además, por tratarse de empresas medianas con pocos colaboradores, suele ser más sencillo definir funciones específicas y garantizar el seguimiento de los objetivos diarios, lo que favorece una revisión continua y permite asegurar que las acciones estén alineadas con los objetivos estratégicos de la organización.

A pesar de los desafíos mencionados, los empresarios encuestados evidenciaron ser conscientes de la importancia de la planeación estratégica y manifestaron su compromiso por incluirla en su cotidianidad, en relación con el cumplimiento de objetivos, entendido según Cote (2020) como “el proceso organizacional continuo de utilizar el conocimiento disponible para documentar la dirección prevista de un negocio, priorizar esfuerzos, asignar recursos de manera efectiva y alinear a los accionistas y empleados con los objetivos de la organización”. Esta percepción es congruente con los resultados de la encuesta, en los cuales el 60 % de los empresarios destacó un beneficio relevante de la planificación estratégica en este ámbito, como se observa en la figura 1.

Figura 1. “En una escala del 1 al 5, ¿cómo calificaría la importancia que su empresa otorga a la planeación estratégica?”



Fuente: elaboración propia en Microsoft Forms (2024).

Importancia de la planeación estratégica en las mipymes de cultivos interiores en la ciudad de Bogotá

Ahora bien, no se pueden dejar de lado los indicadores asociados directamente con la variable del sector de los cultivos de interiores y su relación con la planeación estratégica como punto clave en esta investigación. Por ello, se debe considerar cómo incide en la calidad, rentabilidad del producto y el posicionamiento del mercado.

La calidad de producto se define como “su capacidad para cumplir con las expectativas del cliente en términos de funcionamiento, durabilidad, confiabilidad y satisfacción general. Es un concepto clave en la percepción del valor de un producto y su competitividad en el mercado” (Garvin, 2020). Este indicador es fundamental dentro de la planificación estratégica porque contribuye directamente al éxito a largo plazo de la empresa, al influir en la satisfacción del cliente, la ventaja competitiva, la reputación de la marca y la eficiencia operativa.

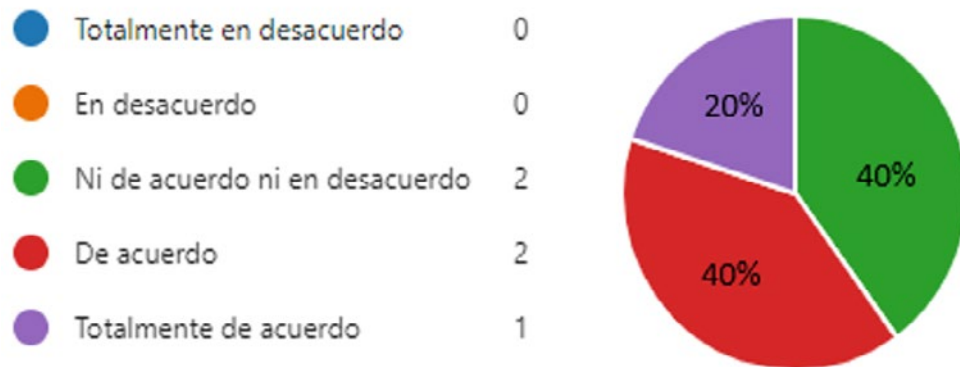
Aunque la calidad del producto está estrechamente relacionada con la planificación estratégica —en aspectos como la determinación de objetivos, las decisiones de diseño, la selección de proveedores, la definición del proceso de fabricación y el control

de calidad—, los empresarios encuestados presentan un punto de vista diverso respecto a la afirmación de que la planeación estratégica ha mejorado la calidad de sus productos. El 20 % indicó estar totalmente de acuerdo, el 40 % de acuerdo y el 40 % restante adoptó una postura neutral.

Lo anterior podría indicar que, aunque un número considerable de entrevistados reconoce una relación positiva entre la planificación estratégica y la calidad del producto, persiste cierto grado de incertidumbre o falta de seguridad entre un porcentaje significativo de ellos. Esto podría estar vinculado a elementos como la percepción de resultados a corto y largo plazo, la ejecución deficiente o inconsistente de estrategias, o la ausencia de indicadores. Adicionalmente, evidencia la necesidad de fortalecer la comunicación y la formación sobre la importancia de una planificación estratégica robusta como instrumento esencial para la mejora constante del producto y, por ende, la preservación de la competitividad en el mercado.

Por otra parte, el indicador de rentabilidad financiera proporciona información clave sobre la salud financiera y la eficiencia operativa de una empresa, por lo cual resulta fundamental para mantener la competitividad en el mercado y atraer posibles inversores. Su adecuada interpretación implica

Figura 2. “Indique en qué medida está de acuerdo o en desacuerdo con la siguiente afirmación: la aplicación de la planeación estratégica en nuestra empresa ha mejorado la calidad de nuestros productos”



Fuente: elaboración propia en Microsoft Forms (2024).

establecer metas a largo plazo acompañadas de un plan estratégico para alcanzarlas. En este sentido, una planificación estratégica bien ejecutada puede incrementar la rentabilidad financiera al identificar las áreas en las que se deben asignar los recursos financieros para maximizar el retorno de la inversión. Estas áreas pueden incluir la implementación de tecnologías, la capacitación del personal o la expansión de la capacidad productiva, contribuyendo así al fortalecimiento y crecimiento sostenible de la empresa.

Asimismo, la planificación estratégica ayuda a identificar oportunidades en el mercado y a

desarrollar estrategias para aprovecharlas, como el lanzamiento de nuevos productos o servicios, la expansión hacia nuevos mercados geográficos o la diversificación de la línea de productos.

También permite identificar y gestionar los riesgos financieros; al anticipar posibles desafíos y desarrollar planes de contingencia, una empresa puede reducir el impacto negativo de eventos imprevistos en su rentabilidad. Según Serrato Guana (2021), la planeación estratégica permite a las organizaciones optimizar recursos y establecer objetivos claros, lo que resulta esencial para garantizar la sostenibilidad financiera.

Figura 3. “La implementación de la planeación estratégica en nuestra empresa ha contribuido positivamente a la rentabilidad financiera”



Fuente: elaboración propia en Formulario Microsoft Forms (2024).

En cuanto al indicador de posicionamiento en el mercado, Díaz et al. (2021) señalan que “es un factor clave para el crecimiento de las organizaciones, ya que permite ocupar una posición privilegiada en el mercado y asegurar su permanencia a mediano y largo plazo, integrando estrategias empresariales, liderazgo y productividad como elementos determinantes”. Esto resalta la importancia de la competitividad en un entorno empresarial dinámico y globalizado.

Según Kotler y Keller (2016) la aplicación de la planeación estratégica ha sido clave para fortalecer el posicionamiento en el mercado de diversas organizaciones, porque este enfoque permite identificar las necesidades del público objetivo, analizar tendencias y desarrollar estrategias personalizadas que destaquen los valores diferenciadores de la empresa.

Al alinear los objetivos estratégicos con las acciones operativas, las empresas logran construir una imagen sólida y coherente que no solo atrae a más clientes, sino que también refuerza su percepción como líderes en el sector. Esta planificación garantiza una mejor capacidad de respuesta ante los cambios del entorno y consolida la presencia de la empresa en el mercado de manera sostenible y competitiva.

En consecuencia, el 60 % de los encuestados están de acuerdo con que la planeación estratégica ha contribuido a mejorar su posicionamiento en el mercado. Este resultado refleja que una planificación adecuada permite optimizar procesos internos, identificar nichos de mercado y alinear sus objetivos con las demandas del entorno competitivo. Además, facilita la implementación de estrategias de diferenciación que incrementan la visibilidad de la empresa frente a sus competidores.

Teniendo en cuenta que el posicionamiento de mercado, según Galeano (2023), “se refiere a la percepción que los consumidores tienen de una marca, producto o servicio en comparación con sus competidores, que implica establecer una identidad única

y diferenciada en la mente del público objetivo”, resulta evidente que la planificación estratégica desempeña un papel crucial en este proceso.

A pesar de estos obstáculos, los datos recopilados muestran que las empresas que implementan una planificación estratégica sólida tienden a obtener un desempeño considerablemente mejor que aquellas que no lo hacen. En particular, se observa que las mipymes que cuentan con una visión clara, objetivos bien definidos y planes de acción específicos son más innovadoras, competitivas y rentables en el largo plazo.

4. CONCLUSIÓN

Los resultados de la encuesta realizada como parte de esta investigación revelan que, si bien las mipymes del sector de cultivos en Bogotá enfrentan diversos desafíos en su proceso de planificación estratégica, esta constituye un elemento fundamental para el éxito empresarial.

Entre los desafíos identificados se encuentran la falta de recursos financieros, la escasez de personal capacitado en la materia y la dificultad para acceder a información precisa y oportuna sobre el mercado.

Esta investigación ofrece valiosas perspectivas para la administración de empresas, especialmente en el contexto de las mipymes del sector de cultivos interiores en Bogotá. Al identificar, describir y analizar los desafíos de la planeación estratégica en este sector, se proporciona información esencial para mejorar las prácticas de gestión empresarial.

Al comprender los obstáculos específicos que enfrentan estas mipymes en su proceso de planificación estratégica, los gerentes y líderes empresariales pueden tomar decisiones más informadas y efectivas para abordar estas problemáticas.

Reconocer la importancia de la planeación estratégica permite a las empresas asignar recursos de manera más eficiente y efectiva, maximizando el

uso de sus activos financieros, humanos y de información. Con una comprensión más profunda de los desafíos del entorno empresarial, las empresas pueden desarrollar estrategias más adaptables y flexibles que les permitan responder de manera oportuna a los cambios del mercado y a las nuevas oportunidades.

Finalmente, al implementar prácticas de planificación estratégica sólidas, las mipymes pueden fortalecer su posición en el mercado, impulsar su crecimiento y aumentar su capacidad competitiva a largo plazo.

Por lo tanto, resulta evidente que la planificación estratégica es un factor crítico para el crecimiento y la sostenibilidad de las mipymes en el sector de cultivos.

REFERENCIAS

- Antúñez, J. V. V. (2023). Los contextos de la incertidumbre: ¿Entornos VUCA o entornos BANI? Hacia una episteme de las ciencias sociales. *Revista de Ciencias Humanas y Sociales*, 38(29), 7-13. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7300286>
- Cáceres Torres, L. A. (2020). *Agricultura urbana como alternativa para la soberanía y seguridad alimentaria y nutricional de agricultores urbanos, caso Bogotá Colombia y Aracaju Brasil* [trabajo de grado]. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/78143/80037487.2020.pdf>
- Ley 590 de 2000 (2000, 10 de julio), por la cual se dictan disposiciones para promover el desarrollo de las micro, pequeñas y medianas empresas. Diario Oficial 44.078.
- Cote, C. (2020, 6 de octubre). Why is strategic planning important? *Harvard Business School Online*. <https://online.hbs.edu/blog/post/why-is-strategic-planning-important>
- Dessler, G. (2020). *Human resource management* (16.º ed.). Pearson.
- Díaz Muñoz, G. A., Quintana Lombeida, M. D., y Fierro Mosquera, D. G. (2021). La competitividad como factor de crecimiento para las organizaciones. *INNOVA Research Journal*, 6(1), 145-161. <https://doi.org/10.33890/innova.v6.n1.2021.1465>
- Forero Franco, C. M., Mena Murillo, M. Y., y Pineda Bolaño, K. M. (2023). *Consecuencias de la deficiente planificación financiera en el desarrollo de las mipymes en Colombia* [trabajo de grado]. Fundación Universitaria del Área Andina.
- Microsoft Forms. (2024). Planeación estratégica mi pymes de cultivos de interiores en Bogotá [Formulario en línea]. https://forms.office.com/Pages/AnalysisPage.aspx?AnalyzerToken=ILF7moQMGICTMl2gBG9ROgVZApojB06U&id=ynfct2u3bkWMrCcNp_FJgPd7xt96MGZLnHOvV31IdFRUNE1ZMlk-1SERCuzNVWkwXOFhUMzlUN1ExRi4u
- Galeano, S. (2023). *Qué es el posicionamiento de mercado: definición y claves para integrarlo*. Marketing4eCommerce. <https://marketing4ecommerce.mx/posicionamiento-de-mercado/>
- Garvin, D. A. (2020). *Managing quality: The strategic and competitive edge*. Free Press.
- Gómez, P., y Méndez, R. (2020). Métodos cuantitativos aplicados a la investigación empresarial. *Revista de Ciencias Administrativas*, 12(3), 45-60. <https://blog.up.edu.mx/topic/doctorado-en-ciencias-empresariales/metodos-cuantitativos-en-ciencias-empresariales>
- Kotler, P., y Keller, K. L. (2016). *Marketing management* (15.º ed.). Pearson.
- Augusta-Moreta, M. (2017). Planeación estratégica en pymes: Limitaciones, objetivos y estrategias. *Revista UTCiencia*, 4(3). <http://investigacion.utc.edu.ec/index.php/utciencia/article/view/83>
- Observatorio Ambiental de Bogotá [OAB]. (2022). *Huertas urbanas: ¿Qué son y cuántas hay en Bogotá? Observatorio Ambiental de Bogotá*. <https://oab.ambientebogota.gov.co/huertas-urbanas-que-son-y-cuantas-hay-en-bogota/>
- Organización Internacional del Trabajo [OIT]. (2019). *Pequeñas empresas y creación de empleo decente*. https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/@ed_norm/@relconf/documents/meetingdocument/wcms_358292.pdf
- Palacios Rodríguez, M. A. (2020). La planeación estratégica como herramienta para el éxito empresarial. *Revista Nacional de Administración*, 12(3), 45-60. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-49322020000200006
- Pérez, J. M. (2022). *Estrategias empresariales en un mundo globalizado*. Editorial Hispanoamericana. <https://online.norwich.edu/international-business-strategies-globalizing-world>
- Porter, Michael E. "The Five Competitive Forces That Shape Strategy." Special Issue on HBS Centennial. *Harvard Business Review*, 86(1) 78-93. <https://hbr.org/2008/01/the-five-competitive-forces-that-shape-strategy>
- Serrato Guana, A. D. (2024). Aproximaciones teóricas a la planeación estratégica y la contabilidad gerencial como elementos clave en la gestión de las pymes en Colombia. *Revista científica Pensamiento y Gestión*, (46), 161-180. <https://doi.org/10.14482/pege.46.3580>
- Serrato Guana, A. D. (2019). Aproximaciones teóricas a la planeación estratégica y la contabilidad gerencial como elementos clave en la gestión de las pymes en Colombia. *Pensamiento & Gestión*, (46), 161-180. <https://doi.org/10.14482/pege.46.3580>
- Uribe Macías, M. E. (2021). Propuesta del proceso de aplicación de administración estratégica para las pymes. *Revista científica Pensamiento y Gestión*, (51), 15-30. <https://doi.org/10.14482/pege.51.211.365>

PROPUESTA DE MEJORA PARA LA EFICIENCIA OPERATIVA EN UNA EMPRESA DEDICADA AL SUMINISTRO, DISEÑO, FABRICACIÓN E INSTALACIÓN DE CARPINTERÍA ARQUITECTÓNICA

PROPOSAL FOR IMPROVING OPERATIONAL EFFICIENCY IN A COMPANY DEDICATED TO THE SUPPLY, DESIGN, MANUFACTURE AND INSTALLATION OF ARCHITECTURAL CARPENTRY



¹Valentina Gómez Dávila
²Jefferson Mauricio Jaramillo Aguilar
³Isabella Toro Vidal

Cómo citar: Gomez Davila, V., Jaramillo Aguilar, J. M., & Toro Vidal, I. (2025). Propuesta de mejora para la eficiencia operativa en una empresa dedicada al suministro, diseño, fabricación e instalación de carpintería arquitectónica. Publicaciones E Investigación, 19(2). <https://doi.org/10.22490/25394088.10062>

Recibido 05 Mayo, Aprobado 10 Junio 2025

RESUMEN

El artículo presenta los resultados del estudio realizado en una empresa de carpintería arquitectónica con el objetivo de mejorar la eficiencia operativa a través de una propuesta de redistribución de planta. La metodología empleada fue el Systematic Layout Planning (SLP), que permitió analizar el flujo de materiales, las relaciones entre áreas y las restricciones físicas del proceso productivo. La recolección de información se realizó mediante visitas técnicas, entrevistas al personal, levantamiento de planos y mediciones cualitativas y cuantitativas. Con base en estos datos, se elaboró una propuesta de distribución que optimiza la disposición de las estaciones de trabajo, reduce los desplazamientos innecesarios y mejora la secuencia lógica del proceso productivo, sin comprometer la seguridad operativa. Como resultado, se obtuvo una distribución capaz de mejorar significativamente la eficiencia operativa y fortalecer la integración funcional entre las áreas, lo que facilita el control del proceso y el cumplimiento de los tiempos de entrega.

Palabras clave: análisis; distribución de planta; eficiencia operativa; mejora; procesos; SLP.

¹ Ingeniera industrial, Universidad del Valle, Sede Palmira valentina.davila@correounivalle.edu.co / <https://orcid.org/0009-0008-2085-355X>

² Ingeniero industrial, Universidad del Valle, Sede Palmira jefferson.jaramillo@correounivalle.edu.co / <https://orcid.org/0009-0003-3770-9638>

³ Ingeniera industrial, Universidad del Valle, Sede Palmira isabella.toro.vidal@correounivalle.edu.co / <https://orcid.org/0009-0009-5694-0150>

ABSTRACT

This article presents the results of a study conducted at an architectural carpentry company aimed at improving operational efficiency through a proposed plant redesign. The methodology used was Systematic Layout Planning (SLP), which made it possible to analyze material flow, the relationships between areas, and the physical constraints of the production process. Data collection was conducted through technical visits, staff interviews, floor plans, and qualitative and quantitative measurements. Based on this data, a layout proposal was developed that optimizes the arrangement of workstations, reduces unnecessary travel, and improves the logical sequence of the production process, without compromising operational safety. The result was a layout that significantly improves operational efficiency and strengthens functional integration between areas, facilitating process control and meeting delivery deadlines.

Keywords: analysis; improvement; operational efficiency; plant layout; processes; SLP.

1. INTRODUCCIÓN

Los estudios de caso en ingeniería industrial permiten comprender a profundidad problemáticas reales dentro de organizaciones específicas para generar propuestas de mejora aplicables y contextualizadas. El presente caso de estudio se desarrolla en una empresa dedicada al suministro, diseño, fabricación e instalación de carpintería arquitectónica, una organización de tamaño pequeño a mediano dedicada al diseño, ubicada en Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

Durante una intervención tipo consultoría académica, se evidenciaron deficiencias estructurales en la distribución física de la planta de producción que afectan negativamente la eficiencia operativa. La disposición actual de las estaciones de trabajo genera recorridos extensos, cruces de rutas, traslados innecesarios de materiales y una alta dependencia del esfuerzo físico de los operarios, particularmente en tareas de carga y desplazamiento. Estas condiciones representan un obstáculo importante para la productividad, impactan la calidad del producto y ralentizan el cumplimiento de tiempos de entrega.

En este sentido, el presente estudio tiene como propósito analizar detalladamente la situación actual de la planta de producción de la empresa, identificar las principales causas de ineficiencia operativa y diseñar

una propuesta de reorganización de la planta que permita mejorar el flujo de trabajo, reducir tiempos y distancias recorridas, y contribuir a un entorno laboral más funcional.

Para alcanzar este objetivo, se aplicó la metodología Systematic Layout Planning (SLP), ampliamente validada en contextos similares, complementada con recolección de datos primarios, observación directa y análisis cualitativo de las relaciones entre procesos. Este enfoque permite desarrollar una solución coherente con las necesidades específicas de la empresa, brindando herramientas prácticas para la toma de decisiones estratégicas en el rediseño de sus operaciones productivas.

Descripción de la situación / Problema

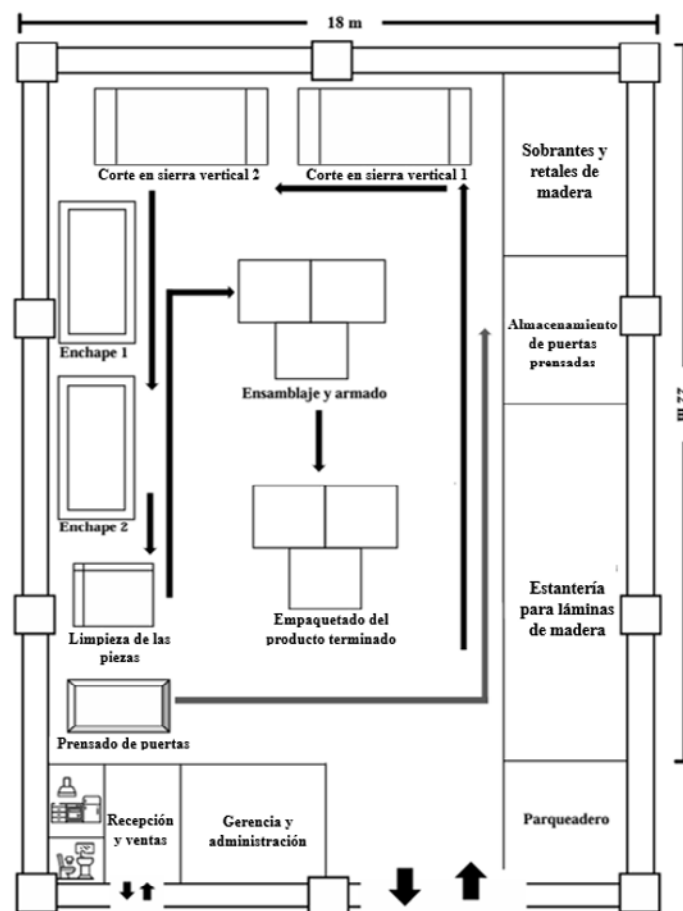
La empresa seleccionada para este estudio enfrenta ineficiencias en su planta de producción derivadas de la distribución de las áreas de trabajo. En el estado actual, los procesos productivos presentan largos desplazamientos entre estaciones, lo cual incrementa los tiempos improductivos y genera fatiga en los operarios. Asimismo, la disposición de las diferentes áreas de trabajo genera intersecciones en el flujo de materiales e insumos, lo que aumenta el riesgo de accidentes y

afecta negativamente los tiempos asociados al procedimiento del producto final. Por ello, resulta pertinente hacer un análisis de relaciones que permita evaluar la necesidad de la cercanía entre áreas y eliminar las rutas cruzadas en el flujo del producto.

Una segunda problemática identificada es la falta de herramientas de apoyo para el desplazamiento de materiales. Los operarios deben realizar manualmente el desplazamiento de materia prima y productos terminados, lo que representa una dificultad adicional, especialmente para el personal de nuevo ingreso.

En la figura 1, se presenta la distribución actual de la planta, que inicia en la estantería de láminas de madera y culmina en el área de empaque del producto terminado. En la parte superior, se encuentran las sierras verticales para el corte de madera, seguido por estaciones de enchape, limpieza, prensado, ensamblaje y empaque, distribuidas de manera secuencial a lo largo del espacio central. A la derecha se ubican áreas de almacenamiento para sobranes, puertas prensadas y láminas de madera, mientras que en la esquina inferior izquierda se encuentran las zonas de recepción, ventas, gerencia y administración.

Figura 1. Disposición actual de la empresa



Fuente: elaboración propia.

Revisión de la literatura

El estudio se sustenta en diversos trabajos previos que demuestran la efectividad de mejorar la distribución de planta para optimizar la eficiencia. La metodología SLP (Systematic Layout Planning), desarrollada por Muther (1970), es ampliamente utilizada para abordar este tipo de problemas mediante el análisis cualitativo y cuantitativo de las relaciones entre áreas. En este contexto, en la literatura se encuentran múltiples aplicaciones y análisis que soportan la utilización de esta metodología en distintos entornos productivos como se presenta a continuación:

- Jiménez (2021) destaca la aplicación de SLP para rediseñar procesos en carpintería, lo que permitió disminuir tiempos y mejorar la secuencia de producción.
- Fernández y Rhenals (2011) demuestran que una mala distribución afecta el uso del espacio, la organización de materiales y los desplazamientos del personal.
- Basantes (2019) señala que una adecuada distribución incide en la automatización, la velocidad de producción y la adaptación a la demanda.
- Ortiz y Zúñiga (2022) subrayan que la productividad está influida por múltiples factores, entre ellos la relación entre distribución, calidad y costos.
- Felecia et al. (2020) determinaron un diseño de instalaciones para una bodega, utilizando la metodología SLP y concluyeron que el diagrama de relación de actividades y el diagrama de relación de espacios son fundamentales para un diseño óptimo.
- Zhou et al. (2015) desarrollaron la disposición global de la fábrica a pesar de las limitaciones del tamaño, la posición y la relación de las unidades, y concluyeron que el uso del método SLP disminuye el tiempo de retraso en la línea de producción.

La aplicación de la metodología Systematic Layout Planning (SLP) en las micro y pequeñas empresas (mypes) representa una herramienta estratégica para mejorar la eficiencia operativa, especialmente

en contextos donde los recursos son limitados y la optimización es clave para la sostenibilidad. Esta metodología permite diseñar o rediseñar la distribución física de una planta o área de trabajo de forma sistemática y estructurada, considerando criterios como el flujo de materiales, las relaciones entre actividades, la seguridad, la ergonomía y el crecimiento futuro (Muther, 1973).

En el caso de las mypes, donde los espacios de trabajo suelen ser reducidos y los procesos poco estandarizados, el uso de SLP permite maximizar el espacio disponible, reducir tiempos improductivos y mejorar la coordinación entre procesos, con lo cual se logran menores costos operativos y mayor productividad (Niebel y Freivalds, 2014). Además, al identificar las relaciones entre funciones y recursos, se facilita una mejor toma de decisiones respecto a la ubicación de maquinaria, estaciones de trabajo, zonas de almacenamiento y circulación (Tompkins et al., 2010).

Otro aspecto relevante es que la implementación de esta metodología contribuye a mejorar las condiciones de trabajo al evitar desplazamientos innecesarios, reducir riesgos laborales y organizar el entorno productivo, lo cual impacta positivamente en la motivación del personal y la calidad del producto o servicio ofrecido (Mendoza Barreiro et al., 2025).

Por último, aplicar SLP fomenta una visión estratégica y profesional dentro de las mypes, al prepararlas para escalar sus operaciones, competir en mercados más exigentes y adaptarse con mayor facilidad a cambios en la demanda o la tecnología, debido a la mejora en la capacidad de respuesta organizacional (Isnaini et al., 2025).

2. METODOLOGÍA

Para abordar las problemáticas detectadas en la distribución de planta de la empresa objeto de estudio, se adoptó la metodología Systematic Layout Planning (SLP), una herramienta reconocida en la ingeniería industrial por su eficacia en el diseño y reorganización de espacios productivos. Esta metodología

integra aspectos cualitativos y cuantitativos para garantizar soluciones adaptadas a las necesidades reales de la operación. La aplicación del método se desarrolló en tres fases principales: diagnóstico, análisis y propuesta de mejora.

En la primera fase, se realizó una recolección detallada de información a través de visitas técnicas a la planta de producción, donde se observó de manera directa el proceso productivo y se identificaron las condiciones actuales de distribución física. Durante estas visitas, se documentaron recorridos, rutas de materiales y características del entorno. Además, se llevaron a cabo entrevistas semiestructuradas con el personal operativo y administrativo, con el objetivo de conocer sus percepciones sobre los problemas existentes y las posibles mejoras. También se tomaron medidas físicas del área total de la planta, se registraron distancias recorridas entre estaciones de trabajo y se construyó un plano base en formato de cuadrícula (2 × 2 metros por celda), lo cual permitió representar la distribución actual con precisión.

En la segunda fase, se procedió al análisis cualitativo de las relaciones entre las áreas de trabajo utilizando el diagrama de relaciones tipo Muther, que permite clasificar las interacciones entre procesos según su necesidad de cercanía mediante códigos como A (absolutamente necesario), E (especialmente necesario), I (importante), O (ordinario), U (no necesario) y X (no deseado). Esta información fue sistematizada en una matriz de cercanía, lo que facilitó el análisis estructurado de las interacciones. Paralelamente, se determinó el espacio requerido por cada estación de trabajo en metros cuadrados, lo cual se tradujo en bloques de 4 m², para su posterior ubicación en el plano. Esta información fue clave para ajustar la distribución de manera realista y funcional.

Posteriormente, en la tercera fase, se diseñaron propuestas de distribución mediante herramientas gráficas y analíticas como el diagrama de hilos, que permitió visualizar los recorridos entre áreas y detectar desplazamientos innecesarios. Con base en los resultados de las fases anteriores, se elaboró una nueva propuesta de

distribución, que prioriza la secuencia lógica del flujo de producción, reduce cruces de rutas y mejora la accesibilidad entre procesos con alta interacción. Para evaluar la efectividad del nuevo diseño, se calcularon y compararon las cantidades de pasos entre estaciones en la distribución actual y en la propuesta. También se elaboraron matrices de eficacia operativa, que relacionan la cercanía deseada con la ubicación real, y matrices de adyacencia física, que indican la proximidad efectiva entre áreas clave.

El número de pasos de la distribución de planta se calcula utilizando el layout en cuadrícula, donde cada bloque representa un área de 2 × 2 metros. Un paso equivale a un bloque:

$$\text{Número de pasos} = \sum \text{Bloques entre estaciones}$$

La eficacia de la distribución de planta se calcula así:

$$\text{Eficacia} = \sum \text{Valor de relación} \times \text{Número de pasos}$$

La adyacencia de la distribución de planta se calcula construyendo una matriz binaria (de ceros y unos), donde:

· 1 indica que dos áreas están adyacentes
0 indica que no lo están.

La adyacencia relativa de la distribución de planta se calcula mediante:

$$\text{Adyacencia relativa} = \frac{\sum \text{Número de pasos} \times \text{Adyacencia}}{\sum \text{Número de pasos}}$$

Resultados y análisis

En la tabla 1, se muestra una clasificación de niveles de cercanía entre áreas comúnmente utilizada en el análisis de distribución de espacios (como el diagrama de relaciones o diagrama tipo Muther). Cada letra representa un tipo de relación que indica qué tan conveniente o necesaria es la proximidad física entre dos áreas.

En la figura 2, se presenta un diagrama de relaciones tipo Muther que muestra el nivel de cercanía deseado entre las diferentes áreas del proceso productivo de una planta, utilizando letras que indican la prioridad de proximidad.

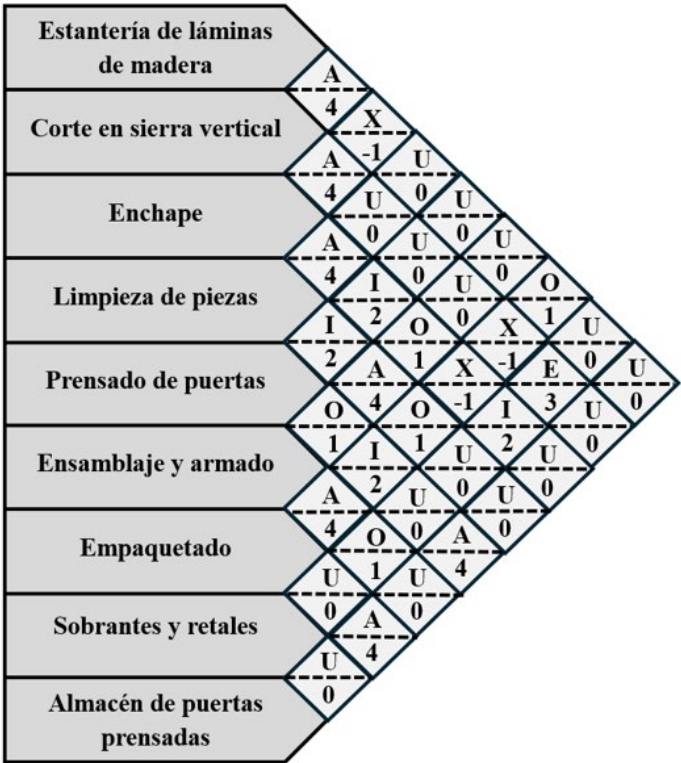
Cada celda triangular compara dos áreas y sugiere cuán juntas deberían estar ubicadas para lograr eficiencia operativa. Este análisis permite evaluar si la distribución física actual de la planta corresponde a estas prioridades, lo que contribuye a optimizar el flujo de trabajo, reducir tiempos y evitar conflictos funcionales entre áreas que deberían o no estar próximas.

