

Biorrefinería

BIOCIENCIA - BIOTECNOLOGÍA - BIOINNOVACIÓN



POLÍGONO TECNOLÓGICO - ABACÁ (MUSA TEXTILES)

Pineda-Insuasti, J. A. (2000). Polígono Tecnológico - Abacá (Musa Textiles). Santo Domingo de los Tsáchilas, <https://cebaecuador.org/>



<https://www.ceba.org.ec/>



<https://www.facebook.com/BiodiversityEC/>



<https://bioecologicos.com/>



CEBA, es una institución de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i), constituida bajo la forma de Fundación de utilidad común, sin fines de lucro, religioso, racial, político y de género. Es una persona jurídica de derecho privado, reconocida por el Estado ecuatoriano mediante Acuerdo Ministerio del Ambiente No 026 (17/03/2009), Registro Oficial No 579 (28/04/2009). “Entidad de Investigación Científica” ACREDITACIÓN SENESCYT-ACR-UNIDAD-24-5 (17/06/2024).

CEBA mantiene un enfoque Científico-Empresarial, con una estrategia de trabajo por resultados fundamentada en la competitividad.

CEBA difunde los resultados científicos a través de sus revistas:

REVISTA BIONATURA: ISSN 1390-9355 (online) e ISSN 1390-9347 (impresa).

- <https://revistabionatura.org/>
- <https://portal.issn.org/resource/ISSN/1390-9355>

REVISTA BIORREFINERÍA: ISSN 2602-8530 (online).

- <https://cebaecuador.org/publicaciones/revista-biorrefineria/>
- <https://portal.issn.org/custom-search/print/2602-8530/public>

MISIÓN

Proveer el soporte científico, tecnológico y empresarial al Desarrollo Sustentable del Ecuador y de América Latina con enfoque en BIOECONOMÍA, mediante la *Estrategia Ecuatoriana de Bioeconomía-Horizonte 2035*, que permita el máximo aprovechamiento de los recursos y contribuya con el bienestar del ser humano y del planeta.

VALORES

Integridad, calidad, responsabilidad, liderazgo, colaboración y diversidad.

DESAFÍOS GLOBALES

CEBA, apoya y financia toda iniciativa orientada a enfrentar los *Desafíos Globales* en el marco del Desarrollo Sustentable con enfoque de Bioeconomía.



Ing. Alejandro Pineda Soto
PRESIDENTE EJECUTIVO-CEBA

Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente (CEBA)
Periférico Sur s/n, Fincas San Agustín, San Antonio. Ibarra-Ecuador
Cel: (+593) 99 579 7813
Email: inf.ceba@gmail.com, info@cebaecuador.org
URL: www.cebaecuador.org

Biorrefinería

La revista BIORREFINERÍA del Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente (CEBA), fue creada en el año 2017 con la finalidad de difundir los resultados científicos y tecnológicos obtenidos de la investigación aplicada en el marco de la ESTRATEGIA ECUATORIANA DE BIOECONOMÍA-HORIZONTE 2035, en los campos de la BIOECONOMÍA, BIOAGRICULTURA, BIOALIMENTOS, BIOSALUD, BIOAMBIENTE, BIOENERGÍAS Y BIOINDUSTRIA. Publica manuscritos científicos originales del tipo empírico, revisiones, metodológicas y estudios de caso. Se edita en versión digital con una frecuencia anual y está dirigida a la comunidad científica a nivel mundial. Se encuentra inscrita en el Registro Nacional de Publicaciones Seriadas de la SENESCYT.

Misión: Aportar con conocimiento técnico, científico y económico para el desarrollo de la Bioeconomía Ecuatoriana y de América Latina, mediante el uso eficiente y equilibrado de los recursos naturales, así como el aprovechamiento adecuado de los recursos genéticos microbianos, las biomasas de carbono disponible y los bioprocessos tecnológicos existentes, que permita el máximo aprovechamiento del conocimiento para el bienestar del ser humano y del planeta.

Visión: Inspirar a las futuras generaciones para que aporten con el desarrollo social y económico del planeta, basado en una Bioeconomía respetuosa con el medioambiente y el ser humano.

Objetivo: Difundir el conocimiento sobre los avances de la ciencia, la tecnología y la innovación de la Bioeconomía Ecuatoriana y de América Latina, mediante la herramienta online, que permita llegar a la mayoría de la población.

Alcance: La revista Biorrefinería tiene alcance nacional e internacional, con especial enfoque al sector de la Bioeconomía y dirigida a la comunidad científica.