Tabla 1. Calificación de cercanía

Tipo de relación	Nivel de cercanía	Valor
A	Absolutamente necesario	4
E	Especialmente importante	3
I	Importante	2
O	Ordinariamente importante	1
U	Sin importancia	0
X	No deseable	-1

Fuente: elaboración propia.

Figura 2. Diagrama de relaciones



Fuente: elaboración propia.

En la tabla 2, se muestra la necesidad de área para cada centro de trabajo dentro de la planta, expresada en metros cuadrados, junto con la cantidad de bloques requeridos, donde cada bloque equivale a una unidad de 2 × 2 m (es decir, 4 m²). Esta información

es fundamental para diseñar o ajustar la distribución física de la disposición, asegurando que cada estación cuente con el espacio suficiente para operar de manera eficiente según sus requerimientos.

Tabla 2. Distribución de los centros de trabajo

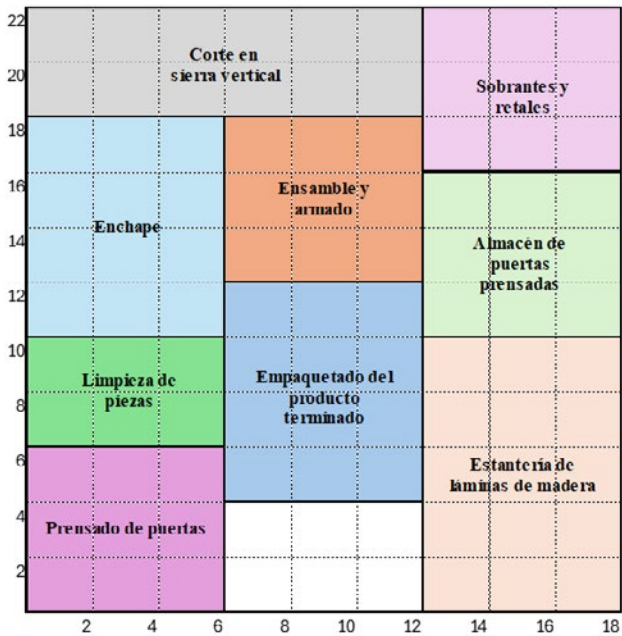
Centro de trabajo	Necesidad de área (m ²)	Cantidad de bloques
Estantería de láminas de madera	48	12
Corte en sierra vertical	35	8,75
Enchape	32,5	8,125
Limpieza de piezas	60	15
Prensado de puertas	46,8	11,7
Carpintería y armado	22,5	5,625
Empaquetado	33	8,25
Sobrantes y retales	34,8	8,7
Almacén de puertas prensadas	46	11,5

Fuente: elaboración propia.

En la figura 3, se muestra la distribución actual de la zona de producción de la empresa en una cuadrícula, donde cada celda representa un bloque de 2 × 2 m. Esta representación permite verificar si el espacio asignado a cada centro de trabajo coincide con

sus necesidades reales (como se indicó en la tabla 2) y facilita el análisis del flujo de procesos, distancias recorridas y posibles ajustes para mejorar la eficiencia productiva de la disposición.

Figura 3. Distribución actual de la zona de producción de la empresa



Fuente:
elaboración propia.

En la tabla 3 se presenta una matriz de puntuación de relaciones entre áreas de trabajo, donde los valores numéricos indican la conveniencia o inconveniencia de cercanía entre ellas, derivados del diagrama de

relaciones tipo Muther (figura 2). Esta matriz es esencial para proponer una redistribución de planta más eficiente, ya que busca alinear las ubicaciones físicas con las prioridades de cercanía funcional.

Tabla 3. Relación entre los centros de trabajos

Relación	Estantería de láminas de madera	Corte en sierra vertical	Enchape	Limpieza de piezas	Prensado de puertas	Ensamblaje y armado	Empaquetado	Sobrantes y retales	Almacén de puertas prensadas
Estantería de láminas de madera		4	-1	0	0	0	1	0	0
Corte en sierra vertical			4	0	0	0	-1	3	0
Enchape				4	2	1	-1	2	0
Limpieza de piezas					2	4	1	0	0
Prensado de puertas						1	2	0	4
Ensamblaje y armado							4	1	0
Empaquetado								0	4
Sobrantes y retales									0
Almacén de puertas prensadas									

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 4, se muestran los pasos entre centros de trabajo en la distribución actual de la planta (figura 3), donde cada valor representa la cantidad de pasos necesarios para trasladarse de una estación a otra. Una menor cantidad de pasos entre procesos con alta interacción indica una buena ubicación relativa, mientras

que valores altos pueden señalar oportunidades de mejora en la disposición de la planta. Esta información es clave para reducir desplazamientos innecesarios, mejorar el flujo de trabajo y optimizar la eficiencia operativa

Tabla 4. Pasos entre los centros de trabajos de la distribución actual

PASOS (Actual)	Estantería de láminas de madera	Corte en sierra vertical	Enchape	Limpieza de piezas	Prensado de puertas	Carpintería y armado	Empaquetado	Sobrantes y retales	Almacén de puertas prensadas	TOTAL
Estantería de láminas de madera		5	4	3	3	2	0	3	0	20
Corte en sierra vertical			0	4	6	0	3	0	2	15
Enchape				0	2	0	0	3	3	8
Limpieza de piezas					0	2	0	7	4	13
Prensado de puertas						4	0	9	6	19
Carpintería y armado							0	0	0	0
Empaquetado								3	0	3
Sobrantes y retales									0	0
Almacén de puertas prensadas										78

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 5, se muestra la eficacia de la distribución actual de los centros de trabajo en la planta, calculada a partir de la relación entre la cercanía deseada entre procesos y los pasos reales que hay entre ellos. En

general, esta matriz permite identificar qué tan alineada está la distribución física con las necesidades operativas y dónde se pueden hacer ajustes para mejorar la eficiencia del flujo productivo.

Tabla 5. Eficacia de la distribución actual

EFICACIA (Actual)	Estantería de láminas de madera	Corte en sierra vertical	Enchape	Limpieza de piezas	Prensado de puertas	Carpintería y armado	Empaquetado	Sobrantes y retales	Almacén de puertas prensadas	TOTAL
Estantería de láminas de madera		20	-4	0	0	0	0	0	0	16
Corte en sierra vertical			0	0	0	0	-3	0	0	-3
Enchape				0	4	0	0	6	0	10
Limpieza de piezas					0	8	0	0	0	8
Prensado de puertas						4	0	0	24	28
Carpintería y armado							0	0	0	0
Empaquetado								0	0	0
Sobrantes y retales									0	0
Almacén de puertas prensadas										59

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 6 se presenta la matriz de adyacencia actual entre los centros de trabajo en la planta de producción. Cada celda contiene un valor de 1 si dos áreas están físicamente adyacentes (es decir, comparten frontera o están contiguas) y un 0 si no lo están.

Esta matriz es útil para evaluar la cercanía física entre procesos relacionados, lo cual ayuda a identificar si la distribución facilita el flujo de materiales o si hay oportunidades de mejora al reubicar áreas que interactúan frecuentemente pero no están contiguas.

Tabla 6. Adyacencia de la distribución actual

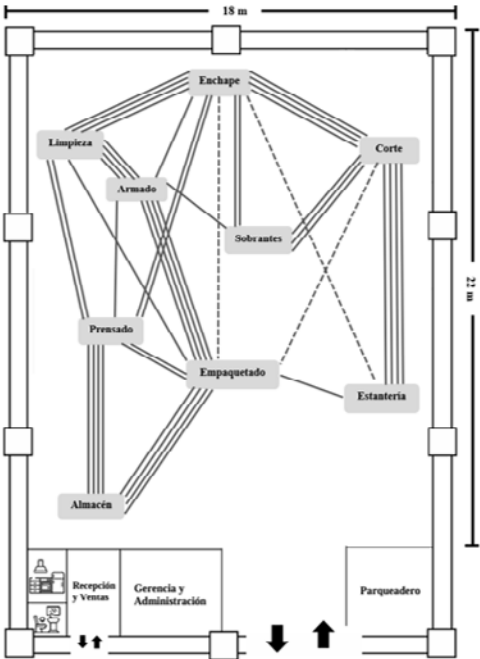
ADYACENCIA (Actual)	Estantería de láminas de madera	Corte en sierra vertical	Enchape	Limpieza de piezas	Prensado de puertas	Carpintería y armado	Empaquetado	Sobrantes y retales	Almacén de puertas prensadas	TOTAL
Estantería de láminas de madera		0	0	1	1	1	1	1	1	6
Corte en sierra vertical			1	1	1	1	0	1	1	6
Enchape				1	0	1	1	0	1	4
Limpieza de piezas					1	0	1	1	1	4
Prensado de puertas						0	1	1	0	2
Carpintería y armado							1	1	1	3
Empaquetado								1	1	2
Sobrantes y retales									1	1
Almacén de puertas prensadas										28

Fuente: elaboración propia.

En la figura 4, se presenta el diagrama de hilos propuesto para la distribución física de los centros de trabajo dentro de la planta, el cual muestra gráficamente el nivel de cercanía entre ellos mediante líneas, según lo indicado en la figura 2. Este tipo de diagrama ayuda a visualizar cuán eficiente es el diseño de planta, ya que permite identificar recorridos innecesarios, cuellos de botella o áreas que deberían estar más cercanas para reducir tiempos y costos de transporte interno.

Figura 4. Diagrama de hilos para la propuesta de distribución

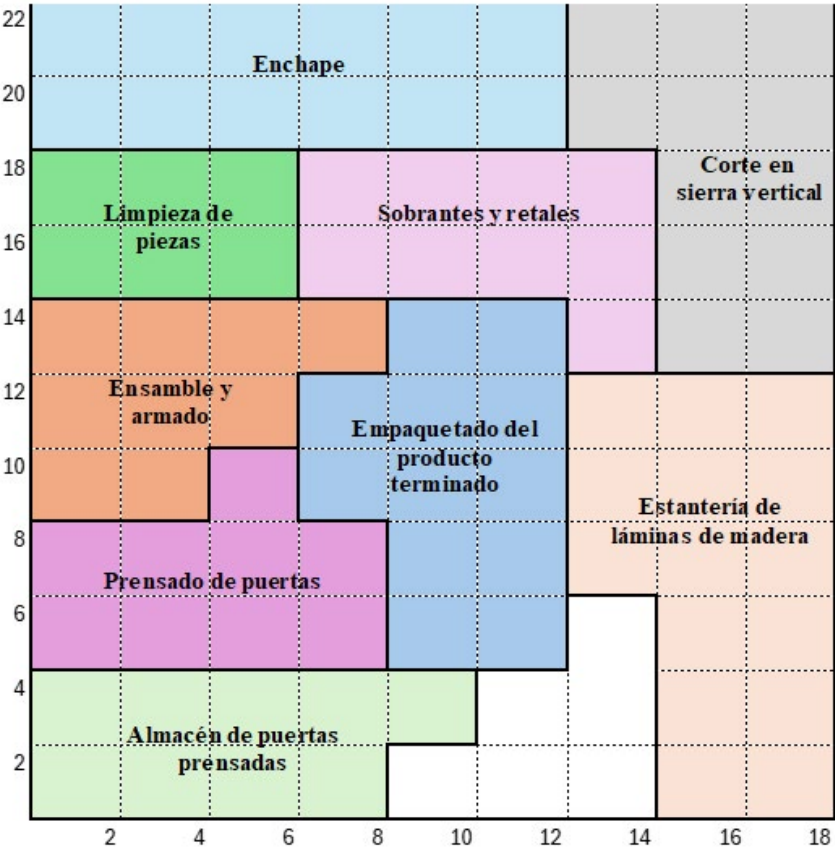
Fuente: elaboración propia.



En la figura 5, se muestra la distribución propuesta de la zona de producción de la empresa, organizada en una cuadrícula que permite visualizar de forma clara la ubicación y cercanía entre las distintas áreas del proceso productivo. A diferencia la distribución original (figura 3), esta propuesta busca optimizar los

recorridos y cumplir con los niveles de cercanía sugeridos en el diagrama de relaciones Muther (figura 2). También se observa un reordenamiento que reduce distancias innecesarias, con el objetivo de hacer el proceso más eficiente y coherente con las relaciones funcionales entre las estaciones.

Figura 5. Distribución propuesta para la zona de producción de la empresa



Fuente: elaboración propia.

En la tabla 7, se presentan los pasos entre los centros de trabajo según la distribución propuesta. Se observa una reducción y redistribución de los movimientos, concentrando los flujos en rutas más directas y eliminando pasos innecesarios. Además, la propuesta muestra una mayor integración y secuencialidad en el

proceso, lo que facilita la disminución de cuellos de botella y mejora la eficiencia operativa al reducir traslados y tiempos muertos, alineándose con los principios de una buena distribución en planta para optimizar recursos y minimizar costos de manejo de materiales.

Tabla 7. Pasos entre centros de trabajos de la distribución propuesta

PASOS	Estantería de láminas de madera	Corte en sierra vertical	Enchape	Limpieza de piezas	Prensado de puertas	Carpintería y armado	Empaquetado	Sobrantes y retales	Almacén de puertas prensadas	TOTAL
Estantería de láminas de madera		0	4	5	2	3	0	0	2	16
Corte en sierra vertical			0	4	6	3	1	0	7	21
Enchape				0	4	2	2	0	7	15
Limpieza de piezas					5	0	2	0	5	12
Prensado de puertas						0	0	3	0	3
Carpintería y armado							0	0	2	2
Empaquetado								0	0	0
Sobrantes y retales									5	5
Almacén de puertas prensadas										74

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 8, se muestra la matriz de eficacia de la distribución propuesta. Se observa que genera menos movimientos innecesarios y más fluidez en el proceso, lo que puede traducirse en menores tiempos de traslado, menos manipulación y mayor eficiencia operativa.

Tabla 8. Eficacia de la distribución propuesta

EFICACIA	Estantería de láminas de madera	Corte en sierra vertical	Enchape	Limpieza de piezas	Prensado de puertas	Carpintería y armado	Empaquetado	Sobrantes y retales	Almacén de puertas prensadas	TOTAL
Estantería de láminas de madera		0	-4	0	0	0	0	0	0	-4
Corte en sierra vertical			0	0	0	0	-1	0	0	-1
Enchape				0	8	2	-2	0	0	8
Limpieza de piezas					10	0	2	0	0	12
Prensado de puertas						0	0	0	0	0
Carpintería y armado							0	0	0	0
Empaquetado								0	0	0
Sobrantes y retales									0	0
Almacén de puertas prensadas										15

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 9, se muestra la matriz de adyacencia de la distribución propuesta. Se observa una mejora significativa respecto a la distribución actual (tabla 6), ya que incrementa el número de adyacencias (representadas por los unos) entre los centros de trabajo más relevantes, facilitando el flujo continuo de materiales y reduciendo distancias innecesarias. La mayoría de los centros de trabajo clave están conectados directamente con varios, lo que permite mayor flexibilidad y eficiencia en los movimientos. Esta mayor conectividad contribuye a minimizar los tiempos de traslado, mejorar la comunicación entre procesos y optimizar el uso del espacio, logrando una operación más ágil y eficiente dentro de la planta.

Tabla 9. Adyacencia de la distribución propuesta

ADYACENCIA	Estantería de láminas de madera	Corte en sierra vertical	Enchape	Limpieza de piezas	Prensado de puertas	Carpintería y armado	Empaquetado	Sobrantes y retales	Almacén de puertas prensadas	TOTAL
Estantería de láminas de madera		1	0	1	1	1	1	1	1	7
Corte en sierra vertical			1	1	1	1	0	1	1	6
Enchape				1	0	0	0	1	1	3
Limpieza de piezas					0	1	0	1	1	3
Prensado de puertas						1	1	1	1	4
Carpintería y armado							1	1	1	3
Empaquetado								1	1	2
Sobrantes y retales									1	1
Almacén de puertas prensadas										29

Fuente: elaboración propia.

3.1 Comparación de resultados

En la tabla 10, se presenta la comparación entre la distribución actual y la distribución propuesta, realizada a partir de cuatro indicadores clave: número de pasos, eficacia, adyacencia y adyacencia relativa. Estos parámetros permiten evaluar el grado de eficiencia operativa del diseño de planta, con el fin de determinar si la propuesta genera mejoras reales en el flujo de trabajo.

Tabla 10. Comparación entre las dos distribuciones

	Distribución actual	Distribución propuesta
Número de pasos	78	74
Eficacia	59	15
Adyacencia	28	29
Adyacencia relativa	62,82%	72,97%

Fuente: elaboración propia.

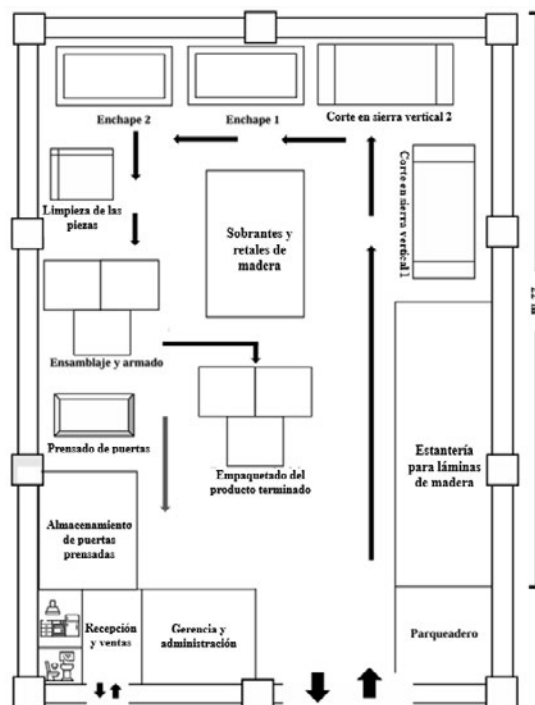
En cuanto al número de pasos, se observa una reducción de 78 a 74 en la propuesta, lo que representa un avance significativo en términos de movilidad dentro de la planta. Aunque la diferencia parece pequeña, en entornos productivos donde los desplazamientos se repiten constantemente a lo largo de la jornada, esta disminución implica un ahorro importante en tiempo y esfuerzo físico por parte del personal. Asimismo, se minimizan las interrupciones y se favorece la continuidad del flujo productivo.

Respecto al indicador de eficacia, se evidencia una mejora notable al pasar de un valor de 59 en la distribución actual a 15 en la propuesta. Este resultado indica que la nueva distribución está mucho más alineada con las relaciones funcionales deseadas entre las estaciones de trabajo. Por lo tanto, los procesos que requieren estar cercanos efectivamente lo están, lo cual reduce tiempos de traslado, riesgos por cruces de rutas y pérdidas por manipulación innecesaria. Este descenso en la puntuación de eficacia resalta el impacto positivo del rediseño en la funcionalidad general de la planta.

El análisis de adyacencia física también muestra un progreso. La propuesta incrementa ligeramente el número de estaciones adyacentes, pasando de 28 a 29. Aunque el cambio numérico es pequeño, representa una mejora en la continuidad espacial entre procesos clave. Esta cercanía física favorece el flujo continuo de materiales y facilita la supervisión de las actividades, contribuyendo a una operación más fluida.

Por último, el indicador de adyacencia relativa presenta una mejora más evidente, al pasar de 62,82 % en la distribución actual a un 72,97 % en la propuesta. Este porcentaje indica que tan cerca están realmente las áreas que, según el análisis funcional, deberían estar adyacentes. Un aumento de más del 10 % demuestra que la nueva disposición respeta de mejor forma las prioridades de cercanía establecidas, con lo cual se optimiza la disposición física del espacio en relación con los requerimientos operacionales.

Figura 6. Distribución propuesta para la empresa



Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

La aplicación de la metodología Systematic Layout Planning (SLP) en la empresa objeto de estudio permitió abordar de manera estructurada las ineficiencias operativas derivadas de una distribución inadecuada de la planta. A través del análisis cualitativo de relaciones funcionales, el levantamiento de información física, la elaboración de diagramas y el diseño de propuestas de redistribución, se logró desarrollar un modelo de distribución que responde con mayor precisión a las necesidades reales del proceso productivo.

Los indicadores obtenidos en los resultados confirman que la propuesta de redistribución no solo mejora la organización física del espacio, sino que también impacta positivamente en la productividad y en la

eficiencia general de la planta. Esta intervención demuestra que, incluso en empresas pequeñas o medianas, el uso de herramientas de la ingeniería industrial puede generar transformaciones tangibles, sostenibles y de bajo costo, orientadas a optimizar el rendimiento operativo y las condiciones laborales.

Finalmente, este estudio refuerza la importancia de integrar enfoques analíticos y prácticos en los procesos de mejora continua, destacando que la planeación adecuada del espacio físico es un factor clave para el éxito de cualquier sistema productivo. Como línea futura de trabajo, se sugiere evaluar la implementación de sistemas de apoyo logístico, como carros de transporte o señalización, así como la capacitación del personal en la nueva distribución, para maximizar los beneficios de la propuesta adoptada.

REFERENCIAS

- Basantes Chaca, A. J. (2019). Layout del área de producción para la optimización de la secuencia de trabajo en Mao Corporación Impactex Cia. Ltda. [trabajo de grado]. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Felecia, Halim, S. y Wulandari, D. (2020). Library facility layout design for digital native generation [ponencia]. 2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, (IEEM), Singapur. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2017.8290011>
- Fernández Arévalo, W. E., y Rhenals Cassiani, N. C. (2011). Diseño de una distribución de planta en la empresa Estibas y Carpintería Elguedo Ltda. [trabajo de grado]. Universidad de Cartagena.
- Isnaini, W., Masruroh, N. A., y Dharma, I. G. B. (2025). Dynamic planning approach of facility layout from industry perspective: A systemic literatura review. *Production Engineering Archives*, 31(1), 27-40. <https://doi.org/10.30657/pea.202531.3>
- Jiménez Arteaga, T. S. (2021). Diseño de distribución en planta en el área de carpintería en el centro del muchacho trabajador [trabajo de grado]. Universidad Tecnológica Indoamérica.
- Mendoza Barreiro, A., Almeida Diaz, J., Gamboa Turbay, E., y Jácome Alarcón, L., (2025). Diseño de distribución de planta orientado a la minimización de riesgos laborales. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 6(4), 531-540
- Muther, R. (1970). Distribución en planta. Hispano Europea.
- Muther, R. (1973). Systematic Layout Planning (2.º ed.). Cahners Books.
- Niebel, B. W., y Freivalds, A. (2014). Ingeniería industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo (12.º ed.). McGraw-Hill.
- Ortiz Naranjo, E. J., y Zúñiga Valle, A. X. (2022). Distribución de planta y sus factores: Incidencia en el mejoramiento de la productividad. *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT* ISSN: 2588-0721, 7(1). <https://doi.org/10.33936/riemat.v7i1.4840>
- Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., y Tanchoco, J. M. A. (2010). Facilities planning (4.º ed.). John Wiley & Sons.
- Zhou, D., Wang, L., Feng, L., Zhao, D., y Guan, T. (2015). Research on improvement of plant layout based on process analysis. En E. Qi, J. Shen, y R. Dou (Eds.), *Proceedings of the 21st International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management 2014* (pp. 253-256). Atlantis Press. https://doi.org/10.2991/978-94-6239-102-4_53

PERFILES DE RIESGO DE SALUD MENTAL EN ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS MEDIANTE GHQ-28 Y TÉCNICAS DE *MACHINE LEARNING*

PROFILES OF MENTAL HEALTH RISK IN UNIVERSITY STUDENTS USING GHQ-28 AND MACHINE LEARNING TECHNIQUES



¹ Doris Paola Sanabria García,
² Jesus Antonio Villarraga Palomino

^{1,2} Universidad Nacional de Colombia

Cómo citar: Sanabria García, D. P., & Villarraga, J. A. (2025). Perfiles de riesgo de salud mental en estudiantes universitarios mediante GHQ-28 y técnicas de Machine Learning. *Publicaciones E Investigación*, 19(2). <https://doi.org/10.22490/25394088.10120>

Recibido 12 Agosto 2025, Aprobado 21 Septiembre 2025

RESUMEN

El bienestar psicológico de los estudiantes universitarios es clave para su permanencia y rendimiento académico. Este estudio tuvo como objetivo identificar y caracterizar perfiles de riesgo psicológico en estudiantes de Ingeniería Agronómica y Ciencias Sociales de la Universidad de Cundinamarca, a partir del cuestionario GHQ-28, que evalúa cuatro subescalas: somatización, ansiedad/insomnio, disfunción social y depresión. La investigación, de tipo cuantitativo con enfoque descriptivo, exploratorio y predictivo, incluyó a 227 estudiantes que completaron voluntariamente el instrumento. Las respuestas fueron codificadas con el método Likert (0-1-2-3) y analizadas junto con variables sociodemográficas. Se aplicaron análisis descriptivos, reducción de dimensionalidad mediante análisis de componentes principales (PCA) y agrupamiento no supervisado con K-Means, con lo cual se identificaron tres perfiles de riesgo: bajo, intermedio y alto. Para la clasificación predictiva, se implementaron modelos de regresión logística y random forest, que evidenciaron un mejor desempeño del modelo logístico (AUC = 0.96) frente al random forest (AUC = 0.57). Los hallazgos permiten proponer estrategias de intervención diferenciadas y resaltan la utilidad del GHQ-28 como herramienta de cribado en entornos universitarios.

¹ Magíster en enseñanza de las ciencias exactas / ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5130-6544>
Correo electrónico: dosanabriag@unal.edu.co

² Licenciado en matemáticas. Especialista en estadística aplicada. Magíster en Ciencia de Datos. Master en enseñanza de las ciencias exactas y naturales / ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5379-5156> / Correo electrónico: dosanabriag@unal.edu.co

Palabras clave: salud mental; GHQ-28; somatización; ansiedad; disfunción social; depresión; PCA; K-Means; regresión logística

ABSTRACT

University students' psychological well-being is essential for their academic persistence and performance. This study aimed to identify and characterize psychological risk profiles among students of Agricultural Engineering and Social Sciences at the University of Cundinamarca, using the General Health Questionnaire (GHQ-28), which assesses four subscales: somatization, anxiety/insomnia, social dysfunction, and severe depression. This quantitative research, with a descriptive, exploratory, and predictive approach, included 227 students who voluntarily completed the instrument. Responses were coded using the Likert method (0-1-2-3) and analyzed along with sociodemographic variables. Descriptive statistics, dimensionality reduction through Principal Component Analysis (PCA), and unsupervised clustering with K-Means led to the identification of three distinct risk profiles: low, intermediate, and high. For predictive classification, logistic regression and random forest models were implemented, with logistic regression showing superior performance ($AUC = 0.96$) compared to random forest ($AUC = 0.57$). Findings support the design of targeted intervention strategies and highlight the GHQ-28's utility as a screening tool in university settings.

Keywords: mental health; GHQ-28; somatization; anxiety; social dysfunction; depression; PCA; K-Means; logistic regression.



1. INTRODUCCIÓN

La salud mental ha sido reconocida por la Organización Mundial de la Salud como un pilar esencial del bienestar humano y del desarrollo sostenible. Particularmente, la población de estudiantes universitarios constituye un grupo especial que atraviesa un periodo transitorio crítico, en el que pasan de la adolescencia a la adultez, intentan encajar, mantener un promedio, cumplir en el trabajo y adaptarse a estar lejos de casa, en medio de múltiples presiones (Sarokhani et al., 2013). En este escenario, la evaluación del estado mental de los estudiantes se convierte en una tarea prioritaria para garantizar trayectorias formativas integrales.

En este contexto, uno de los instrumentos más utilizados a nivel internacional para la evaluación de la salud mental es el General Health Questionnaire (GHQ), diseñado por David Goldberg en la década de 1970 en el Instituto de Psiquiatría del King's College London, con el objetivo de detectar la severidad

de trastornos psiquiátricos menores. A pesar de que su denominación sugiere la medición de la salud general, su enfoque real consiste en valorar el estado de salud mental, especialmente síntomas como depresión, ansiedad, inadecuación social e hipocondría (García, 1999; Goldberg, 1972). La versión abreviada de 28 ítems (GHQ-28), traducida y validada en múltiples idiomas, agrupa sus preguntas en cuatro subescalas: síntomas somáticos, ansiedad e insomnio, disfunción social y depresión grave (Goldberg y Hillier, 1979). Se trata de un cuestionario autoadministrado, ampliamente reconocido por su eficacia como herramienta de cribado y por su versatilidad de uso tanto en entornos universitarios como en el ámbito de la salud pública, lo que respalda su elección en el presente estudio (Silva-Gutiérrez y De la Cruz-Guzmán, 2017).

En Colombia, esta problemática ha sido reconocida como un asunto de salud pública, dado el incremento

sostenido en los reportes de trastornos psicoemocionales, intentos de suicidio y abandono educativo relacionados con el malestar psicológico.

Sin embargo, los procesos del sistema de salud no solo son complejos desde la parte conceptual, sino que, por sus múltiples fuentes de información, generan grandes volúmenes de datos, y el procesamiento de estos a través de técnicas de aprendizaje automático o *machine learning* resulta determinante para garantizar resultados efectivos, pues estas técnicas permiten implementar modelos con alta precisión. Por ello, se han convertido en una de las vías más utilizadas a la hora de apoyar el sistema de salud en la predicción, detección y prevención de enfermedades mentales (Tran y Kavuluru, 2017, citados por Castrillón, 2022).

En este contexto, las técnicas de machine learning emergen como herramientas poderosas para detectar patrones en grandes volúmenes de información, lo que permite segmentar a la población estudiantil según indicadores clínicos y sociodemográficos relevantes. Investigaciones recientes han demostrado el potencial de modelos predictivos en la comprensión de conductas suicidas, trastornos depresivos y alteraciones emocionales severas.

En este sentido, resulta fundamental contar con herramientas y metodologías que permitan no solo medir el estado de salud mental de los estudiantes, sino también segmentar y predecir perfiles de riesgo de forma precisa. El presente trabajo integra el uso del GHQ-28 con técnicas de machine learning como el análisis de componentes principales (PCA), el agrupamiento no supervisado (K-Means) y modelos supervisados de clasificación, con el propósito de caracterizar perfiles de riesgo de salud mental en estudiantes de la Universidad de Cundinamarca.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio corresponde a una investigación de tipo cuantitativa, con enfoque descriptivo, exploratorio y predictivo. El objetivo fue identificar

y caracterizar perfiles de riesgo psicológico en estudiantes universitarios a partir de sus respuestas al cuestionario GHQ-28 y variables sociodemográficas. Se utilizó un diseño no experimental, transversal y de análisis secundario de datos.

El universo de estudio estuvo conformado por estudiantes de los programas de Ingeniería Agronómica y Ciencias Sociales de la Universidad de Cundinamarca, sede Fusagasugá. La muestra fue de tipo censal, compuesta por 227 estudiantes que completaron voluntariamente el cuestionario GHQ-28 a través de un formulario de Google Forms, aplicado durante el primer semestre académico de 2025. Como criterio de inclusión, se consideraron únicamente las respuestas completas y con autorización de uso de datos. No se aplicaron criterios de exclusión adicionales.

El instrumento principal fue el cuestionario General Health Questionnaire (GHQ-28), que mide la salud mental percibida en cuatro subescalas: somatización, ansiedad/insomnio, disfunción social y depresión. La codificación se realizó mediante el método Likert (0-1-2-3), que permite una mayor sensibilidad ante variaciones en la percepción del estado mental. Adicionalmente, se recopilieron variables sociodemográficas como edad, género, programa académico, semestre, lugar de residencia, estado civil y ocupación laboral.

El procesamiento de los datos se efectuó en el entorno de Google Colab, utilizando Python 3.11 y librerías especializadas como Pandas, NumPy, Matplotlib, Seaborn, Scikit-learn y K-modes. No se empleó equipamiento físico adicional, dado que el análisis fue totalmente computacional. Para la reducción de dimensionalidad y visualización de perfiles, se aplicó el PCA. Para el análisis no supervisado, se empleó el agrupamiento con K-Means, y para la clasificación predictiva del riesgo psicológico (definido como $\text{GHQ-28} \geq 24$), se utilizaron modelos de regresión logística y *random forest*. La variable de riesgo fue binarizada con base en el umbral propuesto por Goldberg (1979).

La validación del desempeño de los modelos predictivos se realizó mediante la división del conjunto de datos en entrenamiento y prueba (70/30) y el cálculo de métricas como exactitud, precisión, *recall*, *F1-score* y curva Receiver Operating Characteristic, ROC con Area Under the Curve, AUC. Las variables predictoras estuvieron conformadas por las subescalas del GHQ-28 y las variables sociodemográficas.

Los participantes otorgaron consentimiento informado digital para el uso de sus respuestas en fines académicos y de investigación, asegurando el anonimato de los datos.

3. DESARROLLO

Base de datos

La base de datos se consolidó a partir de la aplicación del cuestionario GHQ-28, promovido entre estudiantes de los programas de Ingeniería Agronómica y Licenciatura en Ciencias Sociales de la Universidad de Cundinamarca, Colombia. La recolección se realizó mediante muestreo por conveniencia, con invitación dirigida a estudiantes de todos los semestres de ambos programas.

El instrumento incluyó una sección de caracterización sociodemográfica (edad, sexo, semestre, lugar de residencia, estado civil, condición laboral, entre otros) y las 28 preguntas del cuestionario GHQ-28, codificadas bajo la modalidad Likert para aumentar la sensibilidad en los niveles de malestar psicológico.

Procesamiento

Recolección y validación de registros

La aplicación del cuestionario GHQ-28 se llevó a cabo mediante un formulario en línea (Google Forms) durante el segundo semestre de 2024 y el primer semestre de 2025. Previamente, los participantes aceptaron un consentimiento informado que especificaba el objetivo del estudio, su rol en la

investigación y las garantías de anonimato y confidencialidad de los datos.

Limpieza y preparación de datos

La limpieza incluyó la eliminación de columnas irrelevantes, como la hora de inicio o el correo electrónico, así como la corrección de valores faltantes (NA) y el ajuste de formatos de texto. Las respuestas al GHQ-28 fueron codificadas utilizando el método Likert scoring (0-1-2-3), lo cual permitió una mayor sensibilidad a la variabilidad en las respuestas. Las variables sociodemográficas fueron estandarizadas y transformadas en factores para facilitar su análisis posterior, tanto en los modelos de agrupamiento como en los supervisados.

Análisis descriptivo y exploratorio

Se calcularon medidas de tendencia central y dispersión para cada subescala y se exploró la distribución de puntajes totales del GHQ-28 por grupo de interés (sexo, programa, semestre, lugar de residencia). También se estimó la proporción de estudiantes en riesgo psicológico, definida a partir de un puntaje total igual o superior a 24, siguiendo el punto de corte propuesto por Goldberg (1979).

Para reducir la dimensionalidad del cuestionario y facilitar la interpretación de patrones, se aplicó un PCA. Esta técnica permitió identificar las dimensiones latentes que agrupan las respuestas de los estudiantes, con más del 70 % de la varianza explicada en los dos primeros componentes. A partir del *biplot* resultante, se visualizaron relaciones entre subescalas y estudiantes, lo cual orientó el análisis posterior de agrupamientos.

Posteriormente, se realizó un análisis de agrupamiento no supervisado mediante el algoritmo K-Means, estableciendo tres clústeres como solución óptima. Esta clasificación permitió identificar perfiles diferenciados de estudiantes con bajo, moderado y alto riesgo psicológico, según sus puntajes en las subescalas del GHQ-28. Los perfiles se visualizaron en el plano bidimensional generado por el PCA.

Entrenamiento

Finalmente, se implementaron modelos predictivos supervisados para clasificar a los estudiantes según su pertenencia al grupo de riesgo. Se construyeron dos modelos principales: una regresión logística entrenada con subescalas GHQ-28 y variables sociodemográficas, y un modelo random forest entrenado exclusivamente con variables sociodemográficas. Los modelos fueron evaluados con métricas como exactitud, sensibilidad, especificidad y AUC, utilizando un conjunto de prueba (30 %) separado del total. El desempeño del modelo logístico resultó sobresaliente ($AUC = 0.96$), mientras que el modelo random forest mostró limitaciones ($AUC = 0.57$), lo que reforzó la importancia del GHQ-28 como herramienta fundamental para la predicción.

4. DISCUSIÓN

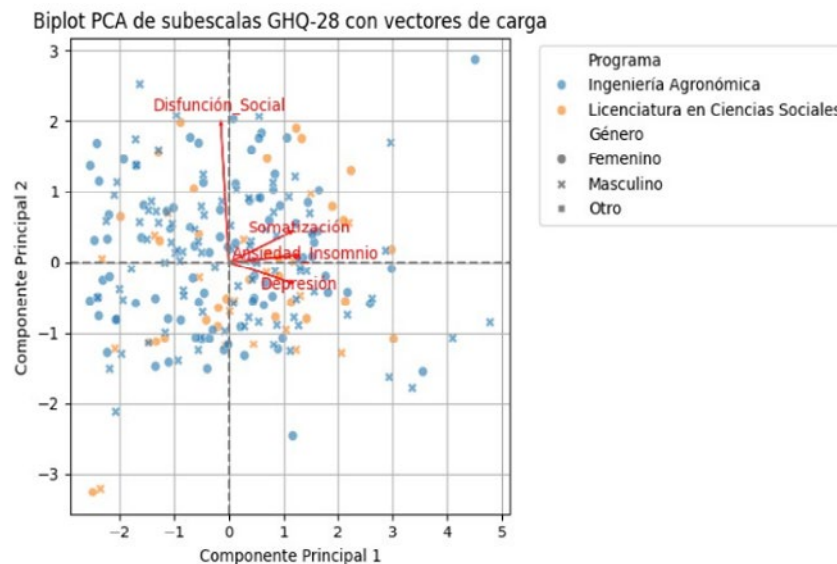
El análisis de las respuestas al cuestionario GHQ-28 permitió calcular los puntajes promedio por subescala para cada estudiante. Posteriormente, se aplicaron técnicas de aprendizaje no supervisado (K-Means) y supervisado (*random forest*) con el objetivo de identificar perfiles de riesgo psicológico y explorar predictores asociados.

En la descripción por subescala, los puntajes promedio revelaron que la disfunción social es la dimensión con mayor afectación ($M = 1.54$), seguida de somatización ($M = 1.17$), ansiedad e insomnio ($M = 1.18$) y, en menor medida, depresión severa ($M = 0.49$).

El PCA permitió identificar patrones de covariación entre las subescalas del GHQ-28. Los dos primeros componentes principales explicaron más del 70 % de la varianza total, lo que indica una estructura latente bien definida.

La figura 1 muestra la distribución bidimensional de los estudiantes a partir de sus puntajes en las cuatro subescalas del GHQ-28. Los vectores en color rojo representan las cargas de cada subescala sobre los dos primeros componentes principales, mientras que los puntos corresponden a cada participante, diferenciados por programa académico (Ingeniería Agronómica y Licenciatura en Ciencias Sociales) y género (femenino, masculino, otro). El Componente Principal 1 captura la mayor proporción de la varianza explicada, seguido del Componente Principal 2.

Figura 1 . Biplot del análisis de componentes principales (PCA) de las subescalas del GHQ-28 con vectores de carga, según el programa académico y género



Fuente: elaboración propia.

El análisis de componentes principales permitió identificar dos dimensiones latentes que agrupan las respuestas del GHQ-28. El primer componente principal (CP1) se asocia principalmente con las subescalas de ansiedad/insomnio y depresión, lo que refleja un eje de afectación emocional. El segundo componente principal (CP2) está fuertemente influenciado por la disfunción social y, en menor medida, por la somatización, representando un eje de funcionamiento social.

La distribución de los participantes sugiere que los estudiantes con puntajes más altos en disfunción social se ubican hacia valores positivos del CP2, mientras que quienes presentan mayores niveles de ansiedad/insomnio y depresión se sitúan hacia valores positivos del CP1. No se observan agrupamientos totalmente definidos por programa académico o género, lo que indica que las diferencias en

la salud mental se explican más por la variabilidad individual en las subescalas que por estas variables sociodemográficas.

Agrupamiento no supervisado

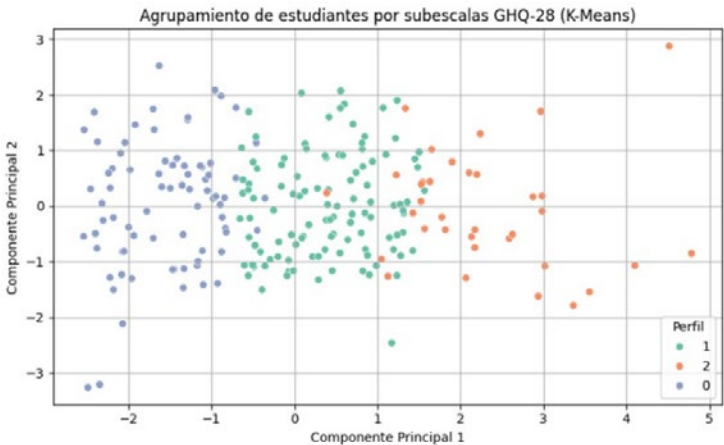
El agrupamiento con K-Means (K = 3) permitió clasificar a los estudiantes en tres perfiles psicológicos distintos. El grupo 0 incluyó a estudiantes con puntuaciones bajas en todas las subescalas (perfil de bajo riesgo); el grupo 1 representó un perfil intermedio, con afectaciones puntuales, y el grupo 2 concentró a los estudiantes con puntuaciones altas en todas las dimensiones (perfil de alto riesgo). Esta clasificación empírica ofrece una base sólida para el diseño de intervenciones diferenciales, ya que permite priorizar esfuerzos hacia el grupo con mayor nivel de afectación.

Tabla 1. Promedios por subescala del GHQ-28 y descripción de perfiles identificados mediante K-Means

Clúster	Somatización	Ansiedad / insomnio	Disfunción social	Depresión	n	Descripción del perfil
0	0.70	0.30	1.30	0.05	76	Perfil funcional
1	1.42	1.63	1.85	0.23	66	Perfil con sobrecarga emocional
2	1.63	1.82	1.59	1.77	38	Perfil de riesgo crítico

Fuente: elaboración propia.

Figura 2. Proyección bidimensional de los perfiles de salud mental obtenidos mediante el análisis de componentes principales (PCA)



Nota. La figura muestra la distribución de tres perfiles identificados a partir de los puntajes promedio por subescala del GHQ-28: perfil funcional (verde), perfil con sobrecarga emocional (naranja) y perfil de riesgo crítico (rojo).

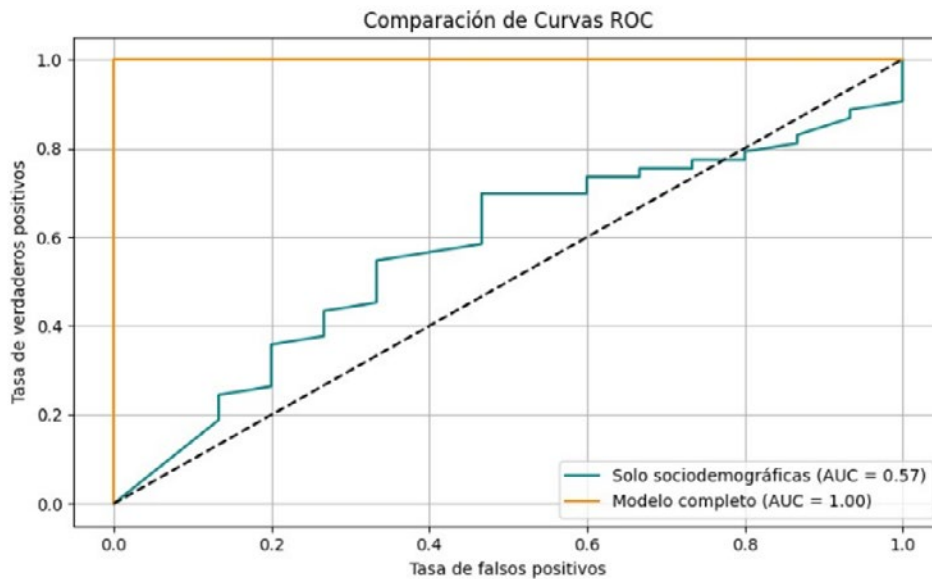
Fuente: elaboración propia.

Modelo Predictivo

Se construyó un modelo de regresión logística para predecir la pertenencia al grupo de riesgo (GHQ-28). Este modelo mostró un excelente desempeño predictivo, con un AUC de 0.96, exactitud del 95.6 %, sensibilidad del 100 % y especificidad

del 80 %, lo cual indica su utilidad como herramienta de cribado. En contraste, el modelo *random forest*, entrenado únicamente con variables sociodemográficas (edad, sexo, semestre, etc.), tuvo un AUC de 0.57, mostrando una capacidad muy limitada para detectar casos en riesgo.

Figura 3. Comparación de las curvas ROC y AUC



Fuente: elaboración propia.

5. CONCLUSIONES

El estudio permitió identificar que la disfunción social es la dimensión más afectada en la población analizada, seguida de la somatización y de la ansiedad/insomnio, con menor impacto en la depresión severa. El análisis de componentes principales evidenció la existencia de dos dimensiones independientes del malestar psicológico: una funcional y otra emocional. El agrupamiento con K-Means definió tres perfiles diferenciados de riesgo, lo que favorece el diseño de intervenciones focalizadas. El modelo de regresión logística, alimentado con datos del GHQ-28 y variables sociodemográficas,

presentó un desempeño sobresaliente, lo que confirma la relevancia del cuestionario como herramienta de cribado en entornos universitarios. En contraste, el modelo *random forest*, basado solo en variables sociodemográficas, mostró baja capacidad predictiva. Estos resultados resaltan la necesidad de incorporar instrumentos clínicos estandarizados en los procesos de seguimiento institucional de la salud mental y sugieren que el uso combinado de técnicas estadísticas y de *machine learning* puede optimizar la detección temprana y la asignación de recursos para la atención psicológica.

REFERENCIAS

- Cifuentes Madrigal, A., Gómez Méndez, T. S., y Jiménez Zapata, M. (2024). Analítica predictiva como apoyo en la salud pública: Modelos de pronóstico con series de tiempo aplicados a la conducta suicida. *Revista ELA*, 21(42). <https://doi.org/10.24050/reia.v21i42.1763>
- Goldberg, D. P. (1972). *The detection of psychiatric illness by questionnaire*. Oxford University Press.
- Goldberg, D. P., y Hillier, V. F. (1979). A scaled version of the General Health Questionnaire. *Psychological Medicine*, 9(1), 139-145. <https://doi.org/10.1017/S0033291700021644>
- Castrillon, S. O., Marín, L. M. G., Villegas, H. H. J., y Escobar, C. C. P. (2022). Machine learning aplicado en la clasificación y predicción de la depresión: Una revisión sistemática. RISTI - *Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao*, (Special Issue 47), 363-375.
- Sarokhani, D., Delpisheh, A., Veisani, Y., Sarokhani, M. T., Esmaeli Manesh, R. y Sayehmiri, K. (2013). Prevalence of depression among university students: A systematic review and meta-analysis study. *Depression Research and Treatment*, 2013, 1-7. <https://doi.org/10.1155/2013/373857>
- Silva-Gutiérrez, B. N., y De la Cruz-Guzmán, U. O. (2017). Autopercepción del estado de salud mental en estudiantes universitarios y propiedades psicométricas del Cuestionario de Salud General (GHQ28). *Revista Iberoamericana de producción académica y gestión educativa*, 4(8), 1-26.

COMPARACIÓN ENTRE ENSEÑANZA TRADICIONAL Y APRENDIZAJE ASISTIDO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL: IMPACTO EN EL DESEMPEÑO ACADÉMICO EN GEOMETRÍA

COMPARISON BETWEEN TRADITIONAL TEACHING AND AI-ASSISTED LEARNING: IMPACT ON ACADEMIC PERFORMANCE IN GEOMETRY

¹Janier Andrés Ballesteros Rincón

¹Universidad Americana de Europa (UNADE)

Cómo citar: Ballesteros Rincon, J. A. (2025). Comparación entre enseñanza tradicional y aprendizaje asistido por inteligencia artificial (IA): impacto en el desempeño académico en geometría. Publicaciones E Investigación, 19(2). <https://doi.org/10.22490/25394088.10331>

Recibido 17 Septiembre 2025, Aprobado 02 Noviembre 2025

RESUMEN

GeometricAI es una aplicación móvil que apoya el aprendizaje de la geometría básica en estudiantes de educación secundaria. Esta herramienta integra un modelo de inteligencia artificial (IA) que reconoce automáticamente figuras geométricas y guía al usuario en la resolución de problemas relacionados con el área, el perímetro y otros parámetros esenciales, sin necesidad de conexión a internet para realizar ejercicios o validaciones.

El proyecto se desarrolla bajo un enfoque cuasi experimental con 60 estudiantes de la Institución Educativa Laureano Gómez, ubicada en San Agustín, Huila. Los participantes se dividen en dos grupos: el primero recibe enseñanza tradicional y el segundo utiliza GeometricAI como recurso principal para el aprendizaje.

La aplicación se desarrolló con Ionic y Angular, y emplea un modelo de IA en Python para ofrecer retroalimentación en tiempo real. Además, cuenta con un plan de actualización continua, basado en la experiencia de los usuarios y la incorporación de nuevas figuras geométricas con el fin de optimizar su precisión y funcionalidad.

Durante ocho semanas, el estudio aplica pruebas diagnósticas, encuestas de percepción y análisis estadísticos, como la prueba t de Student, con el objetivo de evaluar el impacto de la IA en el desempeño académico. Se proyecta una mejora significativa en la precisión, la autonomía y la motivación de los estudiantes que utilizan la aplicación.

Esta investigación aporta evidencia científica sobre los beneficios del uso de tecnologías emergentes en el aula y constituye una base para futuras decisiones de política educativa, especialmente en contextos rurales, promoviendo la equidad y la calidad en el aprendizaje geométrico.

Palabras clave: inteligencia artificial; aplicación móvil; geometría; Ionic; Angular; Capacitor.

¹ Ing.janierballesteros@gmail.com / <https://orcid.org/0009-0009-5266-5323>

ABSTRACT

GeometricAI is a mobile application that supports the learning of basic geometry for secondary school students. This tool integrates an artificial intelligence model that automatically recognizes geometric figures and guides the user in solving problems related to area, perimeter, and other essential parameters, without requiring an internet connection to complete exercises or perform validations.

The project is developed using a quasi-experimental approach with 60 students from the Laureano Gómez Educational Institution, located in San Agustín, Huila. Participants are divided into two groups: one receives traditional instruction and the other uses GeometricAI as the primary learning resource.

The application is developed with Ionic and Angular and uses a Python AI model to provide real-time feedback. It also has a continuous update plan based on user experience and the addition of new geometric figures, in order to optimize its accuracy and functionality.

For eight weeks, the study uses diagnostic tests, perception surveys, and statistical analyses such as the Student t-test to evaluate the impact of AI on academic performance. Significant improvements are projected in the accuracy, autonomy, and motivation of students using the application.

This research provides scientific evidence on the benefits of using emerging technologies in the classroom and constitutes a basis for future educational policy decisions, especially in rural contexts, promoting equity and quality in geometric learning.

Keywords: artificial intelligence; mobile app; geometry; Ionic; Angular; Capacitor.



1. INTRODUCCIÓN

El aprendizaje de la geometría en educación secundaria presenta múltiples desafíos, especialmente en la identificación de figuras geométricas, la comprensión de sus propiedades y la aplicación correcta de fórmulas matemáticas. A pesar de los esfuerzos de los docentes, las metodologías tradicionales no siempre logran captar el interés de los estudiantes ni facilitar un aprendizaje significativo. Por lo tanto, las herramientas tecnológicas han demostrado ser un apoyo valioso en la enseñanza de las matemáticas, permitiendo una interacción más dinámica y personalizada con los conceptos. Sin embargo, en muchas instituciones educativas, la integración de estas tecnologías sigue siendo

limitada, lo que motiva la exploración de enfoques innovadores, como la IA aplicada a la educación.

El objetivo principal de este proyecto es comparar la efectividad del aprendizaje tradicional con el aprendizaje asistido por una aplicación móvil Android con IA, evaluando el impacto en el desempeño académico en geometría en estudiantes de secundaria. Para ello, se desarrolla una aplicación en Ionic con Angular, integrada con un modelo de IA en Python, que permite a los estudiantes identificar figuras geométricas y resolver problemas matemáticos de manera autónoma. A través de pruebas diagnósticas, análisis estadísticos

y encuestas de percepción, se medirá el efecto de la tecnología en la comprensión y el rendimiento académico. Los hallazgos de esta investigación contribuyen a la optimización de estrategias pedagógicas y a la implementación de soluciones tecnológicas en el ámbito educativo.

2. MATERIALES Y MÉTODO

La investigación se desarrolla mediante un enfoque cuasi experimental que evalúa los conocimientos de geometría básica, comparando los resultados de aprendizaje de dos grupos de estudiantes:

Grupo de control: recibe enseñanza tradicional basada en la explicación del docente.

Grupo experimental: utiliza la aplicación móvil Android con IA para el reconocimiento y resolución de problemas geométricos.

Las fases metodológicas incluyen:

2.1 Desarrollo de la aplicación móvil

La aplicación móvil Android se desarrolla en Ionic con Angular, integrando un modelo de IA en Python para la detección de figuras geométricas.

2.2 Selección de la muestra

Para garantizar la validez y representatividad de los resultados, se trabaja con una muestra de aproximadamente 60 a 80 estudiantes de educación secundaria de la Institución Educativa Laureano Gómez, ubicada en el municipio de San Agustín, Huila, Colombia. La selección de esta cantidad de participantes responde a criterios metodológicos sustentados en estudios previos que han analizado el impacto de la tecnología en la educación matemática, asegurando que con este tamaño de muestra se pueden detectar diferencias significativas en el aprendizaje.

La determinación del número de participantes se basa en investigaciones como la de Trías Seferian et al. (2024), quienes han demostrado que muestras de entre 50 y 100 estudiantes han sido adecuadas para evaluar intervenciones educativas relacionadas con la incorporación de herramientas tecnológicas en el aula. Además, estudios como los de Ruiz Muñoz (2024) indican que en experimentos educativos con dos grupos comparativos, un mínimo de 30 estudiantes por grupo, son suficientes para realizar análisis estadísticos robustos, como pruebas t de Student o ANOVA, siempre que los grupos sean homogéneos en términos de conocimientos previos y exposición a los contenidos curriculares según la tabla 1.

La Institución Educativa Laureano Gómez cuenta con dos grupos de noveno (9A y 9B) y dos grupos de décimo (10A y 10B). Esta distribución permite que los estudiantes seleccionados tengan características académicas similares, asegurando que la comparación entre grupos sea válida y que las diferencias en el aprendizaje puedan atribuirse al uso de la aplicación GeometricAI y no a otros factores externos. Como afirman Machado Pico et al. (2024), la selección de muestras homogéneas es fundamental en estudios de intervención tecnológica en educación, ya que permite un análisis preciso del impacto de la herramienta.

Para el estudio comparativo, la muestra se divide en dos grupos experimentales con el objetivo de evaluar la efectividad del aprendizaje asistido por IA frente al método tradicional:

Grupo A (aprendizaje tradicional): conformado por entre 30 y 40 estudiantes, quienes reciben enseñanza de geometría mediante una metodología convencional, con clases dirigidas por un docente.

Grupo B (aprendizaje asistido por IA): incluirá entre 30 y 40 estudiantes, quienes utilizarán la aplicación GeometricAI como herramienta principal para la identificación y resolución de ejercicios de geometría básica.

El diseño experimental sigue la metodología recomendada por Parra Pulido (2024), quien argumenta que los estudios comparativos en educación deben incluir grupos de control y experimentales bien equilibrados, para garantizar que las diferencias en los resultados sean atribuibles a la variable independiente, es decir, al uso de la IA en la enseñanza de la geometría.

Tabla 1. Tipos de variables generales del proyecto

Variable	Tipo	Descripción	Instrumento de medición
Desempeño en geometría	Dependiente	Nivel de precisión en la identificación y resolución de problemas geométricos.	Test de evaluación antes y después del experimento.
Motivación del estudiante	Dependiente	Grado de interés y participación en el aprendizaje de geometría.	Encuesta de percepción aplicada antes y después del uso de la aplicación.
Uso de la IA	Independiente	Frecuencia y forma en que los estudiantes utilizan la aplicación GeometricAI.	Registro de uso en la aplicación (interacciones, tiempo de uso, módulos completados).
Método de enseñanza	Independiente	Estrategia utilizada en la enseñanza de geometría (tradicional vs. asistida por IA).	Asignación de grupos experimentales y control.
Percepción del docente	Dependiente	Opinión de los docentes sobre el impacto de la IA en la enseñanza.	Entrevistas y encuestas a docentes después de la implementación.

Fuente: Elaboración propia.

2.3 Implementación y duración del estudio

El estudio tiene una duración de ocho semanas, distribuidas así:

Semana 1: aplicación de la prueba diagnóstica inicial.

Semanas 2 al 7: desarrollo de sesiones de aprendizaje con cada metodología.

Semana 8: aplicación de la prueba final y encuestas de percepción.

Para minimizar la resistencia al cambio por parte de los estudiantes o docentes, se llevan a cabo sesiones de inducción previas al inicio del estudio (una semana), explicando los beneficios y objetivos de la

investigación. Además, se cuenta con asistencia técnica y pedagógica para la aplicación móvil, asegurando que los participantes comprendan su uso y beneficios.

2.4 Criterios de evaluación e indicadores

Se emplean diferentes instrumentos de medición para evaluar la efectividad del aprendizaje en cada grupo.

2.5 Análisis de datos

En la tabla 2 se evidencian las diferentes variables, instrumentos y métodos de análisis que se implementaron en el desarrollo del proyecto.

Tabla 2. Variables, instrumentos y métodos de análisis

Variable	Tipo	Descripción	Instrumento de medición	Método de análisis
Desempeño en geometría	Dependiente	Nivel de precisión en ejercicios de geometría	Test de evaluación antes y después del experimento	Prueba t de Student/ANOVA
Motivación del estudiante	Dependiente	Grado de interés y participación en la clase	Encuesta de percepción	Análisis de contenido (cualitativo)
Uso de la IA	Independiente	Frecuencia y forma en que los estudiantes utilizan la aplicación	Registro de uso en GeometricAI	Correlación de Pearson

Fuente: Elaboración propia.

2.6 Resultados esperados

Se espera que los estudiantes del grupo experimental (aquellos que utilicen la aplicación móvil con IA) muestren una mejora en resolución de problemas de geometría básica, identifiquen más rápido y con precisión las diferentes figuras y apliquen correctamente técnicas de cálculo de lado, perímetro y área. Estas mejoras se evalúan en comparación con el grupo de control (que sigue el método tradicional), que se reflejan en los siguientes aspectos:

- Incremento en los puntajes de las pruebas académicas
- Mayor tasa de aciertos en la resolución de problemas geométricos
- Reducción en el tiempo de resolución de ejercicios

- Mayor autonomía y motivación en el aprendizaje
- Identificación de patrones en la experiencia de aprendizaje

3. DESARROLLO

La aplicación móvil se desarrolló en el entorno de Visual Studio Code, utilizando el *framework* Ionic en conjunto con Angular para el diseño de la interfaz gráfica de usuario (GUI). Este enfoque permitió implementar una arquitectura modular y responsiva, adecuada para dispositivos móviles. Asimismo, se integraron librerías y dependencias de Capacitor, lo que facilitó el acceso a funcionalidades nativas del dispositivo, como la cámara, el almacenamiento y la conectividad. En la figura 1 se visualiza el logotipo utilizado para representar la aplicación móvil GeometricAI.

Figura 1. Logotipo de aplicación móvil GeometricAI.



Fuente: Elaboración propia.

3.1 Fase 1: estructura general del proyecto

La fase inicial del desarrollo de la aplicación móvil educativa basada en IA GeometricAI consistió en la definición y construcción de la estructura general. Esta etapa es importante en el ciclo de vida del *software*, puesto que establece los cimientos en los que se diseñan e implementan las funcionalidades, se integran los modelos de IA y se despliega la aplicación en dispositivos móviles. A través de la selección de tecnologías y *frameworks*, se buscó garantizar tanto la escalabilidad como la compatibilidad multiplataforma de la solución.

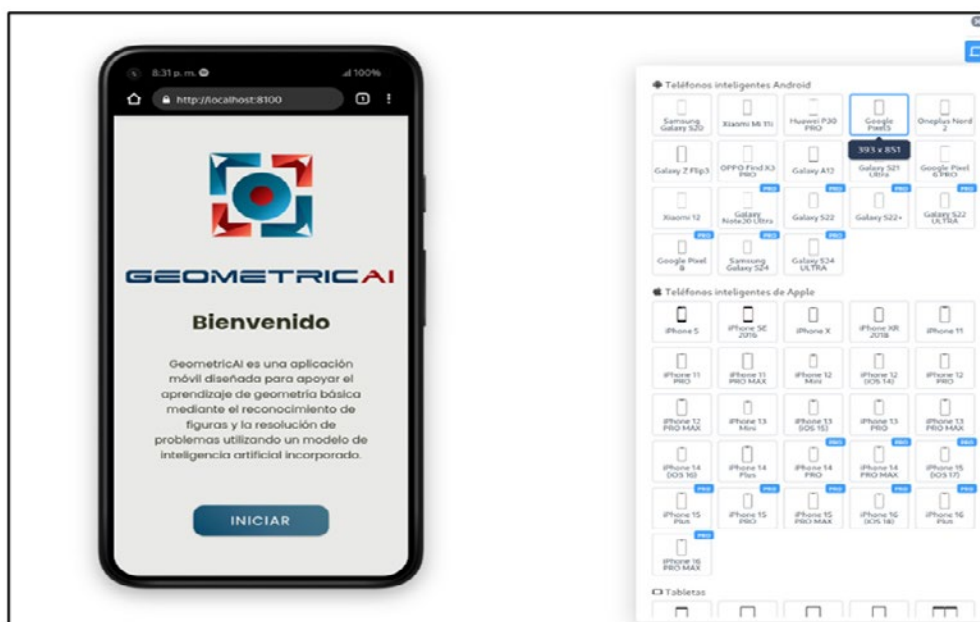
3.2 Frameworks y tecnologías seleccionadas

Para este proyecto se optó por un enfoque híbrido, utilizando herramientas que desarrollan una sola base

de código que se despliega en múltiples plataformas, principalmente Android. En este contexto, se emplearon las siguientes tecnologías principales:

Ionic Framework: Tiene código abierto y ampliamente utilizado para el desarrollo de interfaces móviles híbridas mediante tecnologías web estándar, como HTML, CSS y JavaScript/TypeScript. La fortaleza radica en la capacidad de crear aplicaciones con apariencia nativa, mediante el uso de componentes de UI (Figura 2) predefinidos y adaptativos. En GeometricAI, Ionic proporciona la base visual y estructural de la interfaz, lo que facilita una experiencia de usuario coherente e intuitiva en distintos dispositivos móviles.

Figura 2. Vista inicial de aplicación móvil con emulador en tamaños de pantallas distintos.



Fuente: Elaboración propia.

Angular: se eligió Angular para el desarrollo de la lógica de negocio del proyecto, dada la arquitectura basada en componentes, un sistema robusto de enlace de datos (*data binding*), la inyección de dependencias y la capacidad para estructurar la aplicación de

manera modular. Angular permitió implementar de manera organizada los servicios de comunicación con el modelo de IA, los flujos de navegación entre vistas, la gestión del estado de la aplicación y el control de formularios y validaciones.

Capacitor: es la herramienta de compilación e integración nativa desarrollada por el equipo de Ionic, que reemplaza a Cordova. Esta tecnología actúa como un puente entre el entorno web (Angular e Ionic) y las capacidades nativas del dispositivo (por ejemplo, el acceso al almacenamiento, sensores, cámara o red). En este proyecto, Capacitor fue fundamental para empaquetar la aplicación web en un contenedor nativo, permitiendo la ejecución en Android y facilitando la integración futura de *plugins* específicos para la cámara, redes neuronales embebidas y reconocimiento de imágenes. Permitió, además, efectuar pruebas en emuladores y dispositivos físicos, lo que optimizó el rendimiento y la usabilidad de la aplicación.

Una vez culminada la fase de desarrollo, el proyecto se migró a Android Studio mediante la herramienta Capacitor, para compilar la aplicación y generar el archivo instalador (.apk) compatible con dispositivos Android. En esta etapa, se implementó el control de versiones mediante identificadores incrementales y nombres diferenciados para cada versión, junto con la firma digital de la aplicación, requisito indispensable

para la publicación en Google Play Console. Con este proceso también se aseguró el cumplimiento de los lineamientos exigidos por la plataforma, tales como firma criptográfica de la aplicación, declaración de permisos para el acceso a sensores y recursos del dispositivo móvil y la incorporación de los términos y condiciones de uso de la aplicación GeometricAI. Con ello se garantiza transparencia, seguridad y conformidad legal respecto al tratamiento de datos y funcionalidades ofrecidas.