Cobertura de Temáticas

- Nuevos materiales de alto valor agregado (alimentos, suplementos, fitofármacos, fármacos, cosméticos y bebidas)
- Bioproductos para la agricultura y la salud animal
- Tecnología de la biomasa y sus derivados
- Simulación de bioprocessos y sus derivados
- Alimentación animal y humana
- Alcohol y bebidas
- Energías renovables y bioenergía
- Medio Ambiente
- Biocombustibles
- Bioeconomía
- Biomasa de carbono
- Recursos genéticos microbianos
- Bioprocessos de refinación

Equipo Editorial

Consejo Editorial / Editorial Board	Comité Científico / Scientific Committee
Dr. C. Julio Pineda Insuasti, PhD. Director Ejecutivo, Editor en jefe / Centro Ecuatoriano de Biotecnología y Ambiente CEBA. Ibarra, Ecuador.	1. Dr. Rubén Del Toro, PhD. PUCE, Ecuador 2. Dr. José País, PhD, UTN. Ecuador 3. MSc. Jimmy Núñez, UTN. Ecuador 4. MSc. Elsa Sulay Mora Muñoz. UTN, Ecuador 5. MSc. Edwin Ortiz. GAD Antonio Ante, Ecuador 6. MSc. Gustavo Reyes Lara. CEBA, Ecuador 7. Ing. Carlos Alfonso Santillán. CEBA, Ecuador 8. Dr. C. Fidel Domenech PhD. ONUDI, Cuba 9. Dr. César Zuleta, PhD. PUCE, Ibarra, Ecuador 10. MSc. Claudia Soto Arroyave. UCO, Colombia 11. MSc. Napoleón Benavides. MAE, Ecuador 12. Ing. Rubén Darío Guzmán. IANCEM, Ecuador 13. MSc. William Gómez Andrade. CEBA, Ecuador 14. MSc. Klever Ayala Pastaz. CEBA, Ecuador 15. MSc. Juan Carlos Fiallos. CEBA, Ecuador 16. Ing. Mario Cujilema. CEBA, Ecuador 17. Dra. Gabriela Cifuentes Guerra, PhD. CEBA, Ecuador 18. MSc. Javier Jiménez Forero. UNILLANOS, Colombia. 19. MSc. Estefanía Andrade. FLACSO, Ecuador 20. Msc. José Huaca. UTN, Ecuador. 21. Dr. C. Ernesto Osejos, PhD. UTN, Ecuador 22. Dr. C. Luis Enrique Trujillo Toledo, PhD. ESPE, Ecuador 23. MSc. Anahí Virginia Cuellas, UNQ, Argentina 24. Dr. Miguel Otero, PhD, Miami Dade College, EEUU 25. Dr. C. Amaury Alvarez Delgado, PhD, ICIDCA, Cuba. 26. Dr. Ullrich Stahl, PhD, UCE. Ecuador 27. Dr. C. Ernesto Rosero Delgado, PhD. UTM, Ecuador 28. MSC. Vicky Alejandra Mendoza Pico, UTM, Ecuador 29. Ing. Daniela Tapia, GPP, Ecuador 30. Ing. Pablo Vela Nuñez, MSc. CEBA, Ecuador 31. Dra. C. Lourdes Crespo Zafra, UC, Cuba 32. Dra. C. Rosa Gonzales Zambrano, ESPAM-MFL, Ecuador 33. Ing. Homero Vaca Vásquez, UTN, Ecuador 34. Ing. Alejandro Pineda Soto, BIOECOLÓGICOS, Ecuador 35. Tnlgo. Galo Chiriboga Ron, CEBA, Ecuador
MSc. Vanessa Rocha Cabuyales , Editora de Sección / Universidad de Toronto. Toronto, Canadá.	
Dr. C. Gualberto León Revelo, PhD. Editor Técnico / Universidad Politécnica Estatal del Carchi UPEC. Tulcán, Ecuador.	
Ing. Astrid Stefanía Duarte Trujillo . Editor Académico / Universidad de los Llanos UNILLANOS. Villavicencio, Colombia.	

ISSN digital: 2602-8530

URL:

<https://www.cebaecuador.org/publicaciones/revista-biorrefineria/>

Contacto: biorrefineria.ceba@gmail.com

TABLA DE CONTENIDO

<u>GENERADORES EÓLICOS Y SU CONVERSIÓN A PARTIR DE MOTORES ELÉCTRICOS: REVISIÓN</u>	6
<u>MÁQUINAS TRITURADORAS Y PICADORAS DE SEUDO TALLO DE BANANO (MUSA SPP.): UNA REVISIÓN</u>	111
<u>ANÁLISIS Y CLASIFICACIÓN DE TURBINAS EÓLICAS: REVISIÓN</u>	199
<u>PROCESO ESCALA DE LABORATORIO PARA EL SECADO DEL TALLO DE BANANO (MUSA PARADISIACA)</u>	288
<u>PRODUCCIÓN DE PROTEÍNA A PARTIR DE BIOMASA LIGNOCELULOSICA DEL ABACÁ (MUSA TEXTILIS): UNA REVISIÓN</u>	333
<u>PROCESO ESCALA DE LABORATORIO PARA EL SECADO DE PSEUDOTALLO DE BANANO (MUSA PARADISIACA)</u>	400
<u>REGULACIÓN HORMONAL EN PECES Y APLICACIONES EN ACUICULTURA: UNA REVISIÓN</u>	466
<u>CARACTERIZACIÓN DE LAS LIGNINAS OBTENIDAS POR MÉTODOS DE DESPOLIMERIZACIÓN ÁCIDA Y ALCALINA</u>	566
<u>PRODUCCIÓN DE UN EMBUTIDO A PARTIR DE CHAMPIÑÓN OSTRA (PLEUROTUS SPP.): UNA REVISIÓN</u>	688
<u>POTENCIAL DEL CHAMPIÑÓN OSTRA (PLEUROTUS SPP.) EN LA PRODUCCIÓN DE GALLETAS: UNA REVISIÓN</u>	79
<u>PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS PELETIZADOS A PARTIR DE CHAMPIÑÓN OSTRA (PLEUROTUS SPP.): UNA REVISIÓN</u>	866
<u>ELABORACIÓN DE SNACKS A PARTIR DE HONGOS OSTRA (PLEUROTUS SPP.): UNA REVISIÓN</u>	944
<u>PRODUCCIÓN DE YOGUR FUNCIONAL CON CHAMPIÑÓN OSTRA (PLEUROTUS SPP.): UNA REVISIÓN</u>	104
<u>PRODUCCIÓN DE PROTEÍNA FÚNGICA A PARTIR DE BIOMASA DE BANANO (MUSA SPP.): UNA REVISIÓN</u>	111
<u>REVISIÓN SISTEMÁTICA DE PROCESOS DE EXTRACCIÓN DE B-GLUCANO A PARTIR DE PLEUROTUS SPP.</u>	118
<u>DESARROLLO DE UN PROCESO A ESCALA DE LABORATORIO PARA LA PRODUCCIÓN DE PAPEL A PARTIR DEL HONGO REISHI (GANODERMA SPP.)</u>	128
<u>PRODUCCIÓN IN VITRO DE MORTIÑO (VACCINUM MERIDIONALE): UNA REVISIÓN</u>	139

GENERADORES EÓLICOS Y SU CONVERSIÓN A PARTIR DE MOTORES ELÉCTRICOS: REVISIÓN

WIND GENERATORS AND THEIR CONVERSION FROM ELECTRIC MOTORS: REVIEW

José Julián Granja-Trávez¹, Diego Ortiz-Morales¹, Melany Coello-Vargas¹, Julio Pineda-Insuasti²

¹ Universidad Técnica del Norte -UTN. Ibarra, Ecuador

² Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente -CEBA. Ibarra, Ecuador

Autor para correspondencia: jgranja@utn.edu.ec

Recibido: 19/04/2025

Aceptado: 19/05/2025

RESUMEN

La energía eléctrica en la ruralidad es un servicio básico escaso o casi inexistente razón por la cual es necesario adoptar otro tipo de generación de energía, sin necesidad de una red eléctrica sino más bien adecuando recursos disponibles y accesibles como el reacondicionamiento de un motor eléctrico para su conversión en un generador de energía eólica.

El objetivo de la revisión es encontrar un motor eléctrico óptimo que nos brinde facilidad en su reacondicionamiento, pero también que el nuevo generador sea capaz de realizar tareas básicas. La investigación se llevó a cabo considerando el tipo de motor, funcionamiento, modificaciones necesarias, disponibilidad y trabajo óptimo obteniendo como mejor resultado al motor de hoverboard o scooter eléctrico.

Como mención especial para posibles proyectos educativos y didácticos muy poco demandantes de energía podemos considerar al motor de ventiladores caseros por su bajo costo y ensamble simple.

Palabras clave: disponibilidad, energía, optimización, reacondicionamiento.