3.2.1 Organización de los archivos clave del proyecto

Una vez inicializado el proyecto con los comandos “ionic start” e “ionic build”, se creó una estructura estándar de carpetas y archivos que configuraran el entorno de desarrollo. A continuación, se describen los principales archivos y carpetas, explicando el propósito y la relevancia en el proyecto como se evidencia en la tabla 3 archivos utilizados en la implementación de conexiones dentro de la aplicación móvil GeometricAI.

Tabla 3. Archivos y elementos de implementación en la aplicación móvil GeometricAI.

Archivo/carpeteta	Función principal
package.json	Contiene la metadata del proyecto: nombre, versión, scripts, dependencias y scripts de ejecución.
angular.json	Define la estructura del proyecto Angular, especifica las rutas, assets, estilos y configuración de build.
ionic.config.json	Archivo específico de Ionic, que almacena configuraciones como el nombre del proyecto y su tipo (capacitor).
capacitor.config.ts	Archivo central de configuración para Capacitor, define el ID del paquete, nombre de la app y plataforma base.
node_modules/	Carpeta que contiene todas las dependencias descargadas vía npm.
android/	Directorios generados por Capacitor, que contienen el código nativo para la plataforma móvil Android.

Fuente: Elaboración propia.

A nivel funcional, package.json es esencial para la gestión de dependencias mediante npm (*Node Package Manager*). Aquí se declaran todas las bibliotecas necesarias tanto para el desarrollo como para la ejecución, incluyendo librerías como @ionic/angular

y @capacitor/core. También se definen los comandos de inicio (npm start), compilación (ionic build), y pruebas unitarias (ng test), lo que permite una automatización sencilla del ciclo de vida del desarrollo y pruebas desde la terminal de Visual Studio Code.

Por otro lado, `angular.json` define las configuraciones necesarias para compilar la aplicación Angular, que va desde la inclusión de estilos globales hasta la configuración de entornos. Este archivo determina la carpeta de salida que utiliza Capacitor al generar la versión nativa.

`Capacitor.config.ts` es clave en la integración entre el *frontend* y la capa nativa, pues define elementos como el nombre de la aplicación (*appName*), el identificador del paquete (*appId*) y la ruta del directorio web (*webDir*) con los archivos estáticos generados por Angular.

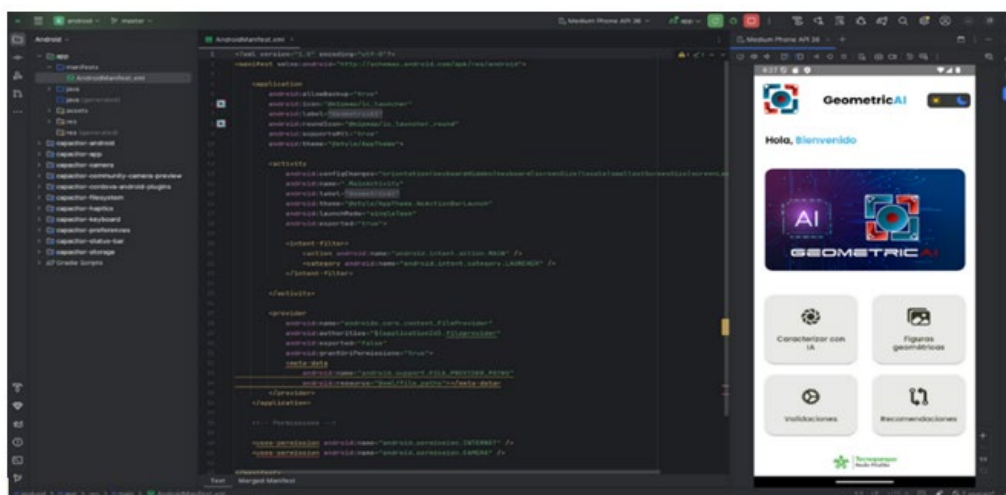
Finalmente, las carpetas `android/` e `ios/` son generadas mediante los comandos `npx cap add android` o `npx cap add ios`. Estas carpetas permiten abrir el proyecto directamente en Android Studio o Xcode, para ser exportado como una aplicación instalable. En el

contexto de este proyecto se priorizó la plataforma Android, debido a la amplia adopción en instituciones educativas colombianas.

3.2.2 Importancia estratégica de esta fase

Establecer una estructura general sólida permite organizar de forma coherente todos los elementos del desarrollo. Además, facilita la escalabilidad, el mantenimiento del código y la integración de tecnologías avanzadas como la IA. Adicionalmente, se adoptan estándares industriales como Angular e Ionic, que garantizan la reutilización de componentes y la integración con bibliotecas especializadas (Figura 3), para reconocimiento de imágenes, gráficos vectoriales y conectividad con modelos de IA desarrollados en Python.

Figura 3. Estructura jerárquica de la aplicación móvil GeometricAI.



Fuente: Elaboración propia.

3.3 Fase 2: diseño e implementación de la interfaz de usuario y navegación

La segunda fase del desarrollo de la aplicación GeometricAI (Figura 4) se centró en la creación de una interfaz de usuario (UI) intuitiva, accesible y coherente con los principios pedagógicos asociados al uso

de tecnologías emergentes en entornos escolares. Esta etapa fue esencial para garantizar que los estudiantes de básica secundaria pudieran interactuar fácilmente con la aplicación, reconocer figuras geométricas, seleccionar opciones de cálculo y comprender los resultados proporcionados por el sistema de IA.

Figura 4. Imagen de funciones de las pantallas de aplicación móvil GeometricAI



Fuente: Elaboración propia.

3.3.1 Principios de diseño y experiencia de usuario

Entre los principios clave adoptados en el diseño de la interfaz destacan:

Simplicidad visual: Se evitaron elementos distractores, priorizando el uso de íconos reconocibles, botones grandes y colores contrastantes.

Navegación: Todas las vistas comparten una estructura base, con encabezado fijo, botones de navegación lateral y enfoque visual inmediato.

Lenguaje accesible: Se utilizó un lenguaje claro en idioma español y acompañado de ayudas visuales para la mejor comprensión de estudiantes de distintos niveles.

Compatibilidad responsiva: Aunque la *app* está diseñada para dispositivos móviles Android, el diseño adaptativo permite su correcta visualización en distintos tamaños de pantalla.

3.3.2 Estructura de vistas y navegación

La aplicación se estructuró en módulos funcionales independientes que se integran a través del enrutador

de Angular. En la tabla 4 se aprecian las principales vistas.

La navegación se implementó con Angular, lo que permitió transiciones fluidas entre las pantallas sin recargar la aplicación. Además, se integraron animaciones ligeras de Ionic para mejorar la experiencia de usuario.

3.3.3 Componentes personalizados y reusabilidad

Durante esta fase se definieron componentes personalizados reutilizados de manera transversal en la aplicación, como:

- **Boton Accion Component:** Botón grande y estilizado para funciones clave.
- **Tarjeta Resultado Component:** Tarjeta visual con resumen de resultados calculados por IA.
- **Encabezado Component:** Encabezado común con logotipo y nombre de la aplicación.

El enfoque modular facilitó el mantenimiento del código y aseguró una identidad visual uniforme.

Tabla 4. Estructura de vistas y navegación de aplicación móvil GeometricAI.

Vista	Función principal	Componentes clave
home.page.ts/html	Pantalla de inicio, bienvenida al usuario	Botón “Iniciar”, breve descripción, logo de GeometricAI
menu.page.ts/html	Menú principal con acceso a opciones	Lista de opciones: Reconocer la figura, Fichas de figuras geométricas, Validación, Recomendaciones.
figura.page.ts/html	Captura o selección de figura geométrica	Acceso a la cámara
resultado.page.ts/html	Presentación de resultados del análisis	Imagen de la figura detectada, tipo, propiedades y botón calcular para ingresar a calculadora predefinida para la figura geométrica.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.4 Consideraciones pedagógicas

Dado el enfoque educativo, la interfaz se diseñó considerando las necesidades cognitivas y tecnológicas del público objetivo. Se incorporaron ayudas contextuales y mensajes explicativos que guían al usuario, permitiéndole realizar las tareas de forma autónoma. La aplicación reconoce figuras geométricas y redirige al estudiante a una sección específica para cálculos de área, perímetro y otras propiedades. También se muestra la fórmula respectiva y el usuario ingresa valores medidos en clase para obtener el resultado de manera inmediata. Esta funcionalidad hace de GeometricAI una herramienta de apoyo para el aprendizaje activo y significativo a través de tecnologías emergentes como la IA.

3.4 Fase 3: integración del modelo de inteligencia artificial y reconocimiento de figuras

En esta fase se incorporó el modelo de IA entrenado en Python, especializado en el reconocimiento de figuras geométricas comunes en la educación básica secundaria. Su integración se realizó mediante la conversión a un formato compatible (.json) y su posterior incorporación en el entorno híbrido de Capacitor e Ionic Angular.

Tiempo de inferencia y despliegue del modelo: Durante las pruebas en un dispositivo móvil de gama media (Samsung Galaxy A32, 4 GB de RAM, Android 12), el tiempo promedio de inferencia fue de 140 milisegundos por imagen, ejecutando el modelo exportado en formato .json (estructura) y .bin (pesos) directamente en la aplicación. Este tiempo garantiza una experiencia fluida y respuestas casi en tiempo real para los estudiantes.

El modelo se entrenó con TensorFlow y exportado a formato compatible con TensorFlow.js. Aunque no se empleó cuantización posentrenamiento, se contempla en futuras versiones migrar a formato .tflite cuantizado con el fin de:

- Reducir el tamaño de modelo (de ~10 MB a menos de 3 MB)
- Mejorar la compatibilidad con dispositivos de baja gama (RAM ≤ 2 GB)
- Aumentar la eficiencia energética durante la inferencia

Preprocesamiento de imágenes en GeometricAI:

La ruta de preprocesamiento de imágenes se apoya en

funciones implementadas en el *frontend*, usando capacidades de JavaScript y TensorFlow.js con Capacitor. A continuación, se presentan los siguientes flujos:

- Captura por plugin Camera
- Redimensionamiento a 150×150 píxeles RGB vía elemento <canvas>
- Conversión a tensor en TensorFlow.js (normalización a [0, 1])
- Expansión de dimensión simulando batch [1, 150, 150, 3]

- Inferencia en el navegador con los pesos .bin y la arquitectura .json

El modelo se ejecuta sobre CPU; se planea activar WebGL para aprovechar GPU en navegadores compatibles, lo que reduciría aún más el tiempo de inferencia.

En la práctica, el modelo procesa la imagen, reconoce la figura geométrica y devuelve la clase asignada y un score de predicción para ello se utilizaron elementos y dependencias descritas en la tabla 5. Esta salida redirige al usuario hacia la sección de cálculo correspondiente y fortalece las competencias matemáticas mediante IA.

Tabla 5. Elementos y dependencia utilizadas para creación del modelo de Inteligencia artificial.

Capa	Tipo	Detalles
Conv2D	Convolucional	32 filtros, tamaño 3x3, activación ReLU, entrada (150x150x3)
MaxPooling2D	Pooling	Reducción de dimensiones 2x2
Conv2D	Convolucional	64 filtros, tamaño 3x3, activación ReLU
MaxPooling2D	Pooling	Reducción de dimensiones 2x2
Conv2D	Convolucional	128 filtros, tamaño 3x3, activación ReLU
MaxPooling2D	Pooling	Reducción de dimensiones 2x2
Flatten	Aplanamiento	Pasa de 3D a 1D para Dense
Dense	Capa totalmente conectada	128 unidades, activación ReLU
Dropout	Regularización	30% de unidades apagadas aleatoriamente para evitar sobreajuste
Dense (salida)	Clasificación final	n unidades (1 por clase), activación softmax para clasificación multiclase

Fuente: Elaboración propia.

Dataset y preprocesamiento: Se empleó un *dataset* con 12 060 imágenes, distribuidas así:

- 70 % (9648 imágenes) para entrenamiento
- 15 % (1818 imágenes) para validación
- 15 % (1818 imágenes) para prueba

Las imágenes se redimensionaron a 150×150 píxeles RGB y se normalizaron a [0, 1] (pixel/255). El preprocesamiento se realizó mediante ImageDataGenerator de Keras y no se aplicó aumento de datos, ya que la distribución era adecuada.

Arquitectura del modelo: El modelo consta de las siguientes capas:

- Conv2D (32 filtros, kernel 3×3, activación ReLU)
- MaxPooling2D (*pool size* 2×2)
- Conv2D (64 filtros, kernel 3×3, ReLU)
- MaxPooling2D
- Dropout (*rate* 0.25)
- Flatten
- Dense (128 unidades, ReLU)
- Dropout (*rate* 0.5)

- Dense final (6 unidades, *softmax*)
- Optimizador: Adam
- Tasa de aprendizaje: 0.001
- Función de pérdida: *sparse_categorical_crossentropy*
- Métrica principal: *accuracy*

4.DISCUSIÓN

4.1 Entrenamiento y evaluación

El proceso de entrenamiento del modelo se realizó durante un total de nueve épocas utilizando una política de detención temprana (*early stopping*). Esta técnica permitió restaurar los pesos del mejor modelo obtenido, correspondiente a la época

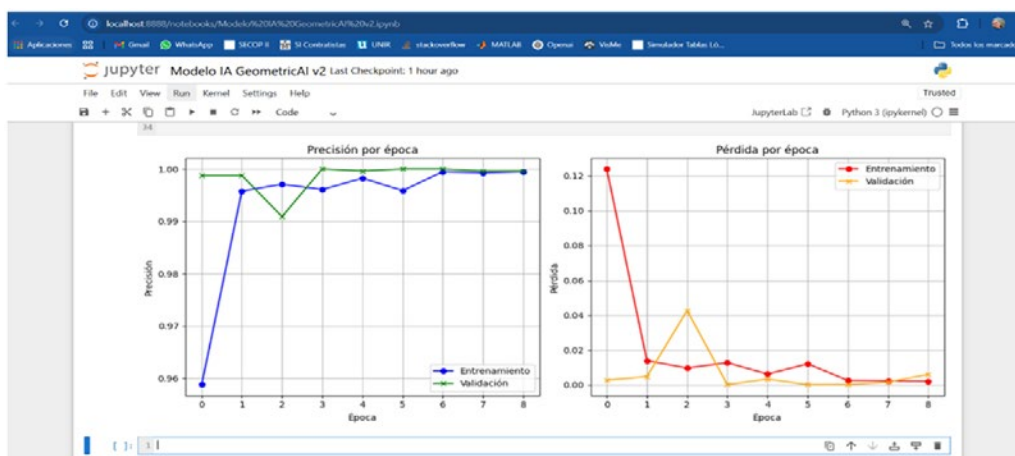
cuatro.

Estos fueron los principales resultados obtenidos:

- Precisión global de entrenamiento: 99.95 %
- Precisión de validación: 100 %
- Pérdida de validación en la mejor época (época cuatro): 0.000076
- Tiempo por época: entre dos y cinco minutos en GPU
- Gráfico de convergencia (*accuracy* y *loss* por época).

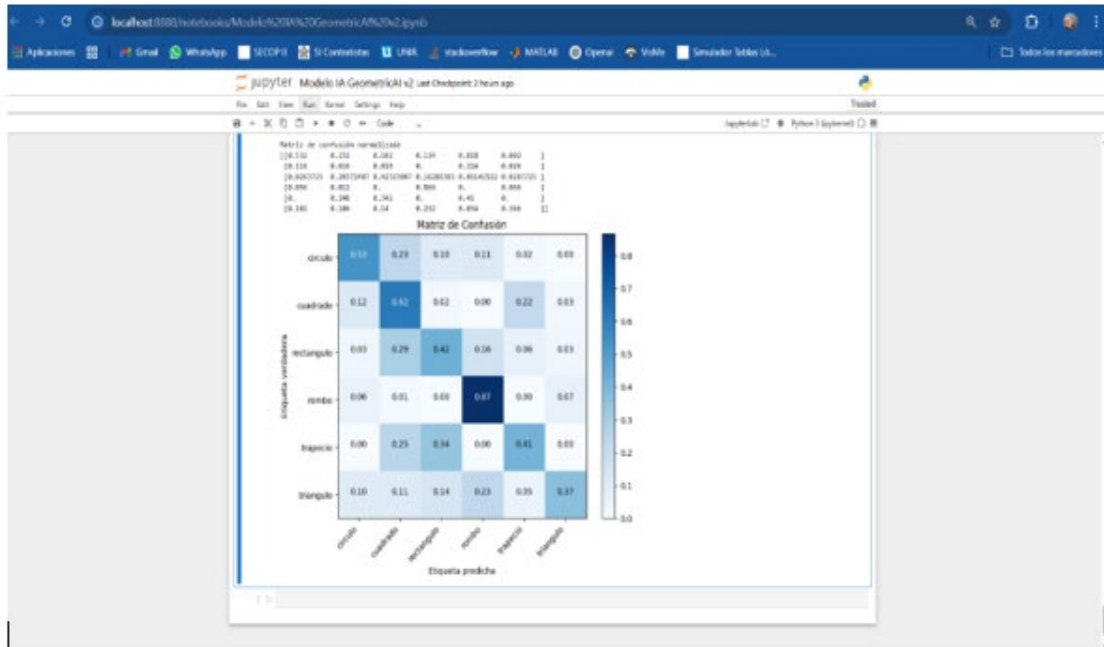
La ausencia de sobreajuste se verificó mediante la gráfica (Figura 5), donde se evidencian la pérdida y precisión por época, lo cual se controló gracias al uso de detención temprana, adicionalmente se puede visualizar la matriz de confusión normalizada (Figura 6), Curva ROC y AUC para clasificación multiclase (Figura 7).

Figura 5. Pérdida y precisión del modelo de inteligencia artificial por cada época.



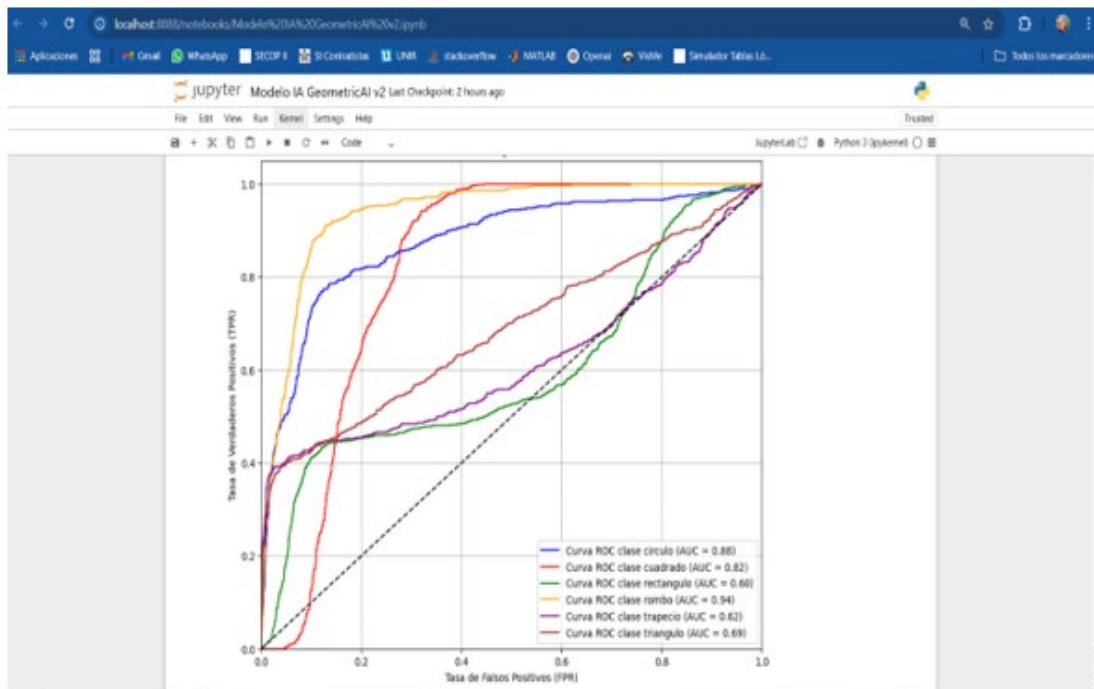
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Matriz de confusión normalizada



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7. Curva ROC y AUC para clasificación multiclase

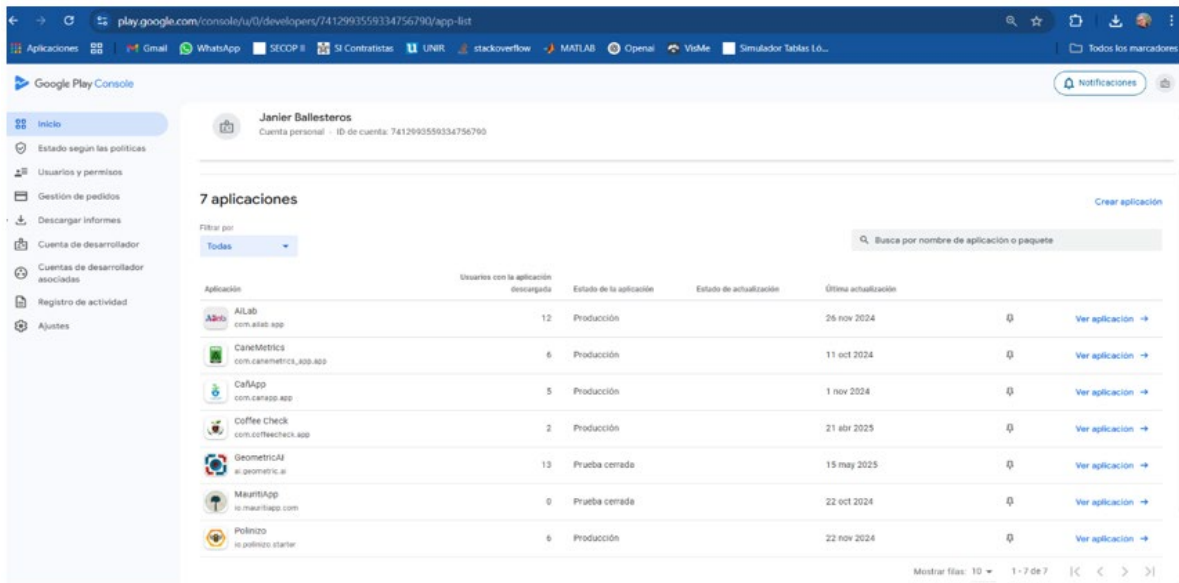


Fuente: Elaboración propia.

Esta fase abordó la puesta en operatividad de la aplicación GeometricAI, enfocándose en el empaquetado (Figura 8), firma digital y posterior lanzamiento en la plataforma oficial de distribución de aplicaciones Android: Google Play Store, mediante el uso de Google Play Console.

4.2 Empaquetado de la aplicación

Figura 8. Empaquetado de la aplicación móvil GeometricAI en Google Play Console



Fuente: Elaboración propia.

Para generar el archivo instalable (.apk o .aab), se utilizó el entorno de Ionic Angular con Capacitor, permitiendo compilar la aplicación híbrida con acceso a funcionalidades nativas.

4.3 Firma digital y configuración en Google Play Console

Para que la aplicación se publicara en Google Play Store, fue necesario crear una clave de firma digital, requisito indispensable para validar la autenticidad del desarrollador. Dentro de Google Play Console (Figura 9), se llevó a cabo la siguiente configuración:

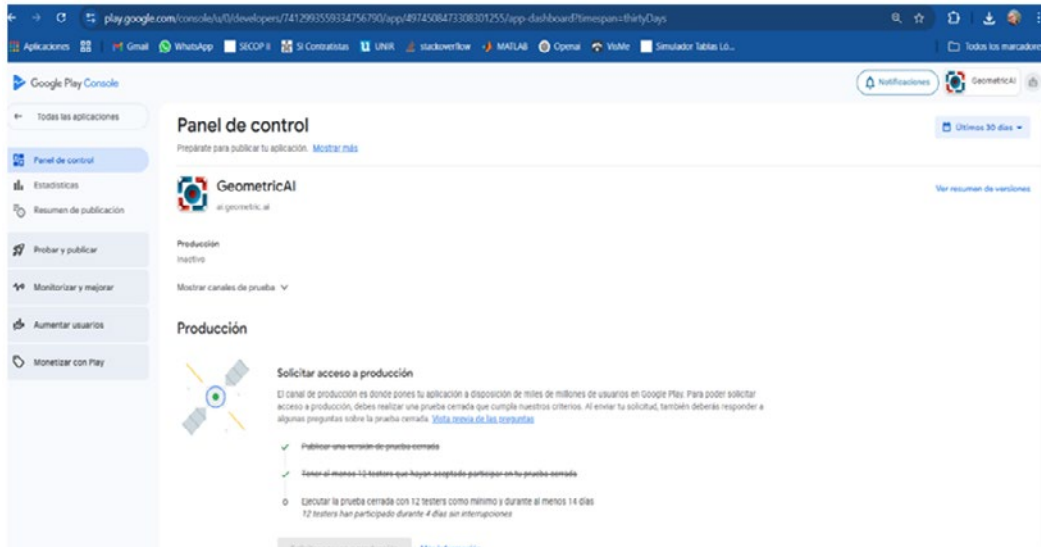
- Creación de un nuevo proyecto en <https://play.google.com/console>
- Configuración del idioma, nombre de la aplicación, tipo de uso (educativo) y categoría (Educación > Herramientas de aprendizaje).

5. CONCLUSIONES

El presente estudio permitió identificar que el uso de la aplicación móvil GeometricAI, basada en un modelo de IA para la identificación y resolución de problemas de geometría básica, tuvo un impacto altamente positivo en el desempeño académico de los estudiantes del grado décimo de la Institución Educativa Laureano Gómez.

Los resultados reflejan que el grupo que utilizó la aplicación alcanzó un promedio de acierto del 93 %, mientras que el grupo que trabajó únicamente con el método tradicional obtuvo una media de 81.5 %. Esto muestra una mejora significativa en la comprensión de los conceptos geométricos y la resolución de ejercicios.

Figura 9. Configuración de aplicación móvil GeometricAI en Google Play Console



Fuente: Elaboración propia.

La aplicación favoreció la precisión en los cálculos de áreas, perímetros y propiedades geométricas, y permitió a los estudiantes obtener resultados rápidos e instantáneos, y sin necesidad de conexión a internet. Esto causó un ambiente de satisfacción y confianza, donde los alumnos reconocieron la utilidad de la herramienta para reforzar sus aprendizajes de forma autónoma y práctica.

La percepción de estudiantes, docentes y directivos fue altamente positiva, ya que consideraron que herramientas como GeometricAI representan un gran potencial para fortalecer los procesos de enseñanza-aprendizaje. La facilidad de uso, la precisión en los resultados y la capacidad de apoyo en tiempo real sitúan a la aplicación como un recurso innovador en la evolución de la educación.

Se demuestra que la incorporación de tecnologías basadas en IA puede convertirse en un aliado fundamental para mejorar los indicadores académicos, estimular el aprendizaje autónomo y transformar la

interacción de los estudiantes con la geometría y otras áreas del conocimiento.

REFERENCIAS

- Machado Pico, H. A., Sagnay Alvarado, E., Vera Pisco, D. G., y Sornoza Parrales, D. (2024). Integración Efectiva De Aplicaciones Informáticas Para Potenciar El Aprendizaje De Las Matemáticas En Bachillerato. *Sinapsis: La revista científica del ITSUP*, 25(2), 16.
- Parra Pulido, J. H. (2024). Propiedades psicométricas y estandarización de la subprueba de cálculo matemático del WRAT-4 en adolescentes colombianos. *Acta Colombiana de Psicología*, 27(2), 112-129. <https://doi.org/10.14718/ACP.2024.27.2.7>
- Ruiz Muñoz, G. F. (2024). Enseñanza híbrida y transformación digital en la educación: Integración de tecnología y metodología. *Revista de Investigación en Tecnologías de la Información*, 12(25), 48-55. <https://doi.org/10.36825/RITI.12.25.005>
- Trías Seferian, D., Sastre Abreu, H., y Cuadros-Jiménez, O. E. (2024). Motivación y autorregulación en el desempeño en matemáticas en estudiantes de Educación Secundaria. *Revista Colombiana de Educación*, 92, 209-232. <https://doi.org/10.17227/rce.num92-17121>

ESTRATEGIAS PARA LA PREVENCIÓN DEL VPH EN ESTUDIANTES DE COLEGIOS PÚBLICOS DE PEREIRA Y SU RELACIÓN CON EL CÁNCER DE CUELLO UTERINO

STRATEGIES FOR THE PREVENTION OF HPV IN STUDENTS AT PUBLIC SCHOOLS IN PEREIRA AND ITS LINK WITH CERVICAL CANCER

¹John Jairo Villa Carmona,
²Andrés Arismendi Ramírez,
³Jorge Luis Quintero López,
³Ángela Liceth Pérez Rendón

^{1,2,3,4}Fundación Universitaria del Área Andina

Cómo citar: Villa Carmona, J. J., Arismendi Ramírez, A., Pérez Rendón, A. L., & Quintero López, J. L. (2025). Estrategias para la prevención del VPH en estudiantes de colegios públicos de Pereira y su relación con el cáncer de cuello uterino. Publicaciones E Investigación, 19(2). <https://doi.org/10.22490/25394088.10445>

Recibido 15 Octubre 2025, Aprobado 10 Noviembre 2025

RESUMEN

Este estudio descriptivo de corte transversal examinó el nivel de conocimiento sobre el virus del papiloma humano (VPH) y su relación con el cáncer de cuello uterino en 205 estudiantes mujeres, entre los 12 y 22 años, de colegios públicos de Pereira (Colombia). Para garantizar la confiabilidad, se empleó un instrumento validado (alfa de Cronbach: 0.84). Aunque el 84.4 % de las participantes reportaron familiaridad con el VPH, se evidenciaron vacíos significativos en conocimientos esenciales, particularmente en lo relacionado con la prevención y transmisión. Las escuelas surgieron como principal fuente de información con el 80 %, mientras que la orientación familiar fue limitada con el 49.3 %. Si bien el 90.7 % de las estudiantes conocían la vacuna, solo el 61 % reconocieron medidas preventivas. De las estudiantes sexualmente activas, el 49.8 %, únicamente el 56.9 % admitieron un uso consistente de protección y solo el 17.6 % se habían realizado una citología. Persistieron concepciones erróneas, como la creencia de que el VPH podía transmitirse mediante transfusiones sanguíneas, lo que evidencia la permanencia de desinformación. De manera notable, el 98.5 % de las estudiantes expresaron interés en recibir más educación, con preferencia por charlas interactivas con el 31.7 %.

El estudio enfatiza la necesidad urgente de implementar estrategias educativas que no se queden en el plano teórico, sino que se traduzcan en prácticas preventivas tangibles. Fortalecer la educación sexual integral, fomentar la participación familiar y promover medidas tempranas de prevención, como la vacunación y la citología, podría contribuir a reducir la alarmante incidencia de cáncer de cuello uterino en esta población vulnerable.

¹ jvilla20@areandina.edu.co / <https://orcid.org/0000-0001-5469-3082>

² aarismendi2@areandina.edu.co / <https://orcid.org/0000-0002-6578-5107>

³ jquintero108@areandina.edu.co / <https://orcid.org/0000-0002-0816-1592>

⁴ aperez56@areandina.edu.co / <https://orcid.org/0000-0002-2363-8782>

Palabras clave: virus del papiloma humano; cáncer de cuello uterino; adolescentes; prevención; vacunación; conocimiento sobre VPH; instituciones educativas.

ABSTRACT

This descriptive cross-sectional study examined the level of knowledge about human papillomavirus (HPV) and its connection to cervical cancer among 205 female students, aged 12 to 22 years, from public schools in Pereira (Colombia). To ensure reliability, a validated instrument was employed (Cronbach's alpha: 0.84). Although 84.4 % of participants reported familiarity with HPV, significant gaps in essential knowledge were evident, particularly regarding prevention and transmission. Schools emerged as the main source of information 80 %, yet family counseling was limited 49.3 %. While 90.7 % of respondents were aware of the vaccine, only 61 % recognized preventive measures. Among sexually active students 49.8 %, consistent use of protection was reported by just 56.9 %, and only 17.6 % had undergone a Pap smear. Misconceptions, such as the belief that HPV could be transmitted through blood transfusion, highlighted the persistence of misinformation. Notably, 98.5 % of students expressed interest in further education, with preference for interactive lectures 31.7 %.

The study emphasizes the urgent need for educational strategies that do not remain at the theoretical level but instead translate into tangible preventive practices. Strengthening comprehensive sexual health education, fostering family involvement, and promoting early preventive measures such as vaccination and cytology could contribute to reducing the alarming incidence of cervical cancer in this vulnerable population.