ABSTRACT

Electricity in rural areas is a scarce or almost nonexistent basic service, which is why it is necessary to adopt another type of energy generation, without the need for an electrical grid, but rather by adapting available and accessible resources, such as reconditioning an electric motor to convert it into a wind power generator.

The objective of the review is to find an optimal electric motor that allows for easy reconditioning but also ensures that the new generator is capable of performing basic tasks. The research was carried out considering the type of motor, operation, necessary modifications, availability, and optimal performance, being the best result the hoverboard or electric scooter motor. As a special mention for potential educational and didactic projects that require very low energy, we can consider the home fan motor due to its low cost and simple assembly.

Keywords: availability, energy, optimization, reconditioning.

INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica escasa o casi inexistente en la ruralidad no es un tema de conversación

e investigación nuevo, sino una problemática social a nivel global, en países desarrollados esto se ha abordado y tratado mediante políticas públicas como inversión del estado en ampliar la red eléctrica, brindar subsidios para la compra de paneles solares o generadores a gasolina o diésel adecuados a sus necesidades, más aún existen miles de personas sin acceso a este servicio básico como en Alaska con el 12% de su población, pero la brecha en contraste con el resto del mundo por ejemplo en el continente africano tienen una vertiginosa diferencia con un 43% (~600 millones de personas) sin acceso a energía eléctrica y sin expectativa de un cambio próximo, mientras que en países en vías de desarrollo como en Ecuador esta cifra no es tan alta pero aun así debería ser un foco de atención prioritaria con el 4.5% (~180 mil personas) del sector rural, sin contar los apagones sufridos en estos últimos años que han afectado al total de su población. Es por eso la pronta necesidad de encontrar alguna alternativa para cubrir este servicio básico garantizado en la misma constitución (AEA, 2023; Energy Agency, 2022; INEC, 2022).

Generador eléctrico para energía Eólica

A nivel global año tras año las nuevas tecnologías acompañadas de la ingeniería focalizan sus esfuerzos en lograr optimizar al máximo sus nuevas máquinas en este caso los generadores, pero estos equipos no son precisamente fáciles de hacer ni simples de replicar por la cantidad de regulaciones existentes, así como la infraestructura especializada por mencionar algunos aspectos. Es entonces cuando surge la necesidad de innovar desde lo que está a nuestro alcance, un generador eléctrico puede oscilar entre los 500 USD para uso doméstico básico sin contar con el diésel o gasolina necesaria para su funcionamiento, precio que obviamente no es accesible para la gran mayoría de la población sin embargo si buscamos alternativas simples pero efectivas por ejemplo el reacondicionar motores eléctricos en toda escala ya sea de

segunda mano e incluso en proceso de chatarrización mediante la implementación de imanes permanentes o simplemente sumándole aspas nos brindaría como resultado un generador eléctrico de energía eólica reduciendo significativamente los costos del mismo y garantizando la utilización de un recurso renovable, gratis e ilimitado con una muy accesible inversión inicial y en un futuro ser capaces de ensamblarlos a gran escala (Manwell et al., 2010; Pintulac, 2024).

Mercado de los generadores en Ecuador El mercado de los generadores eléctricos es muy variado a nivel global con varias opciones desde los que operan con gasolina, con energía hidráulica, solares o eólicos, pero a nivel regional o nacional se ve totalmente reducido a los generadores a gasolina considerando que su precio se ve aumentado por las tasas de impuestos ya sea de consumo o aduanas y regulaciones nacionales vigentes.

Existen pocos importadores autorizados como por ejemplo Pintulac, BPEcuador o Energy Power Ec, mientras que existe todo un mercado informal de compra y venta al por mayor de personas naturales casi dominado en su totalidad por generadores a diésel que han tenido su auge en los apagones sufridos en este último tiempo, pudiendo evidenciar una falta en el mercado de empresas que desarrollen generadores y más aún que ofrezcan energías alternativas como la eólica o hidráulica (ENERGY POWER, 2024; Pintulac, 2024).

Tipos de generadores

Asíncronos (inductivos): Menos utilizados con aplicaciones específicas.

Síncronos (alternadores): Más común por mantener una frecuencia constante y sincroniza bien con las redes eléctricas (Chapman, 2012).

Partes generales de un generador

Rotor (parte giratoria)

Genera un campo eléctrico con imanes o electroimanes usualmente alimentado por CC, tiene bobinas de cobre aislado enrollados en los polos, va conectado directamente a la turbina.