Keywords: human papillomavirus; cervical cancer; adolescents; prevention; vaccination; HPV knowledge; educational institutions.



1. INTRODUCCIÓN

La infección por el VPH se considera una de las infecciones de transmisión sexual (ITS) más comunes en el mundo, que afecta tanto a mujeres como a hombres en un amplio rango de edades desde el inicio de su vida sexual. Se estima que el 80 % de las personas sexualmente activas contraerán la infección en algún momento de su vida (Sendagorta-Cudós et al., 2019). El VPH también es responsable de una gran proporción de cánceres, y es el cáncer de cuello uterino el cuarto más común en mujeres. Se calcula que más de 290 millones de mujeres jóvenes sexualmente activas están infectadas con VPH, con una incidencia de 604.000 nuevos casos, lo que representa un grave problema de salud pública (Ministerio de Salud (2024); Yılmaz et al., 2021). En Colombia, para el 2022, se

diagnosticaron 24.689 mujeres con cáncer de cuello uterino y, según las estimaciones de Globocan, en el 2020, América Latina y el Caribe ocuparon el segundo lugar en incidencia y mortalidad por cáncer de cuello uterino a nivel mundial, con 59.439 nuevos casos y 31.582 muertes (Lewis et al., 2024; Meneses-Urrea et al., 2023).

El VPH, perteneciente a la familia *Papillomaviridae*, es un grupo de pequeños virus ADN bicatenarios sin envoltura, con un genoma reducido que codifica pocas proteínas (Hareža et al., 2022). Sin embargo, es responsable del 5 % de todos los cánceres humanos, con capacidad de infectar el epitelio del tracto genital femenino y otros epitelios, incluidos cuello uterino, vagina,

vulva, pene, ano y orofaringe (Haręza et al., 2022). Desde el punto de vista epidemiológico, actualmente se reconocen más de 200 tipos de VPH como virus de transmisión sexual (Jensen et al., 2024). La mayoría son inofensivos, aunque algunos se estiman responsables del 5.2 % de todos los cánceres en el mundo, entre ellos el cáncer de cuello uterino, ano, vagina, vulva, pene y cavidad oral (Puerto et al., 2022). Aproximadamente 30 tipos de VPH están asociados con un mayor riesgo de cáncer cervical; destacan los tipos 16 y 18, responsables de alrededor del 70 % de los casos de cáncer de cuello uterino en el mundo (Abubakar Rasheed et al., 2024). Otros tipos oncogénicos incluyen VPH 31, 33, 35, 39, 45, 51, 52, 56, 58, 59, 68, 73 y 82. Asimismo, se reconocen doce tipos de bajo riesgo, como los tipos 6 y 11, asociados frecuentemente con verrugas genitales benignas. Finalmente, existen tres tipos considerados probablemente carcinogénicos: VPH 23, 53 y 66 (Haręza et al., 2022; Silva et al., 2023), que pueden infectar piel y mucosas, incluidas el cuello uterino, y están involucrados en el desarrollo de lesiones en pies, verrugas genitales y manos (Oyouni, 2023).

La Organización Mundial de la Salud lanzó la estrategia global hacia la eliminación de esta enfermedad, por lo que recomienda la vacunación con dos dosis en la población adolescente entre los 9 y 14 años, y esto garantiza una protección completa (Simelela, 2021). Según el Colegio Americano de Obstetras y Ginecólogos, la vacuna reduce de manera significativa la incidencia de cáncer y verrugas tanto en hombres como en mujeres, ofreciendo una protección cercana al 99 % si se administra antes de la primera relación sexual y previo a la exposición al VPH (Combata et al., 2022). Es de vital importancia completar el esquema de vacunación antes del inicio de la vida sexual para garantizar el máximo nivel de eficacia profiláctica frente al desarrollo de cáncer.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló con un diseño descriptivo transversal, con el objetivo de evaluar el nivel de conocimiento sobre el VPH en un grupo limitado de

estudiantes adolescentes. La población objeto de estudio corresponde a un total de 440 estudiantes de educación secundaria de instituciones educativas públicas de Pereira. El tamaño de la muestra se estableció con base en la fórmula para poblaciones finitas, se consideró un nivel de confianza del 95 % y un nivel de precisión del 5 %. El resultado es una muestra de 205 individuos. Los siguientes fueron los criterios de inclusión que se contemplaron: estudiantes mujeres, que estuvieran académicamente activas y que cursaran los grados noveno, décimo o undécimo, con un rango de edad entre los 12 y 22 años.

Se diseñó un instrumento con los componentes básicos para identificar el conocimiento sobre el VPH, que fue revisado posteriormente por expertos para su validación en el comité de investigación y ajustado en consecuencia (Khanal y Chhetri, 2024). Finalmente, se realizó una prueba piloto en una de las instituciones con grupos de características similares a las participantes del estudio, para luego aplicar el cuestionario a la muestra seleccionada (Varer Akpinar y Alanya Tosun, 2023).

La información se recolectó mediante un cuestionario. La estructura del instrumento incorporó los principales componentes necesarios para identificar el nivel de conocimiento sobre el VPH. El cuestionario se estableció de dos secciones: en la primera, relacionada con la caracterización sociodemográfica, se elaboraron 12 preguntas, y en la segunda, sobre el nivel de conocimiento sobre el VPH, 22 preguntas, para un total de 34. La estructura de los ítems incluyó preguntas de opción múltiple con única respuesta, de opción múltiple con múltiples respuestas y preguntas dicotómicas. La prueba de confiabilidad alfa de Cronbach aplicada en la prueba piloto fue de 0.84 (Di Giuseppe et al., 2023; Villanueva et al., 2019). Para responder la encuesta, se estimó un tiempo promedio de 10 minutos.

La caracterización sociodemográfica permitió identificar variables como la edad, el género, la institución educativa, el grado de escolaridad, el estado civil, la religión, la etnia, el nivel socioeconómico,

la afiliación al sistema de salud, si eran sexualmente activas y la maternidad (Aksoy et al., 2022). En la sección de conocimiento se evaluaron aspectos básicos sobre el virus, así como las fuentes de información a las que accedían sobre el tema, las preferencias en relación con la búsqueda de información y los medios de acceso que desearían tener (Mekonnen et al., 2024).

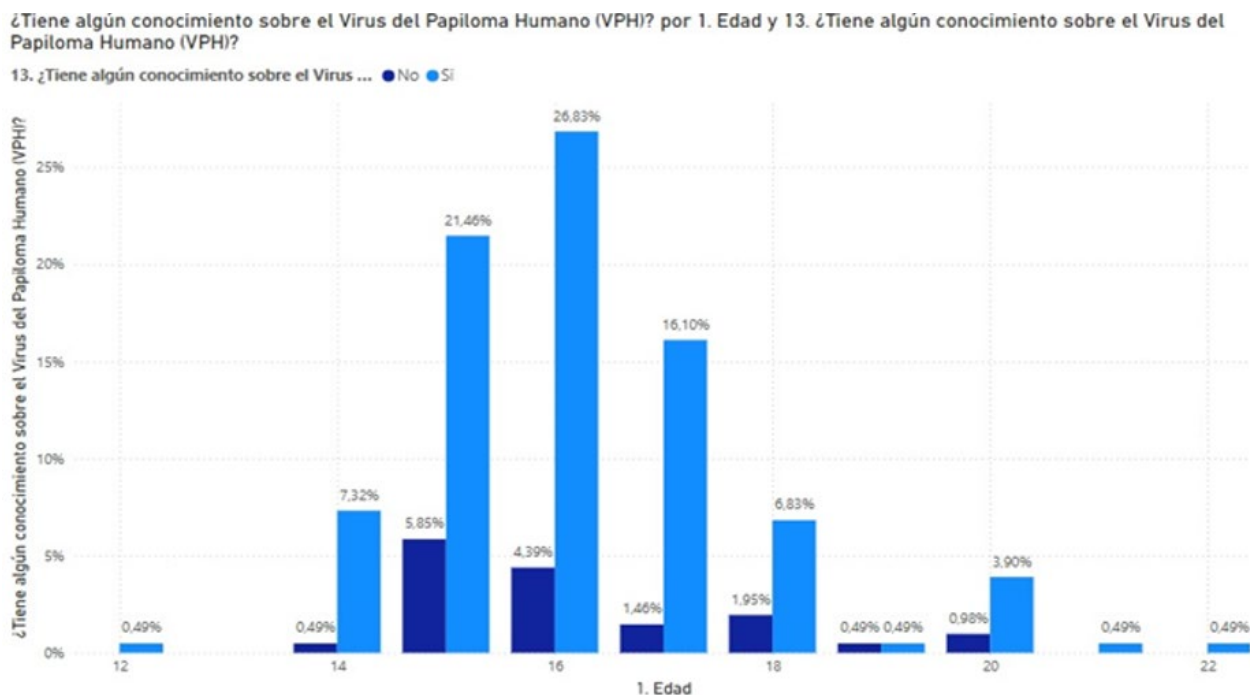
Para el estudio de la información recolectada se utilizaron las herramientas SPSS v.23 y Power BI, que analizaron la descripción de variables como la correlación entre factores cualitativos. Se realizaron análisis descriptivos y transversales, así como algunos de correlación entre variables cualitativas (Masuadi et al., 2021). Este enfoque permitió validar los objetivos del estudio, y aportó elementos teóricos y prácticos para comprender la magnitud del problema en la población estudiada y orientar la discusión hacia posibles estrategias educativas de intervención.

3. DESARROLLO

El instrumento se aplicó a un total de 205 estudiantes mujeres. Las edades oscilaron entre los 12 y 22 años. El 31.2 % tenían 16 años; el 27.3 %, 15 años, y el 17.6 %, 17 años. Del total de estudiantes, el 94.1 % eran solteras, el 4.9 % estaban en unión libre y el 1 %, casadas. En cuanto al grado escolar, el 40.5 % cursaban décimo grado, el 39.5 % undécimo grado y el 20 % noveno grado. Respecto al nivel socioeconómico, como se evidencia en la figura 2, se observó que el 37.6 % pertenecían al nivel 2, seguido por el 32.7 % al nivel 3, el 14.1 % al nivel 1, el 11.2 % al nivel 4, el 3.4 % al nivel 5 y solo el 1 % al nivel 6. Estos datos generales muestran que la mayoría de las participantes son adolescentes (promedio entre los 16 y 18 años), solteras y pertenecientes a los niveles socioeconómicos 2 y 3.

En el nivel general de conocimiento, se observó que el 84.4 % manifestaron tener conocimiento sobre

Figura 1. dades de las estudiantes en relación con el conocimiento del VPH

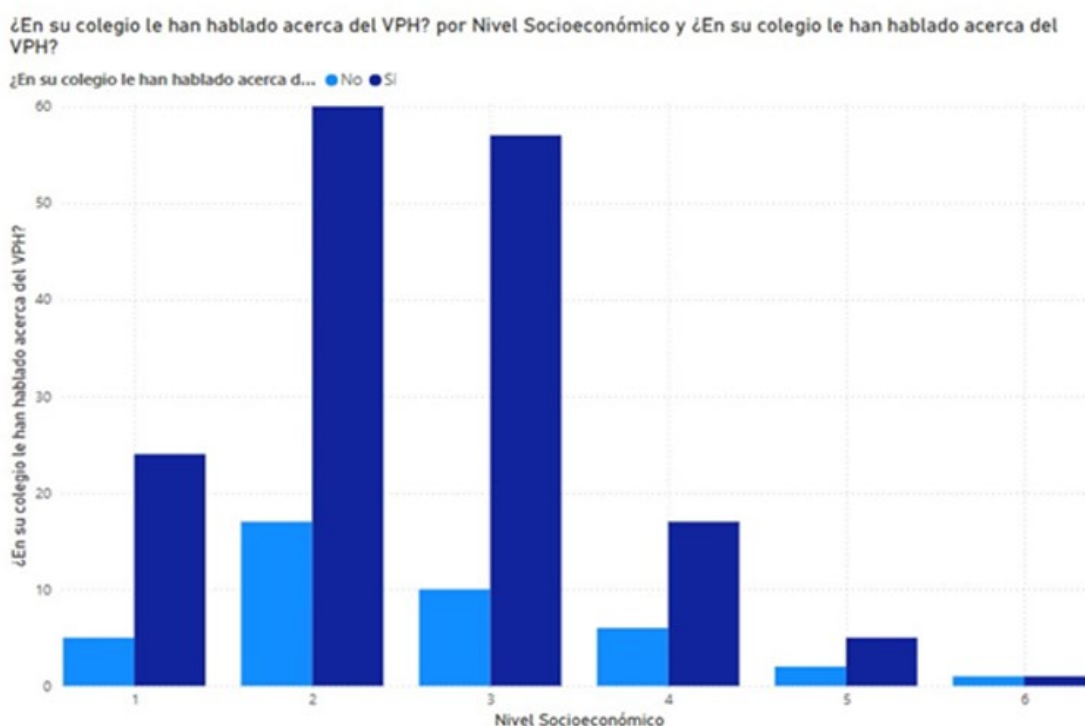


Fuente: Elaboración propia.

el VPH, mientras que el 15.6% indicaron no tenerlo. La figura 1 muestra el análisis cruzado entre el conocimiento reportado y la edad de las estudiantes. Sin embargo, al analizar las respuestas específicas sobre el virus, se evidencia que muchas estudiantes que afirman conocerlo presentan importantes vacíos de información en aspectos clave.

Con respecto a las fuentes de información sobre el VPH, el 80% la han recibido en la escuela, mientras que solo el 49.3%, de sus familias. Se encontró una correlación significativa entre recibir información en la escuela y el aprendizaje sobre los métodos de prevención. Esto resalta la importancia de las instituciones educativas como principal fuente de conocimiento sobre este tema.

Figura 2. Nivel socioeconómico de los estudiantes en relación con el conocimiento sobre el VPH



Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al conocimiento sobre prevención, el 61% saben cómo se puede prevenir el VPH, el 26.3% no lo saben y el 12.7% no están seguras. El 90.7% han escuchado sobre la vacuna contra el VPH, lo que sugiere que las campañas de vacunación han tenido un mayor alcance que la educación integral en prevención.

En la sección de salud sexual se evidenció que el 49.8% de los estudiantes han tenido relaciones

sexuales, mientras que el 50.2% no. De las estudiantes sexualmente activas, el 56.9% reportan usar siempre protección, el 28.4% algunas veces, el 10.8% no usan protección y el 3.9% manifiestan no ser sexualmente activa.

Con respecto a la citología, solo el 17.6% de las estudiantes se la han realizado, mientras que el 82.4% no. Esto refleja una baja adherencia a esta importante medida preventiva en la población estudiada. En

cuanto a la percepción del riesgo, la mayoría, 75.1 %, consideran que tener múltiples parejas sexuales aumenta el riesgo de VPH y el 89.2 % creen que el uso de condón reduce el riesgo de contraer VPH. Esto demuestra una adecuada conciencia sobre algunos factores de riesgo relevantes.

En la consulta acerca de las formas de contagio, las respuestas más frecuentes fueron el contacto sexual, con 177 menciones (respuesta correcta); la transfusión sanguínea, con 75 menciones (respuesta incorrecta); el intercambio de implementos personales, con 45 menciones (respuesta parcialmente correcta), y quienes consideran que es hereditario, con 37 menciones (respuesta incorrecta). Este hallazgo es relevante, ya que muestra concepciones erróneas importantes sobre las formas de transmisión.

Un hallazgo particularmente relevante es que el 98.5 % de las estudiantes expresaron interés en recibir más información sobre el VPH. En cuanto a las preferencias para recibir esta información, el 51.2 % manifestaron que los diferentes medios sugeridos les facilitaban el acceso; el 31.7 % prefirieron las conferencias; el 10.2 %, los folletos físicos, y el 6.8 % el correo electrónico.

4. DISCUSIÓN

Los resultados evidencian la necesidad de fortalecer la educación práctica y preventiva en las instituciones educativas, aprovechando el alto interés de las estudiantes en recibir más información sobre el VPH (Vorsters et al., 2020). Las estrategias educativas deben orientarse a traducir el conocimiento teórico en prácticas concretas de prevención, en especial el uso consistente de métodos de protección y la realización de citologías (Cordoba-Sanchez et al., 2025).

En el estudio, la comunicación y toma de decisiones sobre la vida sexual resalta la importancia del diálogo entre padres e hijos en temas tan neurálgicos y difíciles de tratar como la sexualidad, puesto que influye significativamente en las decisiones de las adolescentes (Cabral et al., 2022). El presente trabajo confirma que

la familia constituye una de las principales fuentes de acceso al tema, con un 49.3 % de estudiantes que recibieron información en su núcleo familiar. No obstante, se evidenciaron barreras en la comunicación derivadas de la falta de información y de la percepción de la sexualidad como un tema tabú en muchos hogares (Milano et al., 2023).

Por otra parte, el estudio que analiza el conocimiento sobre el VPH en estudiantes demuestra que, a través de una intervención educativa en secundaria, se logró una mejora significativa en el conocimiento sobre el VPH (Iova et al., 2024). La investigación subraya que una educación adecuada sobre este virus es esencial para prevenir la transmisión y el desarrollo del cáncer de cuello uterino. En contraste, los hallazgos del presente estudio muestran que, a pesar del alto nivel de conocimiento sobre la vacuna, el 90.7 %, la realización de citologías es baja, con el 17.6 %, y solo el 56.9 % de las que han iniciado la vida sexual utilizan protección de manera constante (Rafeie et al., 2024). Esto reafirma que el adecuado conocimiento sobre medidas de prevención, acompañado de intervenciones oportunas, podría reducir significativamente los riesgos a los que están expuestas las jóvenes por la desinformación.

5. CONCLUSIONES

El proyecto tiene como objetivo central priorizar la prevención del VPH, lo que demuestra un claro compromiso con la salud pública y la medicina preventiva. El enfoque del estudio fue centrado en un grupo específico, delimitando a estudiantes femeninas de colegios públicos de la ciudad de Pereira (Colombia). Esto confiere una coyuntura local, lo que nos lleva a sugerir ajustes en las intervenciones en la población para crear el máximo impacto para el estudio.

El proyecto establece la relación entre el VPH y el cáncer de cuello uterino. Por ello, propone un enfoque educativo que acompañe las distintas etapas de la enfermedad, y que facilite la implementación de medidas preventivas frente a la desinformación. La metodología prevista incluye clases o campañas de salud pública

orientadas a evitar la causa y efecto del contagio.

El enfoque en escuelas públicas permite que el proyecto tenga un alcance delimitado, facilitando el control de variables y la gestión de los resultados. Sin embargo, los resultados evidencian la necesidad de extrapolar y replicar el proyecto en otros lugares, de modo que la inversión en la educación para la prevención del VPH permita proteger al mayor número de personas.

El estudio tiene un alcance observacional, orientado al análisis y a la implementación de estrategias de prevención, por lo que incorpora un diseño de intervención. Esto podría incluir campañas de educación, como también programas de vacunación, ya que la vacuna contra el VPH ha demostrado ser segura y efectiva para prevenir infecciones que pueden llevar al cáncer cervical y anal, entre otros.

REFERENCIAS

- Abubakar Rasheed, F., Adamu Yakasai, I., Abdurrahman, A., Usman, A., & Yusuf, N. (2024). Human papillomavirus serotypes and determinants among women with invasive cervical cancer in Katsina state, Northwest-Nigeria: A multicentre study. *ecancermedicalscience*, 18. <https://doi.org/10.3332/ecancer.2024.1714>
- Aksoy, N., Ozturk, N., Ulusoy, S., & Ömür, M. F. (2022). Knowledge and attitude of students studying at health department towards HPV and HPV vaccination. *Vaccine*, 40(50), 7211-7218. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2022.10.016>
- Cabral, P., Wallander, J. L., Elliott, M. N., & Schuster, M. A. (2022). Longitudinal associations of parent-child communication, dating behaviors, decision-making processes, and sex initiation among United States Latina/o adolescents. *Frontiers in Psychology*, 13, 897311. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.897311>
- Combata, A. L., Reyes, V., Puerto, D., Murillo, R., Sánchez, R., Nuñez, M., Hernandez-Suarez, G. A., & Wiesner, C. (2022). Reduction in Vaccine HPV Type Infections in a Young Women Group (18–25 Years) Five Years after HPV Vaccine Introduction in Colombia. *Cancer Prevention Research*, 15(1), 55-66. <https://doi.org/10.1158/1940-6207.CAPR-21-0063>
- Cordoba-Sanchez, V., Lemos, M., & Sheinfeld Gorin, S. (2025). Development of an intervention to increase HPV vaccine uptake in Colombia. Pilot and Feasibility Studies, 11(1), 74. <https://doi.org/10.1186/s40814-025-01609-5>
- Di Giuseppe, G., Angelillo, S., Bianco, A., Gallè, F., Licata, F., Li-guori, G., Napolitano, F., Nobile, C. G. A., Pavia, M., Pelullo, C. P., & Angelillo, I. F. (2023). Evaluating Knowledge, Attitudes, and Behaviors toward HPV Infection and Vaccination among University Students in Italy. *Vaccines*, 11(10), 1517. <https://doi.org/10.3390/vaccines11101517>
- Haręza, D. A., Wilczyński, J. R., & Paradowska, E. (2022). Human Papillomaviruses as Infectious Agents in Gynecological Cancers. Oncogenic Properties of Viral Proteins. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(3), 1818. <https://doi.org/10.3390/ijms23031818>
- Iova, C. F., Daina, L. G., Daina, M. D., & Ghitea, T. C. (2024). The Effectiveness of Interventions Targeting Adolescents in HPV Vaccination—A Scoping Review. *Medicina*, 60(9), 1550. <https://doi.org/10.3390/medicina60091550>
- Jensen, J. E., Becker, G. L., Jackson, J. B., & Rysavy, M. B. (2024). Human Papillomavirus and Associated Cancers: A Review. *Viruses*, 16(5), 680. <https://doi.org/10.3390/v16050680>
- Khanal, B., & Chhetri, D. B. (2024). A Pilot Study Approach to Assessing the Reliability and Validity of Relevancy and Efficacy Survey Scale. *Janabhawana Research Journal*, 3(1), 35-49. <https://doi.org/10.3126/jrj.v3i1.68384>
- Lewis, A. G. C., Hernandez, D. M., Garcés-Palacio, I. C., & Soliman, A. S. (2024). Impact of the universal health insurance benefits on cervical cancer mortality in Colombia. *BMC Health Services Research*, 24(1), 693. <https://doi.org/10.1186/s12913-024-10979-0>
- Masuadi, E., Mohamud, M., Almutairi, M., Alsunaidi, A., Alswayed, A. K., & Aldhafeeri, O. F. (2021). Trends in the Usage of Statistical Software and Their Associated Study Designs in Health Sciences Research: A Bibliometric Analysis. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.12639>
- Mekonnen, B. A., Anagaw, Y. K., Kassahun, B. A., & Worku, M. C. (2024). Evaluation of female university students' knowledge, attitudes, and practices toward human papillomavirus infection and vaccination. Multicenter cross-sectional study. *BMC Women's Health*, 24(1), 437. <https://doi.org/10.1186/s12905-024-03279-6>
- Meneses-Urrea, L. A., Vaquero-Abellán, M., Villegas Arenas, D., Benachi Sandoval, N., Hernández-Carrillo, M., & Molina-Recio, G. (2023). Association between Cervical Cancer and Dietary Patterns in Colombia. *Nutrients*, 15(23), 4889. <https://doi.org/10.3390/nu15234889>
- Milano, G., Guarducci, G., Nante, N., Montomoli, E., & Manini, I. (2023). Human Papillomavirus Epidemiology and Prevention: Is There Still a Gender Gap? *Vaccines*, 11(6), 1060. <https://doi.org/10.3390/vaccines11061060>
- Ministerio de Salud, (2024). *Lineamientos técnicos y operativos para la vacunación contra el virus del papiloma humano*. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/PAI/lineamientos-vacunacion-contra-virus-papiloma-hu>

mano-ninas-ninos.pdf

- Oyouni, A. A. A. (2023). Human papillomavirus in cancer: Infection, disease transmission, and progress in vaccines. *Journal of Infection and Public Health*, 16(4), 626-631. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2023.02.014>
- Puerto, D., Trujillo, K., Córdoba, M., & Rodríguez, J. (2022). Tamización de oportunidad para cáncer de cuello uterino en Bogotá: Estudio de caso en el Centro de Prevención y Diagnóstico temprano (CPeD) del Instituto Nacional de Cancerología- Colombia. *Revista Colombiana de Cancerología*, 26(3), 294-305. <https://doi.org/10.35509/01239015.768>
- Rafeie, L., Vizesifar, F., & Nick, N. (2024). The effect of education based on planned behavior theory on women's knowledge and attitudes about human papillomavirus. *Scientific Reports*, 14(1), 18581. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-69340-4>
- Sendagorta-Cudós, E., Burgos-Cibrián, J., & Rodríguez-Iglesias, M. (2019). Infecciones genitales por el virus del papiloma humano. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 37(5), 324-334. <https://doi.org/10.1016/j.eimc.2019.01.010>
- Silva, A. J. D., Moura, I. A. D., Gama, M. A. T. M. D., Leal, L. R. S., Pinho, S. S. D., Espinoza, B. C. F., Santos, D. L. D., Santos, V. E. P., Sena, M. G. A. M. D., Invenção, M. D. C. V., Macêdo, L. S. D., França Neto, P. L. D., & Freitas, A. C. D. (2023). Advancing Immunotherapies for HPV-Related Cancers: Exploring Novel Vaccine Strategies and the Influence of Tumor Microenvironment. *Vaccines*, 11(8), 1354. <https://doi.org/10.3390/vaccines11081354>
- Simelela, P. N. (2021). WHO global strategy to eliminate cervical cancer as a public health problem: An opportunity to make it a disease of the past. *International Journal of Gynecology & Obstetrics*, 152(1), 1-3. <https://doi.org/10.1002/ijgo.13484>
- Varer Akpınar, C., & Alanya Tosun, S. (2023). Knowledge and perceptions regarding Human Papillomavirus (HPV) and willingness to receive HPV vaccination among university students in a north-eastern city in Turkey. *BMC Women's Health*, 23(1), 299. <https://doi.org/10.1186/s12905-023-02455-4>
- Villanueva, S., Mosteiro-Miguéns, D. G., Domínguez-Martís, E. M., López-Ares, D., & Novío, S. (2019). Knowledge, Attitudes, and Intentions towards Human Papillomavirus Vaccination among Nursing Students in Spain. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(22), 4507. <https://doi.org/10.3390/ijerph16224507>
- Vorstors, A., Bosch, F. X., Bonanni, P., Franco, E. L., Baay, M., Simas, C., Waheed, D.-N., Castro, C., Murillo, R., Trujillo, L., Wiesner, C., & Muñoz, N. (2020). Prevention and control of HPV infection and HPV-related cancers in Colombia- a meeting report. *BMC Proceedings*, 14(S9), 8. <https://doi.org/10.1186/s12919-020-00192-2>
- Yılmaz, T., Dinç Kaya, H., Günaydin, S., & Günay, Ü. (2021). The Level of Knowledge About Human Papillomavirus and Attitude Towards Vaccination Among Young Women in Turkey. *Cyprus Journal of Medical Sciences*, 6(1), 14-21. <https://doi.org/10.4274/cjms.2021.1624>

CARACTERIZACIÓN DE LAS GRANIZADAS SOBRE BOGOTÁ, COLOMBIA

CHARACTERIZATION OF HAILSTORMS OVER THE CITY OF BOGOTÁ, COLOMBIA

¹Ávila Bonilla, K. S., ²Torres Torres, L. C., ³Almansa Rivera, D. F., ⁴Rocha Bedoya, H. D.,
⁵Vega Montenegro, G., ⁶Puentes Mojica, J. E., ⁷Villamizar Hernández, A.,
⁸Andrade Guerrero, Y. A., ⁹Moreno Santamaria, A. I., ¹⁰López Mogollón, M.,
¹¹Amaris Martínez, J. D., ¹²Rubio Velandia, A., ¹³Sandoval Cobos, K. L., ¹⁴Bogota Bueno, J. H.,
¹⁵Quijano Noreña, J. C., & ¹⁶Rodríguez Sandoval, E. A.

*1,2,3,4,6,7,8,9,11,12,13,14,16, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, ⁵Sede Manizales,
¹⁰Sede Medellín / ¹⁵Universidad Santo Tomás*

Cómo citar: Ávila Bonilla, K. S., Torres Torres, L. C., Almansa Rivera, D. F., Rocha Bedoya, H. D., Vega Montenegro, G., Puentes Mojica, J. E., Villamizar Hernández, A., Andrade Guerrero, Y. A., Moreno Santamaria, A. I., López Mogollón, M., Amaris Martínez, J. D., Rubio Velandia, A., Sandoval Cobos, K. L., Bogota Bueno, J. H., Quijano Noreña, J. C., & Rodríguez Sandoval, E. A. (2026). Caracterización de las granizadas sobre la ciudad de Bogotá, Colombia. *Publicaciones E Investigación*, 19(2). <https://doi.org/10.22490/25394088.10449>

Recibido 15 Octubre 2025, Aprobado 20 Noviembre 2025

RESUMEN

Una granizada es un evento en el que se precipitan partículas de hielo de tamaño variable, que pueden causar daños a la infraestructura urbana y provocar afectaciones en la movilidad, tal como ocurre en Bogotá. Sin embargo, pese a su relevancia en la gestión del riesgo, no se cuenta con una caracterización actualizada de estos eventos en la ciudad. Por ello, en el presente estudio se identifican las características de ocurrencia, condiciones climatológicas y patrones de localización de las tormentas de granizo para el periodo comprendido entre 2008 y 2024 en la capital. Para ello, se analizaron los reportes de ocurrencia de granizadas en la ciudad publicados en medios de comunicación y entidades distritales, junto con los registros de precipitación disponibles en entidades oficiales. Se identificó que estos eventos usualmente ocurren entre las 11:00 a. m. y las 6:00 p. m., y que marzo

-
- ¹ ksavilab@unal.edu.co / <https://orcid.org/0009-0004-8005-1437>
² lactorresto@unal.edu.co / <https://orcid.org/0009-0000-5313-5062>
³ dalmansa@unal.edu.co / <https://orcid.org/0009-0007-3196-8195>
⁴ hrocha@unal.edu.co / <https://orcid.org/0009-0002-8735-9464>
⁵ gvegam@unal.edu.co / <https://orcid.org/0009-0003-9262-5867>
⁶ jupuentesm@unal.edu.co / <https://orcid.org/0009-0000-5643-8165>
⁷ avillamizarh@unal.edu.co / <https://orcid.org/0009-0004-6849-3486>
⁸ yandrade@unal.edu.co / <https://orcid.org/0009-0001-1345-1746>
⁹ aimoreno@unal.edu.co / <https://orcid.org/0009-0009-1810-4960>
¹⁰ matlopezmog@unal.edu.co / <https://orcid.org/0009-0000-5110-1969>
¹¹ jamarism@unal.edu.co / <https://orcid.org/0009-0003-9932-0660>
¹² anvelandia@unal.edu.co
¹³ ksandovalc@unal.edu.co / <https://orcid.org/0009-0000-8432-4835>
¹⁴ jhbogotab@unal.edu.co / <https://orcid.org/0009-0006-9460-3823>
¹⁵ juancaquijanoni7@gmail.com / <https://orcid.org/0009-0001-2900-2486>
¹⁶ earodriguezs@unal.edu.co / <https://orcid.org/0000-0003-4303-6460>

y octubre son los meses con mayor número de eventos. Además, Usaquén es la localidad con mayor frecuencia de granizadas. Ante la ocurrencia de granizadas, principalmente se reportan encharcamientos y afectaciones en la movilidad de la ciudad. Conocer la localización y magnitud de las granizadas permite optimizar la planeación de la infraestructura de drenaje y la mitigación de los impactos generados por estos eventos.

Palabras clave: granizada; Bogotá; tormenta; inundación; precipitación.

ABSTRACT

A hailstorm is an event in which ice particles of varying sizes precipitate, potentially causing damage to urban infrastructure and generating disruptions to urban mobility, as frequently occurs in Bogotá. However, despite its relevance for risk management, there is no updated characterization of these events in the city. For this reason, this study identifies the occurrence characteristics, climatological conditions, and spatial patterns of hailstorms in Bogotá during the period 2008–2024. To accomplish this, reports of hailstorms from local media and municipal agencies, as well as precipitation records available from official entities, were analyzed. Results indicate that hailstorms usually occur between 11:00 a.m. and 6:00 p.m., with March and October registering the highest frequency. In addition, Usaquén is the locality with the highest frequency of hailstorms. The impacts most reported include flooding and disruptions to urban mobility. Understanding the location and magnitude of hailstorms provides key insights for optimizing drainage infrastructure planning and mitigating the impacts of these events.