Estator (parte fija)

Genera electricidad mediante inducción electromagnética, compuesto por láminas de distinto material en función de su uso, aisladas para reducir corrientes parásitas, posee tres conjuntos de bobinas para sistema trifásico, tiene una estructura robusta y sus bobinas necesitan estar aisladas.

Sistema de excitación

Permite proporcionar corriente continua al devanado del rotor para crear el campo magnético, tiene dos sistemas de excitación: estática y brushless. La desventaja de la primera es que tiene una fuente de corriente continua externa y la mayor radica en que su mantenimiento de escobillas y anillos rozantes debe ser constante por el desgaste mecánico, mientras que la segunda (brushless) utiliza un pequeño generador auxiliar que puede ser eléctrico o mecánico en caso de energía eólica acoplado al eje optimizando la generación y aprovechamiento de energía.

Sistemas de refrigeración

La refrigeración por aire requiere rendijas o ventiladores internos y externos, la refrigeración por hidrógeno es para generadores de alta potencia, la refrigeración por agua requiere tubos en el estator o el rotor.

Cojinetes

Tienen una función vital, soportan el peso del rotor y ayudan a reducir la fricción, se dividen en:

Casquillos. Lubricados por aceite a presión
Rodillos. Diseñados para altas velocidades
Magnéticos. Son modernos y no tienen contacto físico lo que reduce el mantenimiento.

Sistemas de control y protección

Son la parte eléctrica que conduce la corriente de manera segura y cuida la integridad del circuito de control, sus principales componentes son:

Regulador de voltaje. Mantiene el voltaje de salida estable.

Sincronizador. Alinea la frecuencia y fase del generador con la red eléctrica.

Protecciones a sobrecargas. Relés contra sobrecargas, cortocircuitos, desequilibrios de fase y fallos de aislamiento (Arribas, 2014; Chapman, 2012; Gieras, 2013; Griffiths, 2013; Manwell et al., 2010).

Funcionamiento simple detallado de un generador

1. Generación del campo magnético La corriente continua del sistema de excitación fluye por el devanado del rotor creando un campo magnético en los polos, el rotor gira a velocidad síncrona dependiendo de la red y los polos:

$$N = 120*f /P$$

Donde:

N: RPM del rotor

f: frecuencia 50 o 60 Hz

P: número de polos del rotor

2. Inducción del voltaje al estator Ley de inducción de Faraday que es el proceso por el cual se puede inducir una corriente eléctrica por medio de un cambio en el campo magnético

3. Conexión a la red

El voltaje generado se sincroniza en frecuencia, fase y amplitud con la red eléctrica antes de cerrar el interruptor principal.

4. Regulación de potencia

La potencia activa se debe controlar el caudal del agua a la turbina mientras que la potencia reactiva se regula variando la corriente de excitación.

Alternativas de motores para ser reacondicionados en generadores simples

Motores de lavadoras

Tienen una alta potencia, están diseñados para funcionar a bajas RPM (útil para vientos moderados), mantienen una estructura sellada, resistente a la humedad, requieren desmontaje complejo para extraer el motor, necesitan un controlador electrónico para regular la energía generada y de peso elevado.

Motores de caminadoras

Son fáciles de conectar, tienen alta eficiencia en RPM medias (1500–3000), presentan bajo costo en el mercado de segunda mano, sus escobillas se desgastan y necesitan mantenimiento, requieren un sistema de engranajes para adaptarse a RPM bajas de viento y podrían en presencia de humedad ocasionar un corto circuito.

Motores de ventiladores de computadoras (micro)

Funcionan con vientos suaves (entre 50–100 RPM), son livianos y fáciles de instalar en palas pequeñas, ideales para proyectos de microgeneración tipo carga de pilas recargables, tienen una potencia mínima de 1–5 W insuficiente para aplicaciones prácticas, sus materiales plásticos no resisten la intemperie y requieren circuitos reguladores de voltaje precisos.

Motores de drones

Generan voltaje incluso a RPM muy bajas (100–300), tienen una estructura fácil de acoplar, permiten conexiones en serie o paralelas, presentan baja eficiencia entre el 30 y 40%, requieren puentes rectificadores y capacitores para estabilizar la corriente y una potencia limitada de 5 a 30W en motores grandes.

Motores de bicicletas eléctricas, scooter o hoverboard

Tienen una potencia media de 250–500 W y par alto a bajas RPM, cuentan con un diseño sellado y resistente a la corrosión, permiten un fácil acople directo a palas por no tener engranajes, presentan un peso elevado, necesitan velocidades de viento constantes para evitar sobrecalentamiento, tienen un costo alto si se compran nuevos y un costo bajo si se reacondicionan.