Keywords: hailstorm; Bogotá; storm; flooding; precipitation.



1. INTRODUCCIÓN

Las granizadas se producen por sistemas de alta convección que permiten la formación de nubes tipo *cumulonimbus* de gran tamaño. Los eventos de granizo se caracterizan por su localización espacial y temporal. Debido a la magnitud de los impactos en cultivos e infraestructura, diversos estudios han analizado este fenómeno en todo el mundo. Varios autores, como Caja de Crédito Agraria (1998), Cepeda (2010), Jiménez (2007), Peña-Beltrán (2015) y Romo et al. (2001), han analizado las características o impactos de las tormentas de granizo en el territorio colombiano. Por su parte, Peña-Beltrán y Pabón-Caicedo (2020) identificaron 468 granizadas en Colombia en el periodo

comprendido entre 1980 y 2010, de las cuales el 34 % ocurrieron en Bogotá. En la capital colombiana, las granizadas se presentan al final de la época seca (febrero-marzo y septiembre-octubre), lo que ocasiona inundaciones importantes en vías y sótanos de edificaciones, resultados que afectan la movilidad y provocan deterioro o pérdida de infraestructura. Identificar las áreas más propensas a la ocurrencia de este tipo de eventos y caracterizarlos en cuanto a fecha, hora, duración, localización, afectaciones, magnitud de la precipitación total e intensidades de lluvia es fundamental para actualizar la infraestructura de drenaje existente y para planificar la proyectada.

En este contexto, Cepeda y Rodríguez (2010, 2016a, 2016b) reportan la creación de una base de datos georreferenciada de 231 tormentas de granizo en Bogotá desde 1939 hasta el 2004, indicando un promedio de cuatro tormentas por año, que usualmente ocurren entre las 2:00 p. m. y las 3:00 p. m., con duraciones no mayores a 30 minutos (Agencia UNAL, 2012). Por varias razones, es esencial actualizar esta base de datos con información proveniente de medios de comunicación, del Sistema de Información para la Gestión del Riesgo y el Cambio Climático (SIRE), de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) y del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM). Además de ser vital para el trabajo de instituciones distritales y de gran utilidad para las compañías de seguros, también es fundamental para la investigación científica. Conocer las características actualizadas de las granizadas permite analizar si han sufrido cambios, como una intensificación de los eventos, posiblemente asociada al cambio climático, lo que podría servir

como alerta sobre los posibles efectos del clima en las próximas décadas. Por esto, desde el Semillero de Investigación en Hidrología Urbana (SIHU) se ha propuesto desarrollar una base de datos georreferenciada y actualizada de tormentas de granizo ocurridas en Bogotá, para dar continuidad al trabajo iniciado por Cepeda y Rodríguez (2010).

2. MATERIALES Y MÉTODO

La metodología empleada en este estudio comprendió la identificación de los eventos de granizada en la ciudad, seguida de la caracterización climatológica a partir de los registros de precipitación disponibles en entidades oficiales. Posteriormente, se realizó el análisis de ocurrencia y promedio de las características hidroclimatológicas. Esta metodología se fundamentó en lo planteado previamente por Cepeda (2010). Las cinco fases principales se describen en la figura 1.

Figura 1. Metodología empleada



Fuente: elaboración propia.

2.1 Zona de estudio y caracterización temporal

El estudio se desarrolló en Bogotá, capital de Colombia, un área predominantemente impermeabilizada. Debido a esta característica, la capital colombiana es propensa a inundaciones tras fuertes lluvias o

granizadas, lo que afecta la movilidad y la infraestructura. De las 20 localidades que componen la ciudad, se consideraron 19 para esta investigación, excluyendo Sumapaz, ubicada al sur de la capital. Bogotá, situada en la región Andina, experimenta un régimen bimodal de precipitación con periodos húmedos comprendidos

entre marzo-mayo y septiembre-noviembre, debido al desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT).

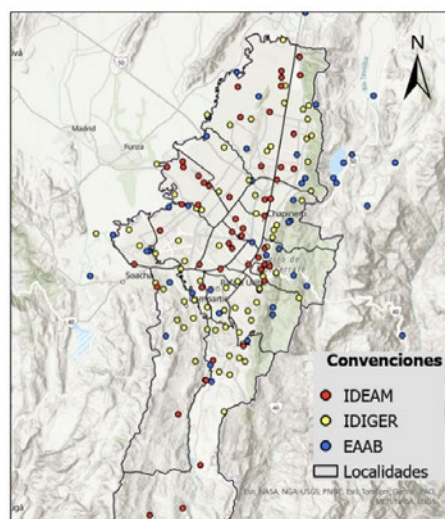
El periodo de análisis abarcó desde el 2008 hasta el 2024, para dar continuidad a la base de datos previamente elaborada por Cepeda (2010). Durante este periodo se identificaron los eventos de granizo en la ciudad mediante información secundaria procedente del Sistema de Información de Emergencias y Desastres del Distrito (SIRE), archivos digitales de prensa (por ejemplo, El Tiempo y El Espectador) y redes sociales. Una vez detectado el evento, se procedió a su caracterización temporal y espacial. Se registraron la fecha y hora de inicio y de finalización para determinar en qué

franja del día se presentó: matutina (7:00 a. m. a 11:00 a. m.), mediodía (11:00 a. m. a 3:00 p. m.), vespertina (3:00 p. m. a 6:00 p. m.), nocturna (6:00 p. m. a 10:00 p. m.) o madrugada (10:00 p. m. a 7:00 a. m.). Los reportes disponibles también permitieron identificar las localidades y barrios afectados.

2.2 Caracterización hidroclimatológica

A partir del día, la hora y el lugar de ocurrencia, se identificaron, para cada uno de los eventos, las estaciones cercanas —operadas por el IDIGER, el IDEAM y la EAAB—, que registraron una precipitación superior a 10 mm. La ubicación de las estaciones y de las localidades de la ciudad se muestra en la figura 2.

Figura 2. Localización de estaciones operadas por el IDEAM, el IDIGER y la EAAB en Bogotá



Fuente: Elaboración propia.

Para la caracterización hidroclimatológica se consideró principalmente el registro pluviométrico de las estaciones gestionadas por el IDIGER, obtenido del Sistema de Alerta Temprana SAB, que permite descargar datos a nivel minutal para las estaciones a cargo de esta entidad desde 2012 (IDIGER, s.f) (<https://www.sire.gov.co/web/sab/informacion-hidrometeorologica>), incrementando gradualmente el número de estaciones disponibles. Sin embargo, en algunas zonas de la ciudad o en determinados periodos no se cuenta con

estaciones administradas por el IDIGER, por lo que se recurre a fuentes adicionales manejadas por el IDEAM y la EAAB.

Los registros realizados por las estaciones de la EAAB no están disponibles en línea y son suministrados vía correo electrónico a escala diaria. Por lo tanto, mediante el software HIDFUN (Fuentes et al., 2018) se digitalizaron las cartas pluviográficas proporcionadas por la entidad para contar con los registros

subdiarios de precipitación en los días y estaciones de interés. Respecto a los registros del IDEAM, algunas estaciones disponían de datos cada diez minutos, lo que también permitió identificar la hora de inicio y finalización del evento. Sin embargo, antes del 2012 los registros necesarios para obtener datos subdiarios de precipitación eran limitados. Por esta razón, los registros diarios del IDEAM constituyeron la fuente principal para reportar la precipitación diaria sin detallar la hora de inicio y fin ni especificar la cantidad correspondiente al evento.

Para cada evento, se determinó su intensidad y la precipitación total, tanto diaria como del evento. También se registró su duración, incluyendo la hora exacta de inicio y de finalización. Cuando un evento fue monitoreado por más de una estación, se calcularon los promedios de intensidad, precipitación y duración a partir de los datos de todas las estaciones. Además, se identificó la precipitación máxima diaria y la máxima del evento registradas entre todas las estaciones.

2.3 Caracterización espacial

Teniendo en cuenta las estaciones que registraron precipitación en las localidades donde se reportó la granizada, se definió el polígono de afectación de cada evento. Para identificar el punto de ocurrencia de la granizada, se calculó el centroide del polígono, al que se asignaron las características temporales e hidroclimáticas previamente calculadas.

2.4 Análisis de las zonas más impactadas

Finalmente, a partir de la caracterización de los eventos, se compilaron las características de ocurrencia hidroclimáticas y geográficas, con el propósito de identificar los patrones y las zonas más afectadas por las tormentas de granizo en la ciudad. Además, se identificaron los daños ocasionados por cada evento, basándose en información secundaria.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado de la implementación de la metodología descrita anteriormente, se identificaron 109 eventos de granizada en Bogotá, durante el periodo 2008-2024.

3.1 Caracterización temporal del evento

En primer lugar, se caracterizaron temporalmente los eventos, identificando la fecha de ocurrencia (año, mes y día). En la figura 3 se presenta el número de eventos ocurridos por año y su línea de tendencia. Se observa que el año con menor número de eventos fue el 2015, mientras que el año con mayor número de eventos fue el 2024. En general, no se presenta un número constante de eventos, calculándose un promedio de seis por año. Al analizar la tendencia de eventos por año, se constata un aumento a medida que progresa el periodo de análisis, especialmente a partir del año 2020. Cepeda (2010) estima que para el periodo comprendido entre 1939 y 2008 ocurrieron en promedio cuatro eventos por año. El número de eventos registrado en el presente estudio concuerda con los hallazgos de Jiménez (2007), quien menciona que en áreas ubicadas sobre los 2500 msnm, como Bogotá a 2600 msnm, en promedio se presentan cinco eventos de granizo por año, a diferencia de lugares por debajo de los 500 msnm, en los que ocurre un promedio de un evento al año.

El incremento poco significativo en el periodo analizado (2008-2024) puede obedecer a un aumento real de los eventos debido a factores como la variabilidad climática o el cambio climático, según lo expuesto por Brunetti et al. (2002) y Piani et al. (2005), o a un mayor reporte y acceso a la información, como indica Pielke (2004). Esto se debe, especialmente, a los medios de comunicación y al registro distrital, si se tiene en cuenta que la primera fuente de información para la identificación de los eventos fue precisamente esta. Otros autores, como Raupach et al. (2021), afirman que las observaciones a largo plazo y los modelos son fundamentales para comprender los efectos del cambio climático en los eventos de granizo.

Figura 3. Número de eventos de granizada por año y su localidad

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3 se analiza el mes de ocurrencia de los eventos. Es posible observar que la frecuencia de las granizadas sigue el patrón bimodal de precipitación de Bogotá, presentando picos en marzo y octubre. Este comportamiento bimodal de las granizadas coincide con los resultados de Cepeda (2010), que además reporta que los meses con mayor frecuencia de eventos son febrero y noviembre. En febrero se encuentra al inicio de la primera temporada lluviosa y, en noviembre, en la segunda temporada lluviosa. Los hallazgos también son consistentes con Jiménez (2007), que señala que el granizo en Colombia ocurre principalmente en temporadas que comprenden marzo-abril y octubre-noviembre. Aunque Peña-Beltrán y Pabón-Caicedo (2020) discretizan el número de eventos por departamento, en donde se evidencia que en la región Caribe los meses de junio y agosto reportan la mayor cantidad de eventos.

3.2 Caracterización climatológica de los eventos

La caracterización climatológica de los eventos se realizó empleando los registros de precipitación a nivel minutal del IDIGER y la información obtenida de la digitalización de cartas proporcionadas por la EAAB. Debido a las limitaciones en los registros minutales previos al 2012, este análisis se enfocó en el periodo 2012-2024.

En la tabla 1 se presentan cinco características promedio para cada año: 1) duración del evento de precipitación que acompañó la granizada; 2) precipitación diaria; 3) precipitación del evento; 4) precipitación máxima diaria y 5) precipitación máxima del evento. Las dos últimas identifican el valor máximo de precipitación registrado por la red de estaciones utilizada en la caracterización. De forma general, la precipitación del evento es muy semejante a la notificada diariamente, siendo esta última, en promedio, mayor. Lo mismo ocurre con los valores de precipitación máxima. En promedio, la precipitación asociada a los eventos fue de 25.5 mm, con una duración media de 76.7 minutos y una intensidad promedio de 24.1 mm/h. Asimismo, se identificó una tendencia creciente en los valores de precipitación e intensidad con el paso de los años, similar a la observada en el número de eventos. Friedrich et al. (2019), en Colorado, Estados Unidos, reportan duraciones similares para eventos de granizado, con caídas de granizo que duran entre 5 y 25 minutos en promedio. A partir de los registros disponibles, se detectó que las tormentas de granizo presentan mayor frecuencia al mediodía (de 11:00 a. m. a 3:00 p. m.), con un 58 %, y en la tarde (de 3:00 p. m. a 6:00 p. m.), con un 39 %. Estos resultados son coherentes con los estudios anteriores que informan que las horas más frecuentes para la ocurrencia de granizadas son entre las 2:00 p. m. y las 3:00 p. m. (Cepeda, 2010), así como con Peña-Beltrán y Pabón-Caicedo (2020), quienes señalan que el 84 % de los eventos analizados en Colombia ocurren entre las 12:00 m. y las 6:00 p. m.

Tabla 1. Caracterización climatológica de los eventos de granizada, incluyendo precipitación diaria promedio y máxima, precipitación del evento promedio y máxima e intensidad del evento

Año	Duración (min)	Precipitación diaria (mm)	Precipitación evento (mm)	Precipitación máxima diaria (mm)	Precipitación máxima evento (mm)	Intensidad (mm/h)
2012	40.0	21.5	26.6	21.5	26.6	16.7
2013	105.5	27.8	24.2	29.3	25.0	16.5
2014	83.2	23.9	22.1	27.2	33.1	15.9
2015	90.0	17.8	17.0	31.7	31.7	13.0
2016	145.7	25.7	31.9	28.6	36.1	13.4
2017	85.3	23.5	18.4	30.9	26.0	15.5
2018	79.3	26.9	26.8	29.4	29.3	35.1
2019	88.3	24.5	20.3	28.1	24.4	20.5
2020	59.7	32.0	25.8	37.5	33.8	27.8
2021	43.8	24.0	22.7	26.0	24.9	35.2
2022	55.2	42.2	38.4	46.9	43.1	40.0
2023	81.8	41.7	36.1	47.3	40.8	31.1
2024	39.7	36.4	20.9	35.6	24.3	33.1
Promedio	76.7	28.3	25.5	32.3	30.7	24.1

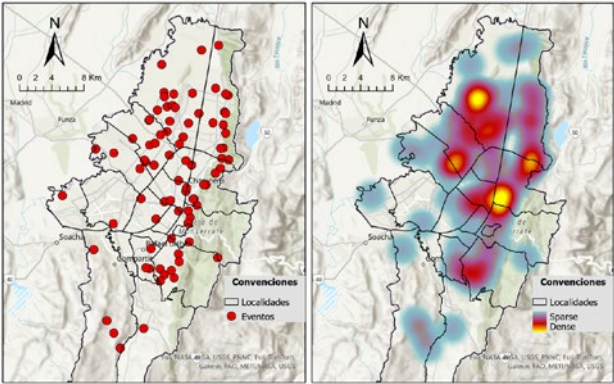
Fuente: Elaboración propia.

3.3 Caracterización espacial de los eventos

A partir de la identificación de la localización de cada evento, definida como el centroide de las estaciones empleadas en la caracterización climatológica, se efectuó el análisis espacial de las granizadas identificadas. En la figura 4, a la izquierda, se muestra la ubicación de los 109 eventos identificados, mientras que el

panel derecho exhibe un mapa de calor en el que los colores rojos y amarillos indican mayor densidad de eventos en el área. Es posible evidenciar que la mayoría de los sucesos ocurren en las cercanías de los cerros Orientales y en la localidad de Suba (zona donde también se encuentran elevaciones como el cerro La Conejera). Estas son las áreas con mayor frecuencia de eventos.

Figura 4. Izquierda: localización de los eventos de granizada identificados. Derecha: mapa de calor con la densidad de eventos: los tonos amarillos y rojos indican mayor concentración

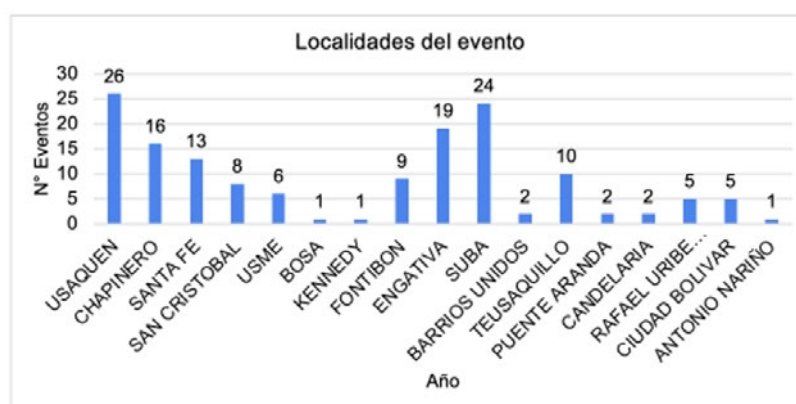


Fuente: Elaboración propia.

Al examinar el número de eventos por localidad se confirma lo concluido respecto a la localización de los eventos, como se observa en la figura 5. La zona cercana a los cerros Orientales —integrada por Usaquén, Chapinero y Santa Fe— concentra cerca del 37%. Asimismo, Suba (16%) y Engativá (13%) presentan un número considerable de eventos. Es importante

destacar que se identificaron 109 fechas en las que ocurrieron granizadas, algunas de las cuales se presentaron en diferentes localidades, de modo que el número total mostrado en la figura 5 es de 150. Bernal y Albarracín (2020) señalan que la localidad con mayor número de granizadas es Usaquén.

Figura 5. Localidades en las que se presentaron los eventos de granizada



Fuente: Elaboración propia.

Por último, se identificaron y clasificaron los daños ocasionados en cinco categorías: encharcamientos y afectaciones en la movilidad 32% (la categoría más frecuente); inundaciones en viviendas o establecimientos 21%; afectación de techos, tejas e infraestructura 23%; caída de árboles 18% y afectación a la operación aeroportuaria 5%, especialmente en Engativá y Fontibón. Conocer los daños causados por granizadas resulta fundamental para Bogotá, ya que, según Peña-Beltrán y Pabón-Caicedo (2020), Bogotá concentra el 34% de los eventos de granizo ocurridos en Colombia, seguido de Medellín con el 6%. Además, estos mismos autores reportan que el 90% de los eventos de granizo se presentan en la región Andina, una zona donde predominan la agricultura y la ganadería, de modo que las actividades socioeconómicas pueden verse gravemente afectadas (Bruick et al., 2019; La Caja de Crédito Agraria, 1998; Lassig, 2006; Olcina et al., 1998; Pittaluga, 2004; Romo et al., 2001).

El análisis permitió consolidar una base de datos georreferenciada que contiene las características temporales, espaciales y climáticas de cada granizada ocurrida durante el periodo evaluado (2008-2024). Esta base puede consultarse en: en el periodo evaluado (2008-2024), la cual puede ser consultada en el siguiente enlace: <https://drive.google.com/drive/folders/1HVrb8O6dGS6Cqz79KIY8S8L1chcEA55e?usp=sharing>

4. CONCLUSIONES

Se identificaron 109 eventos de granizada ocurridos en Bogotá durante el periodo 2008-2024, los cuales fueron caracterizados temporal, climatológica y geográficamente. La caracterización permitió actualizar bases de datos previas y proporcionar información relevante acerca de los puntos y temporadas con mayor ocurrencia de granizadas en la ciudad; además, aportó elementos clave para la gestión del riesgo, la optimización de estructuras de drenaje urbano y como insumo para las aseguradoras de infraestructura, entre otros.

Para el periodo analizado, se encontró que en promedio se presentan seis eventos de granizada al año, principalmente en cercanías de los cerros Orientales (localidad de Usaquén) y en Suba, con una duración promedio de la precipitación de 77 minutos y una intensidad de 24.1 mm/h. En cuanto a la estacionalidad, la frecuencia incrementa en los meses de lluvia (marzo y octubre) y en la franja horaria de 11:00 a. m. a 6:00 p. m. Finalmente, las problemáticas más frecuentes generadas por las granizadas son los encharcamientos y las afectaciones a la movilidad.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro agradecimiento a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia por proporcionar recursos para el desarrollo de esta investigación. Asimismo, extendemos el agradecimiento a la EAAB, IDEAM, IDIGER y la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) por suministrar los registros de precipitación empleados en este análisis.

REFERENCIAS

- Agencia UNAL. (2012). *Mirada científica a 70 años de tormentas de granizo sobre la ciudad de Bogotá*.
- Bernal, M., y Albarracín, L. (2020). *Análisis espacio-temporal de los eventos de tormentas eléctricas y granizadas ocurridos en Bogotá entre 1960 y 2018* [Tesis de grado, Universidad de la Salle]. <https://hdl.handle.net/20.500.14625/22331>
- Bruick, Z., Rasmussen, K., & Cecil, D. (2019). Subtropical South American hailstorm characteristics and environments. *Monthly Weather Review*, 147(12), 4177–4196. <https://doi.org/10.1175/mwr-d-19-0011.1>
- Brunetti, M., Maugeri, M., Nanni, T., & Navarra, A. (2002). Droughts and extreme events in regional daily precipitation series. *International Journal of Climatology*, 22, 543–561. <https://doi.org/10.1002/joc.751>
- Caja de Crédito Agraria. (1998). *Los riesgos hidroclimáticos del agro colombiano*.
- Cepeda, E. (2010). *Recopilación histórica y análisis climatológico de eventos de granizada ocurridos sobre Bogotá y su relación con el cambio climático global* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/7400>
- Cepeda, E., y Rodríguez, E. (2010). Caracterización general de eventos de granizada ocurridos sobre Bogotá, Colombia. En *Memorias del XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica*, Punta del Este, Uruguay.
- Cepeda, E., y Rodríguez, E. (2016a). Intensidad Torro de eventos de granizada ocurridos sobre Bogotá, Colombia (1938-2008). En *Memorias del XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica*, Lima, Perú.
- Cepeda, E., y Rodríguez, E. (2016b). Señales de cambio climático en Bogotá, Colombia (1945-2005). En *Memorias del XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica*, Lima, Perú.
- Friedrich, K., Wallace, R., Meier, B., Rydell, N., Deierling, W., Kalina, E., Motta, B., Schlatter, P., Schlatter, T., & Doesken, N. (2019). CHAT: The Colorado Hail Accumulation from Thunderstorms Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 100(11), 2277–2293. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0277.1>
- Fuentes, C., Rodríguez, E., y Villarreal, E. (2018). HIDFUN: una herramienta para la extracción y análisis de pluviogramas. En *XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica*, Buenos Aires, Argentina, septiembre de 2018.
- IDIGER. (s.f.). *información hidrometeorológica*. <https://www.sire.gov.co/web/sab/informacion-hidrometeorologica>
- Jiménez, A. (2007). *Cargas de granizo en Colombia* [Tesis de grado, Universidad de los Andes]. Séneca Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/1992/25992>
- Lassig, J. (2006). *Precipitaciones de granizo en el Alto Valle del río Negro y Neuquén: su influencia en la fruticultura regional* [Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires]. https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n4001_Lassig.pdf
- Olcina, J., Rico, A., y Jiménez, A. (1998). *Las tormentas de granizo en la Comunidad Valenciana: cartografía de riesgo en la actividad agraria*. Investigaciones Geográficas, 19, 5–29. <https://doi.org/10.14198/INGEO1998.19.05>
- Peña-Beltrán, Z. (2015). *Análisis de las granizadas en Colombia* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/76479>

- Peña-Beltrán, Z., y Pabón-Caicedo, J. (2020). *Climatología de las granizadas en Colombia. Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 29(1), 259–282. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v29n1.7543>
- Piani, F., Crisci, A., De Chiara, G., Maracchi, G., & Meneguzzo, F. (2005). Recent trends and climatic perspectives of hailstorms frequency and intensity in Tuscany and Central Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5(2), 217–224.
- Pielke, R. (2004). When scientists politicize science: Making sense of the controversy over The Skeptical Environmentalist. *Environmental Science and Policy*, 7(5), 405–417.
- Pittaluga, G. (2004). Granizo, una amenaza para la producción agrícola. *Marca Líquida Agropecuaria*, 14(132), 25–26.
- Raupach, T., Martius, O., Allen, J., Kunz, M., Lasher-Trapp, S., Mohr, S., Rasmussen, K. L., Trapp, R., & Zhang, Q. (2021). The effects of climate change on hailstorms. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(3), 213–226. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-00133-9>
- Romo Parra, C., Cayón Salinas, D. G., Lara Sarmiento, L., y Giraldo, G. (2001). Efectos del granizo y el viento sobre el desarrollo y calidad de los frutos. *Infomusa*, 10(2), 13–17.

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UNA TURBINA SAVONIUS EN CONDICIONES DE SUPERFICIE LIBRE

ANALYSIS OF THE BEHAVIOR OF A SAVONIUS TURBINE UNDER FREE SURFACE CONDITIONS



¹Nicolás Ardila Vergara
²Mateo Velandia Suarez
³Laura Catalina Ramírez Villareal

^{1,2,3}Universidad Nacional de Colombia

Cómo citar: Velandia Suarez, M., Ardila Vergara, N. ., & Ramírez Villareal, L. C. (2025).
Análisis del comportamiento de una turbina Savonius en condiciones de superficie libre.
Publicaciones E Investigación, 19(2). <https://doi.org/10.22490/25394088.10452>

Recibido 10 mayo, Aprobado 20 junio 2025

RESUMEN

El diseño de turbinas en canales con interfaz agua-aire plantea desafíos significativos en el campo de la ingeniería hidráulica. Este estudio investiga el comportamiento del flujo a través de una turbina sumergida, y utiliza simulaciones avanzadas para modelar con precisión las interacciones entre los fluidos. La metodología empleada permite evaluar el rendimiento del diseño de la turbina en condiciones complejas y ofrece una solución para mejorar la eficiencia en sistemas de energía renovable.

Palabras clave: turbina Savonius; superficie libre; simulación CFD; eficiencia hidrocínética; interfaz agua-aire.

ABSTRACT

The design of turbines in channels with a water-air interface poses significant challenges in the field of hydraulic engineering. This study investigates the flow behavior through a submerged turbine and uses advanced simulations to accurately model fluid interactions. The methodology employed allows for the evaluation of turbine design performance under complex conditions and offers a solution for improving efficiency in renewable energy systems.

Keywords: Savonius turbine; free surface; CFD simulation; hydrokinetic efficiency; water-air interface.

¹ niardilav@unal.edu.co / ORCID 0009-0000-6102-7520

² mavelandias@unal.edu.co / ORCID 0009-0003-4500-4849

³ aremirezvi@unal.edu.co / ORCID 0009-0006-5252-9063



1. INTRODUCCIÓN

En Colombia, las regiones aisladas sin conexión a la red eléctrica enfrentan dificultades de suministro energético. Una solución viable es el uso de fuentes renovables, entre ellas, las turbinas hidrocinéticas, que destacan en entornos fluviales. A diferencia de las hidroeléctricas convencionales, no requieren grandes extensiones de terreno, lo que las hace adecuadas para zonas remotas. Su diseño portátil y el fácil mantenimiento también las convierte en una opción más económica (Ibrahim et al., 2021).

Las turbinas de eje horizontal, adaptadas de la industria eólica, han sido las más usadas en ríos grandes. Sin embargo, su funcionamiento exige cuerpos

de agua profundos y con alta velocidad, condiciones que no siempre están presentes en los ríos colombianos (Benavides-Morán, 2022).

Esta investigación se enmarca en el proyecto FLUSS, cuyo objetivo es analizar la viabilidad de las turbinas hidrocinéticas tipo Savonius de eje horizontal en ríos de montaña. El problema se plantea para responder preguntas sobre el desempeño de la turbina en un entorno de laboratorio antes de realizar la construcción y el diseño de un banco para pruebas de turbinas en el canal de ensayos hidráulicos del laboratorio de hidráulica, el cual se observa en la figura 1.

Figura 1. Canal de hidráulica Universidad Nacional de Colombia



Fuente: Elaboración propia

Las ecuaciones (1), (2), (3) y (4) corresponden a coeficientes adimensionales útiles para el análisis a escala real de la turbina en el canal. Estas ecuaciones permiten estimar las cargas sobre la estructura y calcular el coeficiente de generación de potencia de la turbina,

información que es fundamental para el desarrollo de un prototipo a escala real. En la tabla 1 se describe cada uno de los parámetros generales empleados en el estudio y diseño de la turbina.

Tabla 1. Descripción de parámetros generales de análisis para una turbina Savonius

Símbolo	Descripción	Unidades
C_p	Coefficiente de potencia	[1]
C_d	Coefficiente de arrastre	[1]
C_l	Coefficiente de sustentación	[1]
C_m	Coefficiente de momento	[1]
F_d	Fuerza de arrastre	[N]
F_l	Fuerza de sustentación	[N]
M	Momento	[Nm]
ω	Velocidad angular	[rad/s]
TSR	Tip speed ratio	[1]
U_∞	Velocidad de referencia	[m/s]
A_t	Área transversal	[m ² /s]
e	Overlap ratio	[1]
ρ	Densidad del agua	[kg/m ³]
R	Radio de la turbina	[m]

Fuente: Elaboración propia

$$C_p = C_m * TSR \quad (1)$$

$$TSR = \frac{\omega R}{U_\infty} \quad (2)$$

$$C_m = \frac{M}{\frac{1}{2} \rho A_t R U_\infty^2} \quad (3)$$

$$C_d = \frac{F_d}{\frac{1}{2} \rho A_t U_\infty^2} \quad (4)$$

2. MATERIALES Y MÉTODO

Para estudiar el desempeño de la turbina Savonius, se utilizó el software Ansys Fluent. Se aplicó el método VOF (Hirt & Nichols, 1981) para simular la interacción agua-aire de la superficie libre y ecuaciones RANS con un modelo de turbulencia k-omega. En este estudio, se implementó para la turbina una malla con movimiento impuesto, a velocidades fijas y con flujo no estacionario. Al variar la velocidad de rotación de la malla en diferentes simulaciones, fue posible evaluar la curva de desempeño de la turbina en su rango de operación. En la figura 2 se presentan las constantes y las variables de cada simulación, en las que las RPM serán la variable independiente principal de este estudio.

Tabla 2. Parámetros necesarios para la simulación

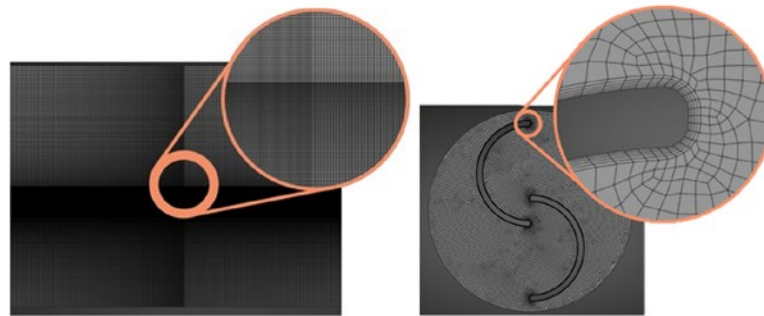
Parámetro	Valor
U_∞	0.1250 [m/s]
$D_{turbina}$	0.1710 [m]
Δt	0.01 [s]
$T_{simulación}$	20 [s]
$Re_{turbina}$	1.9393e+04
TSR y valores asociados	
TSR	0.4000, 0.6000, 0.8000, 1.0000
RPM	5.5844, 8.3766, 11.1688, 13.9610

Fuente: Elaboración propia

Se utilizó una malla overset con los dominios del canal y de la turbina y su vecindad por separado. El dominio del canal incluye una malla estructurada y la turbina una malla no estructurada. Se llevó a cabo

un control de tamaño local de bordes priorizando la interfaz agua-aire, como se observa en la figura 2, y el dominio cercano a la turbina, con el objetivo de representar con precisión la capa límite y la superficie libre.