(Arribas, 2014; Fakhraie, 2013; Sindhya et al., 2017)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Analizado entre los anteriores motores el de un hoverboard parece ser el más llamativo si bien su proceso de reacondicionamiento es más complejo y su precio aumenta, el resultado costo beneficio es el más llamativo y con mayor gama de aplicaciones posibles. Para esto debemos tomar en cuenta aspectos de forma ineludible presentados a continuación:

Tipo de motor: Los motores de scooters/hoverboards suelen ser motores BLDC (Brushless DC). Estos motores son ideales para actuar como generadores porque, al girar, generan corriente alterna (AC) que puede rectificarse a corriente continua (DC).

Voltaje y potencia: Si el motor es de 24V o 36V (comunes en scooters), podría generar energía suficiente para cargar baterías pequeñas (12V–24V) o alimentar dispositivos de bajo consumo. (Fakhraie, 2013).

Modificaciones mínimas: Como el motor ya tiene imanes permanentes (como en los BLDC), no necesitarán ser reemplazarlos. Si es un motor con núcleo de hierro, requerirá ajustes como agregar imanes.

Baja eficiencia: Obviamente comparado con generadores eólicos comerciales.

Velocidad de arranque: Los motores BLDC requieren altas RPM para generar voltaje útil. Necesitaremos aspas grandes o un sistema de

transmisión (poleas/engranajes) para multiplicar la velocidad del rotor.

CONCLUSIONES

Debido a la limitada disponibilidad de artículos similares y terminado el proceso de revisión de los distintos tipos de generadores y la factibilidad de hacerlos readecuando motores eléctricos además de haber tomado en cuenta los aspectos más destacables de cada uno el

resultado más favorable y factible es trabajar en el motor eléctrico de bicicletas eléctricas, hoverband y scooters.

Además, se acota una especial mención a los motores de ventiladores domésticos, por su

fácil disponibilidad y costo mínimo de readecuación es ideal para proyectos didácticos o académicos básicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alaska Energy Authority, (2023). 2023 Alaska Energy Statistics Report.
2. Arribas, J. Rodríguez. (2014). Máquinas síncronas y máquinas de corriente continua.
3. Chapman, S. (2012). MÁQUINAS ELÉCTRICAS.
4. Energy Agency, I. (2022). World Energy Outlook Special Report Africa Energy Outlook 2022. www.iea.org/t&c/
5. ENERGY POWER. (2024). CATÁLOGO GENERAL.
6. Fakhraie, R. (2013). Feasibility Study of Small Scale Standalone Wind Turbine for Urban Area Associate Professor Reza Fakhraie.
7. Gieras, J. F. (2013). DESIGN AND APPLICATIONS PERMANENT MAGNET MOTOR TECHNOLOGY.
8. Griffiths, D. (2013). INTRODUCTION TO ELECTRODYNAMICS.
9. INEC. (2022). Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo (ENEMDU).
10. Manwell, J. F., Manwell, J. F. /McGowan, J. G., & Rogers, A. L. (2010). Wind Energy Explained.
11. Pintulac. (2024). Generadores eléctricos gasolina | Pintulac. Retrieved March 17, 2025, from <https://www.pintulac.com.ec/catalog/category/view/s/generadores-portatiles/id/355/>
12. Sindhya, K., Manninen, A., Miettinen, K., & Pippuri, J. (2017). Design of a Permanent Magnet Synchronous Generator Using Interactive Multiobjective Optimization. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 64(12), 9776–9783. <https://doi.org/10.1109/TIE.2017.2708038>.

Citar artículo: Granja-Trávez, J., J., Ortiz-Morales, D., Coello-Vargas, M., Pineda-Insuasti, J. (2025). Generadores eólicos y su conversión a partir de motores eléctricos: revisión. Biorrefinería 8 (1). Obtenido de <https://cebaecuador.org/publicaciones/revista-biorrefineria/>

Información de revisión por pares: Revista Biorrefinería agradece a los revisores anónimos por su contribución a la revisión por pares de este trabajo utilizando <https://reviewerlocator.webofscience.com/>.

Acceso abierto: Todos los artículos publicados por Revista Biorrefinería son accesibles en línea de forma gratuita y permanente inmediatamente después de su publicación, sin cargos de suscripción ni barreras de registro.

Nota del Editor: Revista Biorrefinería se mantiene neutral con respecto a reclamos jurisdiccionales en mapas publicados y afiliaciones institucionales.

Copyright: © 2024 por los autores. Presentado para posible publicación en acceso abierto bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

MÁQUINAS TRITURADORAS Y PICADORAS DE SEUDO TALLO DE BANANO (*Musa spp.*): UNA REVISIÓN

BANANA PSEUDO-STEM (*Musa spp.*) CRUSHING AND CHOPPING MACHINES: A REVIEW

Anthony David Buitrón-Ruiales¹, Cosme Damián Mejía-Echeverría¹, Julio Pineda-Isuasti², Alejandro Pineda-Soto^{2,3}, Melany Coello-Vargas¹

¹Universidad Técnica del Norte-UTN. Ibarra, Ecuador

²Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente-CEBA. Ibarra, Ecuador

³Universidad de Investigación de Tecnología Experimental- YACHAY. Urcuquí, Ecuador.

Autor para correspondencia: anvid150403@utn.edu.ec

Recibido: 19/04/2025

Aceptado: 19/05/25

RESUMEN

Existe limitado conocimiento sobre la fabricación de máquinas trituradoras de pseudotallo de banano, siendo Ecuador el primer exportador mundial de esta fruta no se aprovechado este residuo que existe en abundancia. Se requiere estudiar profundamente la materia prima (pseudotallo) para diseñar una máquina trituradora eficiente.

Palabras clave: Máquina, Trituradoras, picadoras, plátano, orgánicos

INTRODUCCIÓN

El plátano es una fruta tropical que se cultiva en más de 130 países. Es la segunda fruta más producida después de los cítricos, representando alrededor del 16% de la producción mundial de fruta y el cuarto cultivo alimentario más importante después del arroz, el trigo y el maíz.

El plátano es muy nutritivo y se digiere mejor que muchas otras frutas. Su amplio consumo se debe a sus características sensoriales y a su atractiva textura y sabor. Además, tiene un alto contenido calórico, con una baja cantidad de grasa, y es una excelente fuente de fibra

ABSTRACT

There is limited knowledge about the manufacture of banana pseudostem shredding machines. Despite Ecuador being the world's leading exporter of this fruit, this abundant waste product is not being utilized. A thorough study of the raw material (pseudostem) is needed to design an efficient shredding machine.

Keywords: Crushers, choppers, machines, banana, organic

dietética, vitamina C, vitamina B6 y manganeso (Alzate Acevedo et al., 2021).

Casi todos los cultivares de banano identificados derivan de dos especies diploides: *Musa acuminata* (genoma A) y *Musa balbisiana* (genoma B). Los cultivares de *Musa balbisiana* suelen ser plátanos almidonados, también conocidos como plátanos macho, y los de *Musa acuminata* suelen ser plátanos dulces de *postre*, pelados y consumidos (Mohd Zaini et al., 2022).

El Ecuador tiene alrededor de 162236,0 hectáreas sembradas de Banano y cuenta con

4473,0 productores de la fruta distribuidos de la siguiente manera: 35685 hectáreas que representan a los pequeños productores, 57486 ha que poseen los medianos bananeros y 69063 ha están en manos de los grandes productores, que corresponden a 193 propietarios de fincas bananeras (León Ajila et al., 2023).

Debido principalmente al crecimiento de la producción bananera en Ecuador y Filipinas los mayores exportadores de banano a nivel mundial, estimándose para el año 2028 una proyección de 135 millones de toneladas (Zhiminaicela Cabrera et al., 2020).

Dado que el banano es un cultivo importante a nivel mundial, las plantaciones generan toneladas de residuos después de cada temporada de cosecha y durante el procesamiento para obtener pulpa de banano.

Los residuos pueden incluir hojas, pseudotallo, pecíolo e inflorescencia, pero entre el 35 % y el 50 % de la masa total de la fruta representa la cáscara del banano (Mohd Zaini et al., 2022).

El pseudotallo del banano produce un solo racimo de frutos antes de secarse y ser reemplazado por un nuevo pseudotallo. Este pseudotallo es el tronco del banano que aporta nutrientes del suelo a los frutos; se convierte en residuo tras la cosecha. Se estima que cada hectárea de plantación de banano produce cerca de 220 toneladas de residuos de biomasa (Ahmad & Danish, 2018).

Su cultivo genera residuos sustanciales en forma de cáscaras, raquis, hojas y pseudotallos. Por cada tonelada de banano cosechada, se descarta el 10 % de las frutas y se produce aproximadamente cuatro veces más residuos lignocelulósicos.