Figura 2. Detalle de los enmallados; canal (izquierda), turbina (derecha)

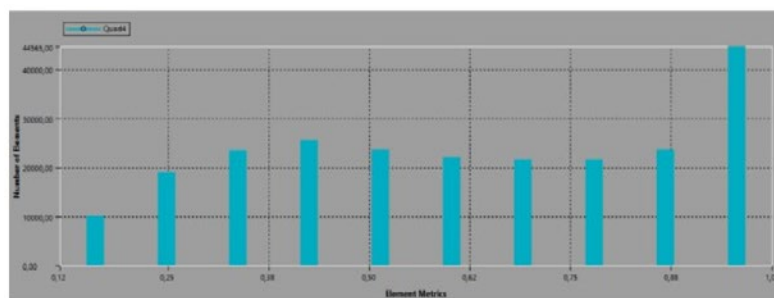


Fuente: Elaboración propia

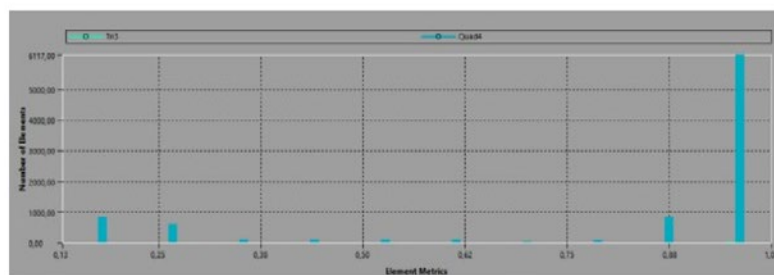
Para evaluar la calidad de los elementos, se realizó un estudio especial. Si bien la calidad de los elementos de la malla estructurada es baja, como se observa en la figura 3, fue necesario sacrificarla en el canal para

representar de forma precisa la superficie libre, y así evitar que las ecuaciones de RANS presenten divergencias en el tiempo.

Figura 3. Gráficas de calidad de los elementos del canal y la turbina



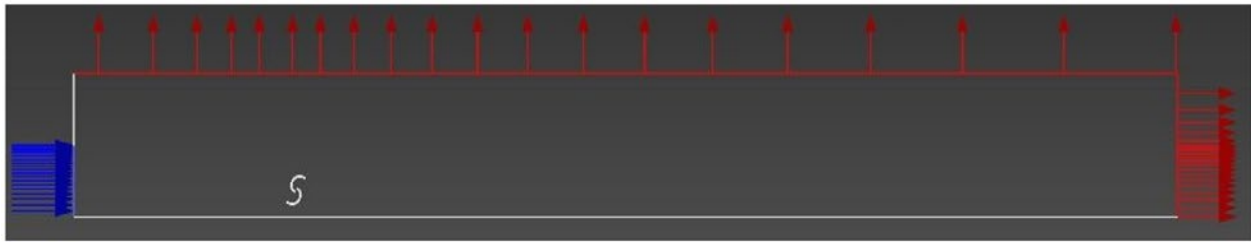
Element quality canal



Element quality turbina

Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Condiciones de contorno y dominio de simulación



Fuente: Elaboración propia

Al definir las condiciones de contorno para la turbina, se empleó una condición de contorno de velocidad de entrada para la entrada de agua al canal, una salida de presión en el techo del dominio, una salida de presión en la salida física del sistema (especificando una altura de agua de $h=0.4\text{m}$) y, en el resto de las paredes, condiciones de no deslizamiento.

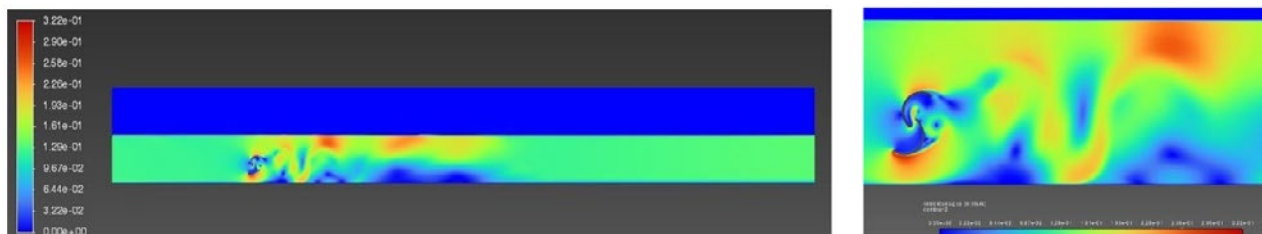
3. DESARROLLO

Se ejecutaron cuatro simulaciones independientes, en las cuales se reportaron campos de velocidades, campos de fracción de volumen y los coeficientes de sustentación, arrastre y momento de la turbina. En la figura 5 se muestra el campo de velocidades para un

Tip Speed Ratio (TSR) = 0.8 tras alcanzar el estado pseudoestacionario.

Entre los resultados del campo de velocidades se aprecian una estela de vórtices que son causados por la rotación de la turbina y una mayor velocidad cerca del suelo, debido al bloqueo entre la turbina y el fondo del canal. Aunque la geometría simulada en este artículo difiere de la presentada por Patel & Patel (2023), es posible observar los mismos patrones en el campo de velocidades que los reportados en sus simulaciones bajo flujo totalmente sumergido, así como un desprendimiento de la capa límite alrededor de la curvatura de los álabes y zonas de recirculación en el álabe superior.

Figura 5. Campos de velocidades del canal

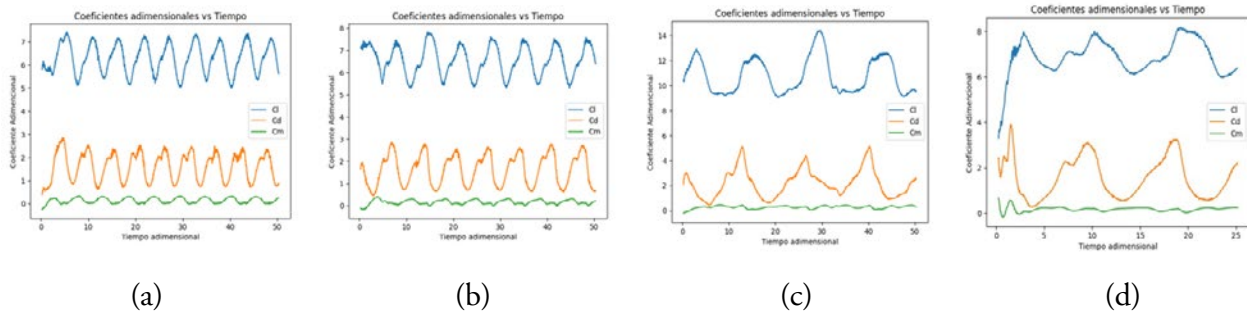


Fuente: Elaboración propia

En la figura 6 se presentan los coeficientes de sustentación, arrastre y momento frente al tiempo para cada TSR simulado. Se determina que la turbina en todos los casos alcanzó un estado pseudoestacionario,

lo que permitió calcular promedios temporales por ciclo de los coeficientes para evaluar el desempeño frente a las variaciones de la velocidad angular.

Figura 6. Coeficiente de sustentación, arrastre y momento frente al tiempo para (a) TSR = 1; (b) TSR = 0.8; (c) TSR = 0.6 y (d) TSR = 0



Fuente: Elaboración propia

DISCUSIÓN

Al comparar los resultados obtenidos para el coeficiente de momento con la bibliografía, se nota que para un TSR = 0.8 se presenta un perfil polar similar al reportado por Patel & Patel (2023). Sin embargo, existe un notable corrimiento de fase que podría deberse al efecto de la superficie libre o del piso del canal, lo que crea una constricción que podría modificar el comportamiento de la turbina.

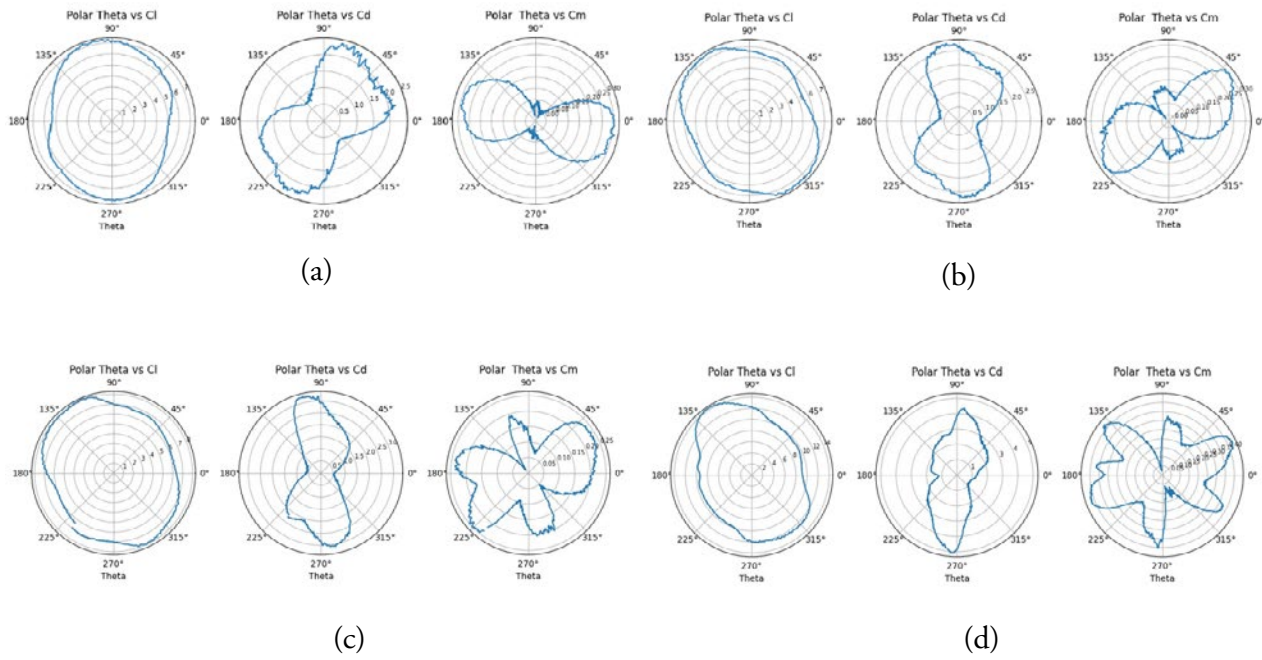
Al graficar en forma polar los coeficientes adimensionales, se detalla que el cambio en la velocidad angular incide en los armónicos presentes en los coeficientes adimensionales y su simetría. Se advierte que, al disminuir la velocidad de la turbina, se pierde la simetría entre el álabe superior e inferior tanto en momento como en arrastre, lo cual puede estar asociado a frecuencias de desprendimiento de vórtices cercanas a la frecuencia de rotación de la turbina. No obstante, es preciso realizar un postproceso más detallado de la simulación y compararlo con datos experimentales.

Adicionalmente, los coeficientes de sustentación son positivos y elevados. Estos resultados deben confirmarse con pruebas experimentales, debido a que se sospecha que puedan tratarse de errores numéricos, ya que la experiencia empírica indica coeficientes de sustentación negativos para este tipo de turbina.

En las cuatro velocidades simuladas, los resultados siguen una tendencia similar a la de Patel & Patel (2023); no obstante, el coeficiente de potencia con superficie libre es menor que en flujo uniforme sin esa condición. Este resultado deberá analizarse con mayor detalle, ya que Whelan et al. (2009) señalan que, para coeficientes de bloqueo altos, el coeficiente de potencia debe aumentar un 42.75 % frente al 7-10 % reportado por Patel & Patel (2023).

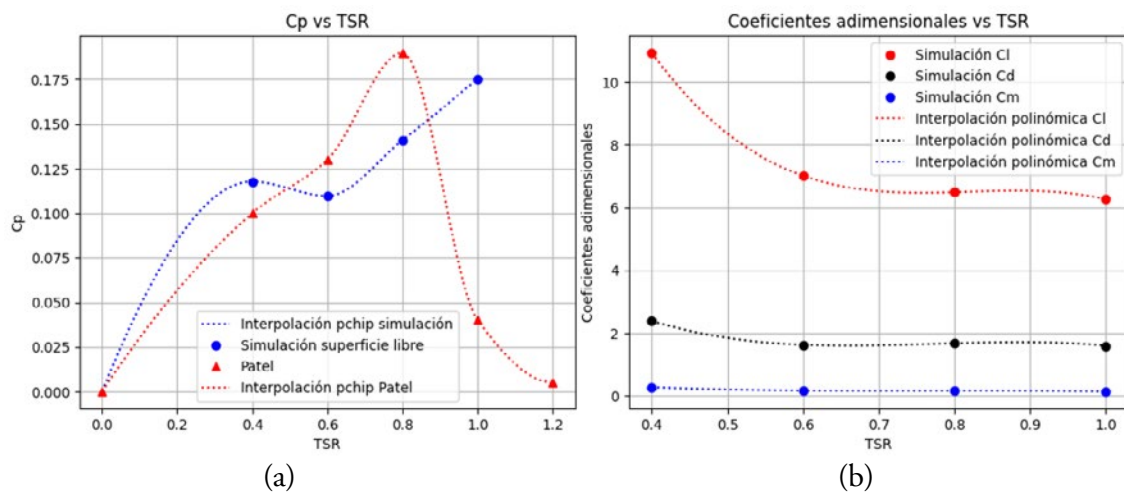
Además, tanto las fuerzas de arrastre de la turbina como las fuerzas de sustentación disminuyen con la velocidad angular de la turbina. Este comportamiento habrá de verificarse mediante pruebas en laboratorio.

Figura 7. Coeficiente de sustentación, arrastre y momento frente al ángulo para (a) TSR = 1, (b) TSR = 0.8, (c) TSR = 0.6, (d) TSR = 0.4



Fuente: Elaboración propia

Figura 8. (a) coeficiente de potencia frente a TSR y (b) coeficiente de sustentación, momento y arrastre



Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Prototipo de turbina hidrocínética tipo Savonius



Fuente: Elaboración propia

En la figura 9 se observa el prototipo de la turbina hidrocínética y su banco de pruebas, cuyas dimensiones se diseñaron a partir de los resultados obtenidos en las simulaciones. Este banco de pruebas, que aún se encuentra en desarrollo, se empleará posteriormente para validar experimentalmente los coeficientes adimensionales presentados en la figura 8.

5. CONCLUSIONES

- Los campos de velocidad cercanos a la turbina corresponden a los valores reportados en Patel & Patel (2023), con quienes se realizó la comparación.
- Se detecta una alta dependencia del coeficiente de arrastre respecto al ángulo γ , en general, un corrimiento de fase del coeficiente de momento γ , en consecuencia, del coeficiente de potencia frente a los datos de la literatura sin superficie libre.
- Para los puntos explorados, el TSR máximo obtenido no coincide con el reportado en los estudios previos, y se pronostica una respuesta más plana respecto a la frecuencia angular de la turbina.

REFERENCIAS

- Benavides-Morán, A., Rodríguez-Jaime, L., & Laín, S. (2021). Numerical Investigation of the Performance, Hydrodynamics, and Free-Surface Effects in Unsteady Flow of a Horizontal Axis Hydrokinetic Turbine. *Processes*, 10(1), 69. <https://doi.org/10.3390/pr10010069>
- Hirt, C. W., & Nichols, B. D. (1981). Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. *Journal of Computational Physics*, 39(1), 201-225. [https://doi.org/10.1016/0021-9991\(81\)90145-5](https://doi.org/10.1016/0021-9991(81)90145-5)
- Ibrahim, W. I., Mohamed, M. R., Ismail, R. M. T. R., Leung, P. K., Xing, W. W., & Shah, A. A. (2021). Hydrokinetic energy harnessing technologies: A review. *Energy Reports*, 7, 2021-2042. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.04.003>
- Patel, R. S., & Patel, V. K. (2023). Numerical investigation and experimental validation about negative overlap in Savonius hydrokinetic turbine. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 45(12), 648. <https://doi.org/10.1007/s40430-023-04557-4>
- Whelan, J. I., Graham, J. M. R., & Peiró, J. (2009). A free-surface and blockage correction for tidal turbines. *Journal of Fluid Mechanics*, 624, 281-291. <https://doi.org/10.1017/S0022112009005916>

PRODUCCIÓN DE ABONO (FRASS) A PARTIR DE PULPA DE CAFÉ MEDIANTE BIOTRANSFORMACIÓN CON LARVAS DE MOSCA SOLDADO NEGRA (*HERMETIA ILLUCENS*)

PRODUCTION FOR COMPOST (FRASS) FROM COFFEE PULP BY BIOTRANSFORMATION WITH BLACK SOLDIER FLY LARVAE (*HERMETIA ILLUCENS*)

¹Juan Pablo Ospina-Yepes
²Nelson Ceballos-Aguirre
³Diana Marcela Cuesta-Parra

Cómo citar: Ospina Yepes, J. P. ., Ceballos Aguirre, N. ., & Cuesta Parra, D. M. (2025).
Producción de abono (frass) a partir de pulpa de café mediante biotransformación con larvas de mosca soldado negra
(hermetia illucens). Publicaciones E Investigación, 19(2). <https://doi.org/10.22490/25394088.10713>

Recibido 10 junio, Aprobado 20 julio 2025

RESUMEN

La investigación aborda la alimentación de larvas de mosca soldado negra (MSN) para la biotransformación de la pulpa de café en abono orgánico. El método de transformación se efectuó con larvas cinco días después de la eclosión, en un reactor a escala, con control de temperatura entre 27 y 30 °C y humedad relativa entre 60 a 70 %. La pulpa de café, utilizada como sustrato, contenía humedad inicial de 82.67 %. Las tasas de alimentación elegidas fueron 222.2, 444.4, 666.6 y 777.7 mg/larva día en masa húmeda (se incluyeron los tratamientos elaborados con ILC y pulpa). La experimentación tuvo una duración de 15 días.

Para la prueba de germinación, se eligió la tasa de alimentación de 666.6 mg/larva día, correspondiente a 3 semillas de tomate (*Solanum lycopersicum*) por contenedor, en mezcla de suelo sintético formulada con concentraciones de 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100 de frass (abono de larvas de MSN) y turba de coco, respectivamente, con 10 réplicas para cada prueba. Los métodos de caracterización, incluidos en la NTC 5167:2022, fueron pH, humedad, cenizas, densidad, carbono orgánico total y fósforo total. Para el contenido de lignina se aplicó el método Klason.

El mejor abono obtenido en la experimentación correspondió a 666.6 mg/larva día, el cual presentó pH 8.12, densidad 0.42 g/cm³, lignina 43.91 %, carbono orgánico total 46.49 %, humedad final 76.92 %, cenizas 49.08 % y fósforo total 0.0013 %. Las plantas con mejor crecimiento fueron las del tratamiento 25:75 de frass y turba de coco,

¹ M. Sc. Universidad de Caldas, Manizales / juan.ospina@ucaldas.edu.co
<https://orcid.org/0009-0001-4795-4237>

² Ph. D. Ciencias Agrarias, Universidad de Caldas, Manizales / nelson.ceballos@ucaldas.edu.co
<https://orcid.org/0000-0002-8463-3379>

³ Ph. D. Química, Universidad de América, Bogotá D.C. / diana.cuesta@profesores.uamerica.edu.co
<https://orcid.org/0000-0001-9287-2452>



que registraron una altura 96.23 mm, diámetro 1.9 mm, 14 hojas y una germinación del 86.67 %; dicha medición se realizó durante 27 días.

Palabras clave: germinación; tomate; alimentación; eclosión; reactor.

ABSTRACT

The research addresses the feeding of black soldier fly (MSN) larvae for the biotransformation of coffee pulp into organic fertilizer. The transformation method was conducted with larvae five days after hatching in a scale reactor, with temperature controlled between 27 and 30 °C and relative humidity between 60 and 70 %. The coffee pulp, used as substrate, had an initial moisture content of 82.67 %. The feeding rates chosen were 222.2, 444.4, 666.6 and 777.7 mg/larva day in wet mass. The experimentation period lasted 15 days.

*For the germination test, the feeding rate of 666.6 mg/larva day was chosen, corresponding to 3 tomato (*Solanum lycopersicum*) seeds per container, in synthetic soil mixture constructed with concentrations of 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100, frass (MSN larvae compost) and coco peat respectively, with 10 replicates for each test. The characterization methods include, according to NTC 5167:2022, pH, moisture, ash, density, total organic carbon and total phosphorus. The Klason method was used for lignin content.*

The best compost obtained in the experiment was produced at 666.6 mg/larva day, which presented pH 8.12, density 0.42 g/cm³, lignin 43.91 %, total organic carbon 46.49 %, final moisture 76.92 %, ash 49.08 %, total phosphorus 0.0013 %. The plants with the best growth were those of the 25:75 frass and coco peat treatment, showing a height of 96.23 mm, diameter 1.9 mm, 14 leaves and 86.67 % germination; this measurement was taken over during 27 days.

Keywords: germination; tomato; feeding; hatching; reactor.

1. INTRODUCCIÓN

El café en Colombia tiene una historia de cerca de 300 años desde su llegada al país, y fue en 1835 cuando iniciaron las exportaciones de los primeros sacos de café desde la Aduana de Cúcuta. Posteriormente, la producción comenzó a expandirse en las regiones de Norte de Santander, Antioquia, Cundinamarca y Caldas (Café de Colombia, 2021). De acuerdo con la Federación Nacional de Cafeteros (2023), la producción registrada en 2022 ascendió a 11.1 millones de sacos de 60 kg, alrededor de 12 % menos que en 2021.

Únicamente el 5 % del peso del fruto seco se utiliza para elaborar la bebida de café y el otro 95 %

corresponde a los subproductos derivados del aprovechamiento e industrialización del grano, entre los cuales se encuentra la pulpa de café, pues por cada 2 toneladas de granos se genera alrededor de 1 tonelada de pulpa de café (Manasa *et al.*, 2021). Asimismo, se producen el cisco, el mucílago, las pasillas, la borra y los tallos del café (Fernández-Cortés *et al.*, 2020).

La pulpa de café es un subproducto que representa, en base húmeda, alrededor del 43.58 % del peso del fruto seco (Fernández-Cortés *et al.*, 2020) y puede provocar problemas ambientales como la contaminación del agua cuando se genera en grandes cantidades,

ya que incrementa la demanda bioquímica del oxígeno, reduce el pH y favorece la presencia de sólidos en suspensión, lo que limita el paso de la luz. También puede generar contaminación del suelo, lo que afecta las poblaciones de la microflora edáfica (Cervantes *et al.*, 2015).

Se ha buscado agregar valor a la pulpa de café mediante su transformación en procesos de compostaje o biodigestión. Sin embargo, también se han desarrollado investigaciones que proponen la alimentación de larvas de mosca soldado negra (MSN, *Hermetia illucens*) con estos desechos. Las larvas de MSN consumen múltiples tipos de residuos orgánicos como desechos de frutas, verduras y estiércol en poco tiempo. Diversos estudios señalan que este organismo puede disminuir patógenos como *Escherichia coli* y *Salmonella sp.*, presentes en el sustrato, además de transformar residuos orgánicos en abono (Hutabarat y Mangindaan, 2024; Wantulla *et al.*, 2024). Asimismo, las larvas pueden ser utilizadas como alimento para animales, en consonancia con los principios de sostenibilidad y economía circular (Ruschioni *et al.*, 2024; Amrul *et al.*, 2022; Nedi, 2021).

El presente estudio se realizó con desechos de pulpa de café con el objetivo de evaluar las características de un abono orgánico obtenido a partir de larvas de MSN (*Hermetia illucens*) y su efecto en la germinación y desarrollo de plántulas de tomate. Se desarrollaron dos fases experimentales: en la primera se analizaron las características nutricionales de abono comparando cuatro tasas de alimentación; la segunda fase consistió en un escalamiento de los mejores resultados para obtener la materia prima destinada a la prueba de germinación y crecimiento. En el capítulo de materiales y métodos se describen las técnicas usadas para la caracterización fisicoquímica, nutricional y de transformación. Los resultados arrojaron que el abono con mejores cualidades correspondió a la tasa de alimentación de 666.6 mg/larva día.

2. MATERIALES Y MÉTODO

A continuación, se describen los materiales y las metodologías empleadas para la elaboración de abono a partir de excremento de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) sobre residuos de pulpa de café.

Curva de eclosión

La curva de eclosión de los huevos de mosca *Hermetia illucens* se realizó por el método de “lluvia de crías”, preparando previamente el sustrato de iniciación molido con una mezcla 50:50 de comida para pollo (25 g) y agua (25 g) hasta obtener una mezcla homogénea.

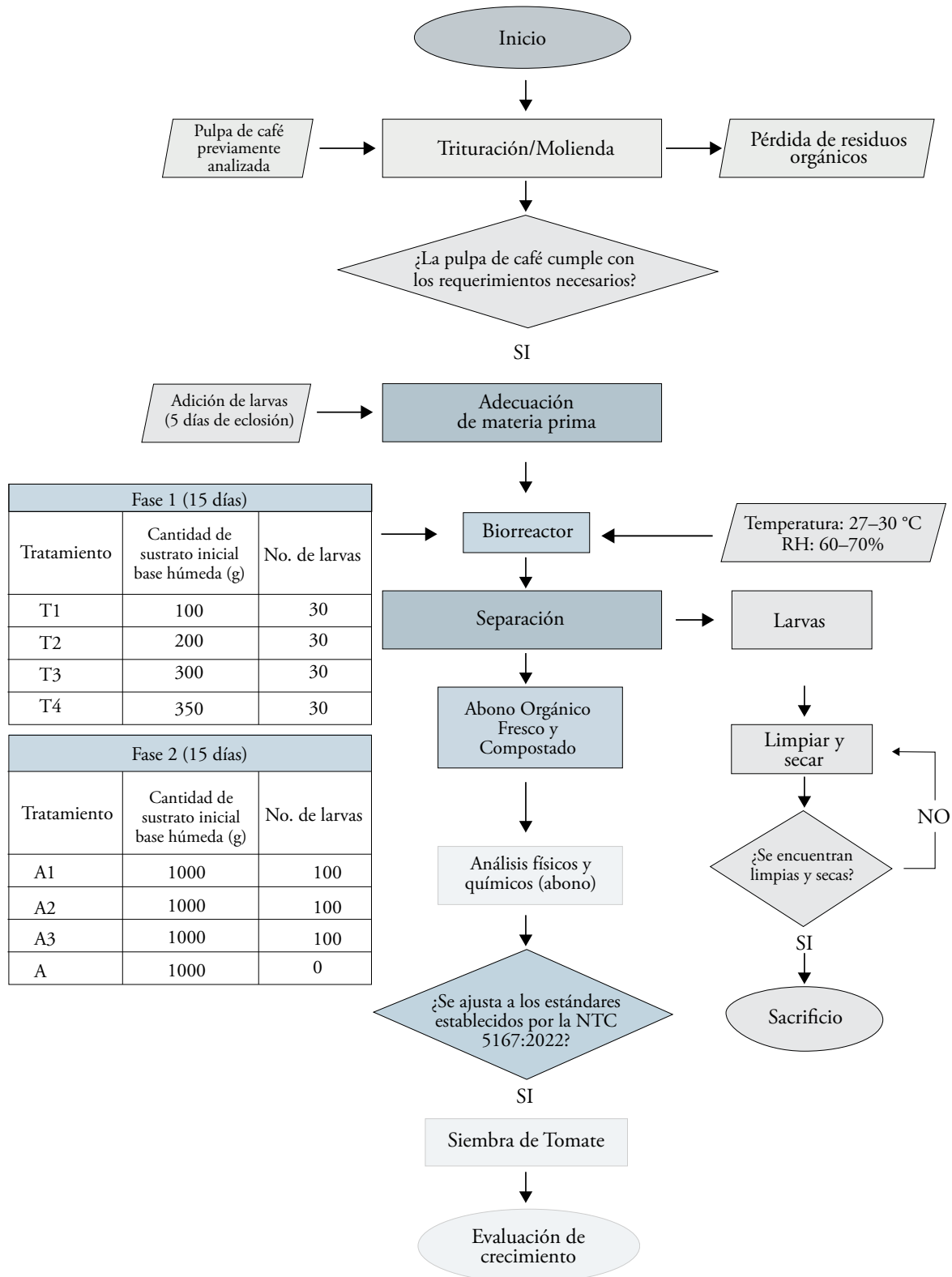
Biotransformación de la pulpa de café

Este estudio se llevó a cabo en los laboratorios de la Universidad de América ubicada en Bogotá (Colombia), y empleó huevos de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) y pulpa de café provenientes de la Universidad de Caldas. Se utilizó un biorreactor a escala para controlar las condiciones de temperatura y humedad en el proceso de biotransformación en las dos fases experimentales.

La pulpa de café fue molida en un molino universal para facilitar el consumo por las larvas. Se aplicaron tasas de alimentación de 222.22, 444.44, 666.67 y 777.78 mg/larva día, cada tratamiento con 3 réplicas y 1 blanco sin larvas. Se agregaron 30 larvas de 5 días de eclosión a cada recipiente durante 15 días, con el fin de seleccionar el abono con mejores condiciones según la NTC 5167:2022 y posteriormente escalarlo.

Para la segunda fase, se seleccionó la tasa de alimentación de 666.67 mg/larva día. En esta etapa, se adicionaron 100 larvas de MSN (5 días de eclosión) a 1 kg de pulpa de café; igualmente, se realizaron 3 réplicas y 1 blanco durante 15 días, para después realizar la siembra de las plántulas de tomate. En el diagrama de flujo (figura 1) se presenta una representación visual detallada del proceso experimental empleado en ambas fases.

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso para la obtención de abono orgánico a partir de pulpa de café



Análisis fisicoquímico

La pulpa de café y el *frass* (abono) fueron analizados fisicoquímicamente para determinar pH, humedad (%), cenizas (%), densidad mediante el método de desplazamiento de líquidos (principio de Arquímedes), carbono orgánico total por el método espectrofotométrico (%), fósforo total por el método Bray Kurtz (%), todos incluidos en la NTC 5167:2022, y contenido de lignina (%) por el método Klason.

Obtención de Cenizas

Para la determinación de cenizas totales se secaron las muestras de *frass* (excremento de *Hermetia illucens*) y se pesar. Luego, se introdujeron las muestras en un crisol y se llevaron a una mufla (horno) a una temperatura controlada de 550°C, hasta que no emitiera humo y las cenizas estuvieran blancas o grisáceas (8 horas). Una vez, la muestra este fría, se pesó la ceniza resultante para calcular el porcentaje de minerales.

Siembra de tomate

Para la prueba de germinación y crecimiento de semillas y plántulas, se utilizaron semillas de tomate (*Solanum lycopersicum*), 50 vasos de 3.3 oz con abono y turba de coco. El diseño experimental fue completamente al azar que consistió en emplear el abono obtenido junto con la turba de coco en 5 tratamientos, con proporciones de 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 y 0:100, cada uno con 3 semillas. Se realizaron 10 réplicas por tratamiento.

El diseño permitió evaluar la interacción entre las diferentes proporciones de abono y turba de coco, así como sus respectivos efectos desde la germinación hasta el crecimiento de las plántulas (Salinas-Vargas *et al.*, 2021). Se empleó la ecuación % de germinación = ((semillas germinadas)/(total semillas)) × 100 para determinar el porcentaje de germinación por contenedor y posteriormente calcular el promedio de las 10 réplicas correspondientes a cada tratamiento Índice de reducción de residuos

Se utilizó la ecuación: índice reducción de residuos = $(1 - (\text{masa residuo})/(\text{masa alimentada})) \times 100$ para determinar la eficiencia alimentaria de las larvas de

MSN (*Hermetia illucens*), relacionando los pesos del sustrato de alimentación suministrado y perdido (masa alimentada). Esto coincide con lo planteado por Eriksen (2024), quien propone diferentes indicadores adicionales al índice de reducción de residuos, entre ellos: la tasa de bioconversión, determinada por los pesos de las larvas y el peso del sustrato, y la eficiencia de conversión del sustrato, calculada partir del peso de las larvas y del sustrato perdido.

Análisis Estadístico

Para el análisis de datos se utilizó el programa S.A.S. (versión 9.4). Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Diferencia Honestamente Significativa (HSD) de Tukey ($p < 0,05$). La HSD de Tukey se utiliza para crear intervalos de confianza para todas las diferencias pareadas entre las medias a nivel de factor, controlando la tasa de error por familia a un nivel específico

Resultados y discusión

A continuación, se dan a conocer los resultados obtenidos durante el análisis de los residuos restantes, producto de la conversión de pulpa de café usando *Hermetia illucens*.

Biotransformación de la pulpa de café

Humedad

Se observó el comportamiento de la humedad en diferentes tasas de alimentación (mg/larva día) en dos fases experimentales con pulpa de café (humedad inicial 82.67 %). La tasa de alimentación 222.22 mg/larva día presentó la menor humedad final (22.62 %), para la cual fue necesaria la adición de agua los días 9 (16.94 g), 11 (11.93 g) y 14 (8.36 g) con el fin de mantener las condiciones requeridas.

La tasa 444.44 mg/larva día finalizó con 65.19 % de humedad, mientras que las tasas de alimentación 666.67 y de 777.78 mg/larva día concluyeron con contenidos de humedad del 76 %. Por consiguiente, a menor tasa de alimentación se presentó una mayor

disminución de humedad, alcanzándose los niveles más bajos. No obstante, también debe tenerse en consideración el biorreactor utilizado debido a que la ventilación influye directamente en la disminución de la humedad. Al comparar con otros autores, se coincide con Lalander *et al.* (2020), quienes, en su investigación, utilizaron sustratos con diferentes humedades, ventilación pasiva para sustratos con baja humedad y ventilación activa para sustratos de alta humedad, obteniendo un descenso de humedad mayor para el sustrato que contenía 90 % de agua, resultando de este tratamiento un contenido de materia seca de aproximadamente del 60 %.

En la segunda fase, se utilizó una tasa de alimentación fija de 666.67 mg/larva día, en la cual se evaluaron 4 unidades de experimentación (identificadas como 1, 2, 3 y B). Teniendo en cuenta que se inició con una humedad de sustrato de 82,67 %, los contenedores finalizaron con humedades de 69.81 %, 78.77 %, 79.30 % y 75.96 %, respectivamente. La humedad disminuyó de forma no muy pronunciada, debido a que los recipientes utilizados en esta fase fueron mucho más grandes que los empleados en la fase 1, lo que favoreció la ventilación. Sin embargo, coincidiendo con Lalander *et al.* (2020), los resultados se asimilaron a los que obtuvieron con la ventilación pasiva, con una disminución baja de humedad.

El *frass* de larva de MSN (*Hermetia illucens*) es un subproducto de la cría de mosca soldado negra y se considera que contiene nutrientes útiles para la producción de cultivos; podría funcionar como fertilizante orgánico que puede llegar a sustituir a los fertilizantes comerciales (Nedi, 2021). La humedad en el *frass* es un factor clave que influye en el comportamiento de las larvas de MSN. Cuando la humedad es muy alta, disminuye la tasa de crecimiento de las larvas, ya que tienden a ahogarse por el exceso de humedad y la falta de intercambio de gases (Padmanabha *et al.*, 2020). Durante su desarrollo, las larvas consumen el sustrato y lo transforman en excretas, lo cual genera calor y favorece la

evaporación de la humedad contenida en el sustrato (Padmanabha *et al.*, 2020).

En la fase 1, la tasa de alimentación de 222.22 mg/larva día presentó la humedad final más baja en comparación con las otras tasas de alimentación. Esta disminución de humedad se debió a la cantidad de sustrato agregado (100, 200, 300 y 350 g) en cada tasa, ya que al tener principalmente una cantidad de sustrato de 100 g (222.22 mg/larva día), 30 larvas y estar sometidas a aireación en el biorreactor, se facilitó la evaporación del agua, lo que redujo la humedad con mayor rapidez. Sin embargo, la ubicación de los recipientes jugó un papel importante en la aireación del biorreactor, porque la ventilación fue más directa en algunos de ellos. Este factor también afectó los resultados de la segunda fase experimental, en la cual se observaron diferencias en la tasa de disminución de la humedad entre los recipientes.

Holmes *et al.* (2012) y Eggink *et al.*, (2022) mencionan que la humedad del sustrato debe estar entre 60-80 %. En ambos estudios se coincide en que la humedad del sustrato suministrado fue del 70 % para mantener las condiciones necesarias para el adecuado desarrollo de las larvas. Aunque es crucial mantener la humedad adecuada del sustrato, también es necesario contemplar opciones de secado para cumplir con los requisitos establecidos en la NTC 5167:2022.

Cenizas

El contenido de cenizas es otro factor relevante relacionado con la humedad. En este estudio se observó que, a menor humedad del sustrato, mayor es el contenido de cenizas, con un aumento progresivo a lo largo del tiempo. Estos resultados son similares a los obtenidos por Eggink *et al.* (2022), quienes reportaron un incremento relevante del contenido de cenizas con el paso del tiempo en diferentes sustratos, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Comparación de resultados de cenizas con otros autores

Datos de la investigación				Datos de Eggink et al., 2022		
Sustrato	Tasa alimentación (mg/larva día)	Cenizas iniciales (%)	Cenizas finales (%)	Sustrato	Cenizas iniciales (%)	Cenizas finales (%)
Fase 1 (pulpa de café)	222.22	7.51	10.88	Alimento para pollo	5.4	8.0
	444.44	7.40	28.37	Alimento mixto	4.5	5.9
	666.67	7.45	49.08	Bagazo de cerveza	4.3	6.3
	777.78	7.49	46.18	Mejillones	63.8	77.7
	666.67 (1)	17.90	29.80	Torta de colza	7	13.7
Fase 2 (pulpa de café)	666.67 (2)	17.90	20.80	Desecho de camarón	31.2	53.5
	666.67 (3)	17.90	17.51			
	666.67 (B)	17.90	17.51			

Las cenizas aumentan debido a la descomposición de los residuos. Estas corresponden a los residuos inorgánicos que permanecen después de la oxidación de la materia orgánica de los materiales biológicos (Liu, 2019). La incineración es el método principal para medir el contenido de cenizas de biomasa y consiste en que los minerales no se destruyen con el calentamiento. Durante la incineración, el agua y los volátiles se vaporizan, los compuestos orgánicos se oxidan mediante combustión y los minerales se transforman en óxidos, sulfatos, fosfatos, cloruros y silicatos (Liu, 2019). La reducción de los sólidos volátiles a lo largo del tiempo indica la degradación de la materia orgánica presente en los residuos. Esta disminución refleja que la actividad microbiana descompone la materia orgánica en compuestos más simples y estables, lo que contribuye a la maduración del compostaje (Mengistu *et al.*, 2018).

Índice de reducción de residuos

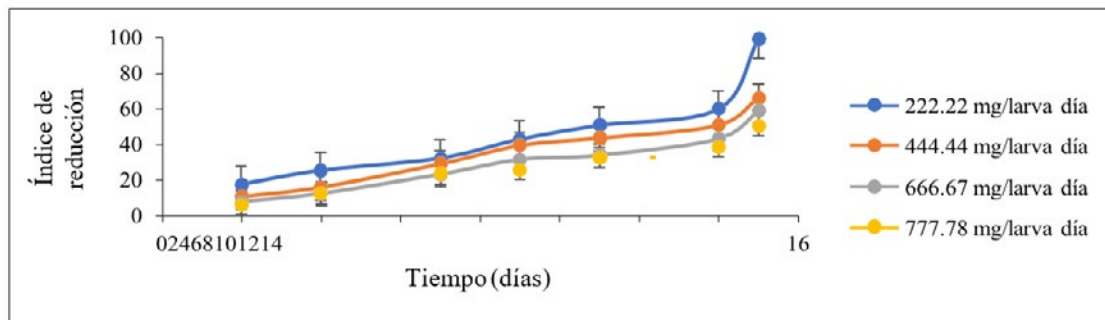
Las figuras 1 y 2 muestran el índice de reducción de residuos durante los 15 días en cada fase experimental. En la figura 1, la tasa de alimentación de 222.22 mg/larva día evidenció la tendencia más alta en comparación con las demás tasas. Esta tasa inició con 17.03 % en el primer día y finalizó el día 15 con 98.76 %, alcanzando casi el 100 % de reducción de residuos. Esto se explica por la tasa de

alimentación baja, que generó déficit de alimento para las larvas. A medida que estas se desarrollaban, consumieron el sustrato disponible a un ritmo acelerado, lo que provocó un agotamiento más rápido del material.

En el estudio de Ruschioni *et al.* (2024), se observó que el índice de reducción de desechos en larvas alimentadas con microalgas fue mayor y que las diferencias en el valor nutricional fueron menores en comparación con las larvas no alimentadas con microalgas. Sin embargo, la tasa de 444.44 mg/larva día fue la segunda con mayor índice de reducción, seguida de las tasas 666.67 y 777.78 mg/larva día, las cuales finalizaron con índices de 65.89 %, 58.27 % y 49.99 %, respectivamente.

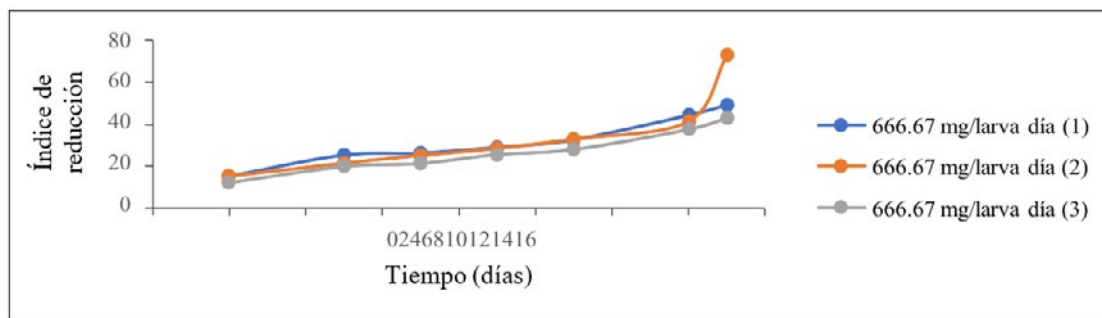
La figura 2 corresponde a la fase 2, donde se muestra que las curvas presentan una tendencia ascendente durante los 15 días para todas las tasas de alimentación. Las 3 curvas tienen patrones similares con pequeñas variaciones hasta el último día de medición (día 15), cuando la réplica 2 alcanzó el índice más alto con 72.32 %, seguida de los tratamientos 1 y 3 con valores de 48.99 % y 42.64 %, respectivamente. El promedio entre réplicas fue de 54.65 %, con una desviación estándar de 13.45 (véase la tabla 2). Es probable que estas variaciones se deban a la ubicación de cada recipiente en el biorreactor.

Figura 1. Índice de reducción de residuos en la primera fase experimental



Fuente: elaboración propia

Figura 2. Índice de reducción de residuos en la segunda fase experimental



Fuente: elaboración propia

Tabla 2. Índice de reducción de residuos segunda fase experimental

Día medición	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Promedio
2	14.92	15.08	11.99	14.00
5	25.01	21.24	19.67	21.97
7	26.01	24.89	21.08	23.99
9	28.81	28.24	25.32	27.46
11	32.36	32.67	27.73	30.92
14	44.13	40.97	37.22	40.77
15	48.99	72.32	42.64	54.65
Desv. Est	11.69	18.95	10.52	13.45
Error Est	4.42	7.16	3.98	5.08

Fuente: elaboración propia

En el estudio de Bava *et al.* (2019), se utilizaron diferentes dietas de alimentación, incluidas dietas de gallina, okara (pulpa de soja), maíz destilado y granos de cerveza. La dieta de okara fue la que presentó los índices de reducción más altos en comparación con las demás, con un valor del 36 %. Es

importante considerar estos resultados para el escalamiento de plantas de producción de abono, ya que un mayor índice de reducción de residuos implica un uso más eficiente de los materiales, reducción de costos operativos y disminución del volumen de desechos. Factores como la composición nutricional

del sustrato, el contenido de humedad y la calidad del sustrato influyen en el valor. Un alto índice de reducción permite obtener un mayor rendimiento en la producción de abono, mejorando la viabilidad económica y ambiental de operaciones en plantas a gran escala.

Análisis fisicoquímico

Las tablas 3 y 4 muestran los resultados obtenidos correspondientes al sustrato y al *frass* obtenido en cada una de las tasas de alimentación para las fases 1 y 2.

Tabla 3. Análisis fisicoquímico fase 1

Tasa alimentación (mg/larva día)	Den (g/cm ³)	DS	pH	DS	% Lign	DS	% COT	DS	% Hum	DS	%Cen	DS	%P	DS
Rango de valores permitidos	(< 0.6)		(4-9)		Reportar valor		(> 15)		(< 20)		(< 60)		(> 1)	
Pulpa de café	1.84	0.00	5.32	0.00	20.05	0.00	38.58	0.00	82.67	0.00	7.45	0.00	0.0010	0.00
222.2	0.40	0.18	-	-	40.20	5.08	41.78	3.36	22.63	7.45	10.88	1.03	0.0012	0.0001
Blanco (222.2)	0.17	0.00	-	-	44.59	0.00	33.88	0.00	13.48	0.00	10.17	0.00	0.0022	0.00
444.4	0.40	0.12	9.67	0.00	44.78	5.20	37.69	3.47	65.19	8.53	28.37	8.44	0.0012	0.0004
Blanco (444.4)	0.38	0.00	8.78	0.00	44.17	0.00	42.65	0.00	68.14	0.00	27.28	0.00	0.0013	0.00
666.6	0.42	1.74	8.12	1.74	43.91	5.24	46.49	1.79	76.92	4.58	49.08	13.81	0.0013	0.0003
Blanco (666.6)	0.44	0.00	7.40	0.00	69.79	0.00	42.64	0.00	79.71	0.00	15.70	0.00	0.0009	0.00
777.7	0.71	0.28	7.76	1.55	44.37	5.17	41.87	5.65	76.01	6.84	46.18	11.84	0.0015	0.0004
Blanco (777.7)	0.44	0.00	7.41	0.00	45.98	0.00	49.26	0.00	78.33	0.00	44.71	0.00	0.0013	0.00

Fuente: elaboración propia

En la tabla 3, los resultados indican que la tasa de alimentación influye de manera significativa en la obtención de un abono orgánico de calidad. En las tasas que contenían larvas, la densidad en el *frass* aumentó a medida que la tasa de alimentación se incrementó. El pH una tendencia a disminuir conforme aumentó la tasa de alimentación.

Para los resultados correlacionados entre la lignina y el carbono orgánico total, se tuvo en cuenta que la lignina debe encontrarse dentro del rango de carbono orgánico, debido a su composición química rica en carbono (Yu y Kim, 2020). Bajo este criterio, las tasas de que cumplieron fueron 222.22 y 666.67 mg/larva, que presentaron una lignina relativamente más baja que el carbono orgánico.

La humedad permaneció por encima del recomendado para abonos, y solo el blanco de la tasa de alimentación 222.22 cumplió con las condiciones establecidas por la norma. El fósforo total no alcanzó los parámetros mínimos exigidos por la NTC 5167:2022.

En la tabla 4, los resultados de la tasa de 666.67 mg/larva día (replicada a mayor escala debido a los resultados de la fase 1) mostraron valores adecuados de densidad (g/cm³), pH, cenizas (%) y carbono orgánico total (%), que cumplen con la NTC 5167:2022. No obstante, los datos de lignina (%), humedad (%) y fósforo total (%) no cumplen con la norma porque la lignina supera el carbono orgánico (42.70 >40.45 %), la humedad es mayor al límite

permitido y el fósforo total se encuentra por debajo del mínimo requerido, tal como se observó en la fase 1 (véase la tabla 3).

Prueba de germinación y crecimiento de plántulas de tomate

En la evaluación de crecimientos de las plántulas de tomate (tabla 5), los tratamientos 4 y 5 fueron los

Tabla 4. Análisis físicoquímico fase 2

Tasa alimentación (mg/larva día)	Den (g/cm ³)	pH	% Lign	% COT	% Hum	% Cen	% P
Rango de valores permitidos	(< 0.6)	(4-9)	Reportar valor	(> 15)	(< 20)	(< 60)	(> 1)
Pulpa de café	1.84	5.32	20.05	38.58	82.67	7.45	0.0010
Abono (666.67)	0.53	8.96	42.70	40.41	75.96	22.70	0.0010
Desviación estándar	0.21	0.06	2.64	1.19	5.33	6.36	6,00E-05
Blanco (666.67)	0.36	8.94	42.18	39.50	82.26	17.51	0.0010

Fuente: elaboración propia

que presentaron la germinación más temprana (día 6). El mejor crecimiento en cuanto a número de hojas, ancho del tallo, altura en promedio y porcentaje de germinación fue el tratamiento 4 (25:75), lo que indica que el abono orgánico es muy eficiente en cultivos y necesita ser utilizado en un bajo porcentaje, combinado con otro sustrato que aporte nutrientes y favorezca un mejor crecimiento a las plantas. Sin embargo, el tratamiento con 100 % *frass* no presentó germinación, principalmente porque su textura era muy húmeda y, al entrar en contacto con el sol, la superficie tendía a secarse y endurecerse, mientras que en el fondo permanecía excesivamente húmedo.

Las concentraciones altas de abono pueden ser contraproducentes, ya que las semillas y plantas no presentan un desarrollo y crecimiento adecuados, como es el caso de los tratamientos 1 y 2, donde se aplicaron dosis elevadas. Estos tratamientos mostraron tendencia a no crecer o a crecer lentamente y algunas plántulas incluso presentaron signos de quemadura. Lo anterior indica que las concentraciones elevadas de abono pueden generar un desequilibrio nutricional que impide el crecimiento normal de las semillas y plantas.

Tabla 5. Evaluación del crecimiento de las plántulas de tomate

Tratamiento	Proporciones frass: turba de coco	Germinación (%)	Altura (mm)	No. hojas	Diámetro del tallo (mm)	No. flores
1	100:0	0.00 %	-	-	-	-
2	75:25	93.33 %	31.20	3	1.1	NA
3	50:50	76.67 %	68.22	8	1.4	NA
4	25:75	86.67 %	96.23	14	1.9	NA
5	0:100	93.33 %	65.05	9	1.4	NA

Fuente: elaboración propia

El abono orgánico de *frass* de larvas de MSN (*Hermetia illucens*) es considerado un producto con características altas de N, K y P, similares a las del estiércol de aves de corral, lo que corrobora su potencial para aportar micro y macronutrientes (Nedi, 2021). Aunque en este estudio la caracterización del abono en las dos fases experimentales (tabla 3 y 4) no tuvo un análisis profundo de N y K, se evidenció que no presentó un contenido alto de P, lo que da a entender que el abono obtenido no cuenta con características que puedan dar un aporte significativo de nutrientes al suelo. Sin embargo, es importante considerar el aumento del fósforo complementando la alimentación de las larvas con cáscaras de plátano, ya que se ha demostrado que es abundante en nutrientes, incluido el fósforo (Rammal *et al.*, 2024).

Amrul *et al.* (2022) señalaron que la mezcla de dos o más sustratos puede mejorar el valor nutricional y asegurar un crecimiento óptimo de las larvas, haciendo que su ciclo de vida sea más corto. Esto da a entender que la combinación de diferentes sustratos podría generar mejores características físico-químicas en el abono. Estos autores también mencionan que el abono orgánico que se obtiene de las larvas de MSN tiene características similares al abono inmaduro, debido a su rápida producción, por lo cual requiere un procesamiento adicional para alcanzar la madurez, mediante vermicompostaje o digestión anaeróbica.

El *frass* de larva de *Hermetia illucens* contiene quitina, presente en el exoesqueleto de insectos y en algunas plantas; estas tienen la capacidad de digerir la quitina, gracias a las enzimas, activando sus mecanismos de defensa y aumentando la microbiología beneficiosa del suelo (Jasso *et al.*, 2024; Amrul *et al.*, 2022).

En este estudio se evaluó el comportamiento del abono orgánico en cultivos de tomate con diferentes proporciones de abono y turba de coco durante 27 días. Como se muestra en la tabla 5, el tratamiento 4 (25:75) registró las mejores condiciones promedio

de crecimiento, con un porcentaje de germinación de 86.67 %, altura promedio de 96.23 (mm), 14 hojas y un diámetro de tallo de 1.9 mm. Este tratamiento contenía 25 % *frass* y 75 % turba de coco, proporciones similares a las empleadas por Iqbal *et al.* (2023), quienes utilizaron 30:70 de estiércol de aves de corral o ganado y urea, mostrando el mejor desempeño para mejorar la salud del suelo y el rendimiento de arroz.

La figura 4 muestra un ejemplar representativo del tratamiento 4 correspondiente a la repetición 3, el cual presentó un desarrollo óptimo de acuerdo con los promedios obtenidos. El tomate es la hortaliza de mayor importancia económica a nivel mundial; durante su producción en invernaderos suele utilizarse lana de roca y turba como sustrato, pero la fibra de coco se emplea cada vez más para este fin (Xiong *et al.*, 2017). La turba de coco es un sustrato natural utilizado industrialmente en plántulas orgánicas e inorgánicas que no requieren uso de suelo. Este subproducto de la industria de Cocos *nucifera* constituye aproximadamente el 25 % de su producción total (Yan *et al.*, 2024). La turba de coco incorpora al medioambiente microorganismos beneficiosos que son eficientes degradando compuestos orgánicos complejos y reciclan nutrientes que quedan disponibles para las plantas, lo que genera un equilibrio en el sustrato (Yan *et al.*, 2024).

Figura 4. Plántula en crecimiento, repetición 3, tratamiento 4



Fuente: elaboración propia

El abono orgánico demostró ser más efectivo de lo esperado en el desarrollo y crecimiento de las plantas. Los tratamientos con mayor proporción de abono orgánico (1 y 2) no presentaron las mejores condiciones para el desarrollo vegetal. El tratamiento 1, al contener solo abono, no presentó germinación; el tratamiento 2 alcanzó una germinación del 93.33 %, pero su crecimiento fue lento y mostró los valores más bajos del experimento. El tratamiento 3 presentó la germinación más baja, pero ocupó el segundo lugar en condiciones de crecimiento, después del tratamiento 4, con una altura de 68.22 mm, 8 hojas y un diámetro de tallo de 1.4 mm. Finalmente, el tratamiento 5 registró una germinación de 93.33 %; aunque no contenía abono orgánico, mostró la mejor germinación al inicio del ensayo, pero su crecimiento y rendimiento se vio pausado y disminuyó en los últimos días de medición.

En el estudio de Fan *et al.* (2023), se indicó que los fertilizantes orgánicos proporcionan fertilidad al suelo a largo plazo y contribuyen a la producción agrícola, relación asociada con la mejora en la conductividad del suelo. Adicionalmente, los autores comentan que el vermicompostaje presenta una conductividad eléctrica baja en comparación con otros fertilizantes orgánicos, por lo cual sería una opción adecuada para someter el abono orgánico de larvas de MSN a un procesamiento adicional mediante el vermicompostaje para obtener un abono con características de abono maduro y con mejores características nutricionales para el suelo.

Aunque los resultados de los tratamientos 1 y 2 no fueron los esperados, coincidieron con lo reportado por Wantulla *et al.* (2024), quienes evaluaron los efectos de enmendar el suelo con *frass* de MSN en la supervivencia de la mosca de raíz de la col. En su estudio observaron resultados poco favorables en la germinación y crecimiento de *Brassica oleracea* o col silvestre, pero sí registraron una reducción significativa en la plaga *Delia radicum*, que afecta la col.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que elaborar abono orgánico mediado por larvas de MSN requiere la evaluación de otros tratamientos complementarios; las características obtenidas en el *frass* para uso como abono muestran potencial para la mezcla con otros sustratos. El *frass* presentó características similares a las del abono inmaduro. Al aplicar el abono a cultivos de tomate con diferentes proporciones de abono y turba de coco, se observó un crecimiento y desarrollo adecuado de las plantas que contenían menor proporción de abono, pues se demostró que el tratamiento con 100 % de abono *frass* no presentó germinación, mientras que los demás tratamientos presentaron germinaciones significativas, como los tratamientos 2 y 5, que registraron las germinaciones más altas (93.33 %). No obstante, los tratamientos 3 y 4, aunque presentaron una germinación más baja con 76.67 y 86.67 %, obtuvieron los mejores resultados con alturas de 68.22-96.23 mm, diámetros de 1.4-1.9 mm y números de hojas entre 8-14. Estos resultados demuestran que utilizar abono orgánico en bajas concentraciones es beneficioso para el suelo porque brinda equilibrio al ecosistema, mejora la estructura del suelo a largo plazo y reduce el riesgo de sobrefertilización. Además, minimiza los costos para la producción agrícola, lo cual favorece a los agricultores.

Darles un aprovechamiento a los residuos orgánicos mediante larvas de MSN (*Hermetia illucens*) para obtener productos como abono orgánico que mejoren la calidad del suelo agrícola resulta viable, pero aún se requiere más investigación para optimizar el proceso y obtener un producto de alta calidad a partir de residuos como la pulpa de café o mediante variación de desechos orgánicos.

Contribución de los autores

Lorena Ortega Romero: metodología, investigación, redacción, análisis estadísticos, interpretación de datos, construcción de las gráficas y figuras. Diana Marcela Cuesta Parra: dirección del proyecto de

investigación, revisión del artículo. Felipe Correa-Mahecha: seguimiento a las condiciones experimentales. Juan Pablo Ospina y Nelson Ceballos: apoyo en el suministro de materiales experimentales y en el diseño de experimentos.

Implicaciones éticas

No existen implicaciones éticas.

Conflicto de interés

Los autores manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

Financiación

El trabajo fue realizado con recursos destinados a la investigación por la Universidad de América y Universidad de Caldas, incluido en el proyecto de investigación IIQ-005-2024.

REFERENCIAS

Amrul, N. F., Kabir Ahmad, I., Ahmad Basri, N. E., Suja, F., Abdul Jalil, N. A., y Azman, N. A. (2022). A review of organic waste treatment using black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Sustainability*, 14(8), 4565. <https://doi.org/10.3390/su14084565>

Bava, L., Jucker, C., Gislon, G., Lupi, D., Savoldelli, S., Zucali, M., y Colombini, S. (2019). Rearing of *Hermetia illucens* on different organic by-products: Influence on growth, waste reduction, and environmental impact. *Animals*, 9(6), 289. <https://doi.org/10.3390/ani9060289>

Café de Colombia. (2021, 22 de febrero). *Historia del café de Colombia. Café de Colombia*. <https://cafedecolombia.com/nuestro-cafe-mapal>

Cervantes Beyra, R., Castro-Lizazo, I., Mesa Pérez, M. A., Ocampo Ramírez, A., Fernández Valdés, D., y Fernández Valdés, D. (2015). Efecto de la pulpa de *Coffea arabica* L. sobre la microflora de tres unidades de suelos. *Revista de Protección Vegetal*, 30(2), 115-122.

Eggink, K. M., Lund, I., Pedersen, P. B., Hansen, B. W., y Dalsgaard, J. (2022). Biowaste and by-products as rearing substrates for black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae: Effects on larval body composition and performance. *PloS One*, 17(9), e0275213. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0275213>

Eriksen, N. T. (2024). Metabolic performance and feed efficiency of black soldier fly larvae. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 12, 1397108. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2024.1397108>

Fan, H., Zhang, Y., Li, J., Jiang, J., Waheed, A., Wang, S., Rasheed, A. M., Zhang, L., y Zhang, R. (2023). Effects of organic fertilizer supply on soil properties, tomato yield, and fruit quality: A global meta-analysis. *Sustainability*, 15(3), 2556-2556. <https://doi.org/10.3390/su15032556>

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2023, 4 de enero). La producción anual de café de Colombia cierra 2022 en 11,1 millones de sacos, 12 % menos que en 2021 [Comunicado de prensa]. <https://federaciondefcafeteros.org/app/uploads/2023/01/BOLETIN-Produccion-anual-de-cafe-de-Colombia-cierra-2022-en-111-millones-de-sacos.pdf>

Fernández-Cortés, Y., Sotto-Rodríguez, K. D. y Vargas-Marín, L. A. (2020). Impactos ambientales de la producción del café, y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados. *Producción + Limpia*, 15(1), 93-110. <https://doi.org/10.22507/pml.v15n1a7>

Holmes, L. A., Vanlaerhoven, S. L., y Tomberlin, J. K. (2012). Relative Humidity Effects on the Life History of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *Environmental Entomology*, 41(4), 971-978. <https://doi.org/10.1603/en12054>

Hutabarat, D. J. C., y Mangindaan, D. (2024). Cultivation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae for the valorization of spent coffee ground: A systematic review and bibliometrics-tudy. *Agriculture*, 14(2), 205-205. <https://doi.org/10.3390/agriculture14020205>

Iqbal, A., Tang, X., Ali, I., Yuan, P., Khan, R., Khan, Z., Adnan, M., Wei, S., y Jiang, L. (2023). Integrating low levels of organic fertilizer improves soil fertility and rice yields in paddy fields by influencing microbial communities without increasing CH₄ emissions. *Applied Soil Ecology*, 189, 104951. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.104951>

Jasso, B., Quinchia, L., Waliczek, T. M., y Drewery, M. L. (2024). Black soldier fly larva (*Hermetia illucens*) frass and sheddings as a compost ingredient. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1297858. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1297858>

Lalander, C., Ermolaev, E., Wiklicky, V., y Vinnerås, B. (2020). Process efficiency and ventilation requirement in black soldier fly larvae composting of substrates with high water content. *Science of the Total Environment*, 729, 138968. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138968>

Liu, K. (2019). Effects of sample size, dry ashing temperature and duration on determination of ash content in algae and other biomass. *Algal Research*, 40, 101486. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101486>

Manasa, V., Padmanabhan, A., y Anu Appaiah, K. A. (2021). Utilization of coffee pulp waste for rapid recovery of pectin and polyphenols for sustainable material recycle. *Waste Management*, 120, 762-771. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.10.045>

Mengistu, T., Gebrekidan, H., Kibret, K., Woldetsadik, K., Shimelis, B. y Yadav, H. (2018). Comparative effectiveness of different composting methods on the stabilization, maturation

- and sanitization of municipal organic solid wastes and dried faecal sludge mixtures. *Environmental Systems Research*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s40068-017-0079-4>
- Nedi Terfa, G. (2021). Role of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae *frass* bio-fertilizer on vegetable growth and sustainable farming in Sub-Saharan Africa. *Reviews in Agricultural Science*, 9(0), 92-102. https://doi.org/10.7831/ras.9.0_92
- Padmanabha, M., Kobelski, A., Hempel, A. J., y Streif, S. (2020). A comprehensive dynamic growth and development model of *Hermetia illucens* larvae. *PloS One*, 15(9), e0239084. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239084>
- Rammal, F., Issa, M., Khiari, B. y Jeguirim, M. (2024). Biofertilizer and biocompost prepared from banana peels for agricultural applications. En *Banana Peels Valorization* (pp. 141-157). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-95937-7.00006-8>
- Ruschioni, S., Duca, D., Tulli, F., Zarantoniello, M., Cardinaletti, G., Corsi, L., Olivotto, I., Basili, D., Naspetti, S., Truzzi, C., Isidoro, N., y Riolo, P. (2024). Evaluation of growth performance and environmental impact of *Hermetia illucens* larvae reared on coffee silverskins enriched with *Schizochytrium limacinum* or *isochrysis galbana* microalgae. *Animals*, 14(4), 609. <https://doi.org/10.3390/ani14040609>
- Salinas-Vargas, D., Maldonado-Peralta, M. D. L. Á., Rojas-García, A. R., León-Villanueva, A., Álvarez-Vázquez, P., y Maldonado-Peralta, R. (2021). Response of tomato varieties (*Solanum lycopersicum* L.) to water stress. *Agro Productividad*, 13(12). <https://doi.org/10.32854/agrop.v13i12.1897>
- Wantulla, M., Dicke, M., y Van Loon, J. J. A. (2024). Effects of amending soil with black soldier fly *frass* on survival and growth of the cabbage root fly (*Delia radicum*) depend on soil type. *Journal of Pest Science*, 97(3), 1451-1459. <https://doi.org/10.1007/s10340-023-01710-9>
- Xiong, J., Tian, Y., Wang, J., Liu, W., y Chen, Q. (2017). Comparison of coconut coir, rockwool, and peat cultivations for tomato production: Nutrient Balance, plant growth and fruit quality. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1327. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01327>
- Yan, K., Ma, Y., Bao, S., Li, W., Wang, Y., Sun, C., Lu, X., y Ran, J. (2024). Exploring the Impact of Coconut Peat and Vermiculite on the Rhizosphere Microbiome of Pre-Basic Seed Potatoes under Soilless Cultivation Conditions. *Microorganisms*, 12(3), 584. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12030584>
- Yu, O., y Kim, K. H. (2020). Lignin to materials: A focused review on recent novel lignin applications. *Applied Sciences*, 10(13), 4626. <https://doi.org/10.3390/app10134626>



UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD

www.unad.edu.co

Sede Nacional José Celestino Mutis Calle 14 Sur No 14-23

PBX: 3443700 ext: 1422 - 1333

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería

publicaciones.investigacion@unad.edu.co

Bogotá, D.C. Colombia