Aproximadamente comprende residuos de fruta (90–110 kg), cáscaras (400–440 kg), pseudotallo (2–3 ton), pecíolos (120–170 kg),

hojas (450–500 kg), flores y brácteas (400–450 kg) y rizomas (400–500 kg) (Patil et al., 2024).

Se identifica que existe limitado conocimiento sobre el uso de los residuos del banano y su maquinaria para proceso.

El objetivo de este trabajo es realizar una revisión de los distintos tipos de máquinas picadoras y trituradoras de plátano, la disponibilidad en el mercado, funcionamiento y materiales a usar en la manufactura.

METODOLOGÍA

Se realizó una revisión de máquinas picadoras y trituradoras, en bases de datos LATINDEX, SCIELO Y SCOPUS.

RESULTADOS

Tipos de trituradoras

La trituración, es un proceso de disminución de las dimensiones de los trozos de los residuos o minerales mediante la destrucción de los mismos por la acción de fuerzas exteriores que superan las fuerzas interiores de cohesión, las que unen entre sí las partículas del cuerpo sólido (Guzmán Guzmán Juan Alex & Grandes Merizalde Neisser Alexander, 2018).

Las máquinas usadas para la trituración se pueden dividir en dos grandes grupos: de campo y estacionarias. Las máquinas estacionarias como su nombre lo indica, son máquinas empleadas en una sola zona de trabajo mientras que las de campo permiten ser transportadas y empleadas directamente en el lugar de trabajo (Tapia Chiriboga, 2022).

A parte, podemos subdividir cada grupo en los tipos de trituradoras que existen, estas se clasifican según el tipo de acción usada para triturar. Entre los principales tipos de trituradoras de granos se menciona cuatro en específico que son (Lasluisa Albán, 2022).

- Trituradora de martillos.
- Trituradora de rodillos.
- Trituradora de discos de frotamiento.

- Trituradora de bolas.

La trituradora de martillo usa la compactación a golpes para triturar los elementos, usada comúnmente en la industria mineral.

Tabla 1. Característica de trituradora de martillos

Capacidad	3-30 tn/h
Características	Alta productibilidad de trituración. Bajo consumo de energía, tamaño homogéneo de partícula. Estructura simple, compacta y ligera. Bajo costo de inversión.
Aplicación	Mineral blando y de dureza media, cuya resistencia a la compresión es mejor a 320 MPa. Caliza, carbón, tiza, yeso, etc.

(Abanto Alarcon, 2020)

La trituradora de rodillos, se caracteriza por poseer dos rodillos de acero o en algunos casos más de dos. El material es triturado por dichos rodillos por medio de la fuerza de compresión que generan al atravesar el material por los rodillos. (Maritza Balcazar & Juan Guamba, 2009)

Tabla 2. Característica de trituradora de rodillos

Capacidad	6-210 tn/h
Características	Alta productibilidad, alta presión
Aplicación	Minería, energía térmica, cemento, cerámica, metalurgia, etc.

(Abanto Alarcon, 2020)

Las trituradoras de discos de frotamiento funcionan casi como molinos, su función principal es frotar el material entre los discos para así hacer el desbaste requerido, prácticamente cómo funcionan los molinos

artesanales, pero a gran escala. Posee uno o dos discos que contienen una hilera de dientes concéntricos que trabajan a altas velocidades (Avilez Arévalo & Ochoa Guaraca, 2021).

Las trituradoras de bolas son máquinas cilíndricas que almacenan bolas de materiales específicos como piedra y acero que cumplen el propósito de triturar por medio de la compactación continua. La trituradora gira por la actividad de un material circunferencial, a través de correas de transmisión de nivel o diferentes en forma de V, o a través de rueda dentada y cadena acoplada (Campo Vélez & Ipiales Coque, 2022) (JIAOZUO ZHONGXIN HEAVY INDUSTRY, 2022).

El nombre de las máquinas picadoras varía un poco, de trituradoras a picadoras, pero siendo básicamente lo mismo, se usa para convertir en pequeñas partículas diferentes tipos de plantas (Naranjo Vargas et al., 2019).

Al estar enfocadas en otro material a procesar, debemos tener en cuenta otros factores, como la abrasión y la oxidación, hay factores que dependen del material a procesar como: contenido de humedad, etapa de crecimiento, variedad de maguey o nopal, entre otros (Pulido-Delgado et al., 2021).

Además de encontrar mejoras al momento de fabricación, se determinó la influencia del ángulo de alimentación constante y el momento de inercia sobre el calibre de las partículas desmenuzadas por las picadoras de forraje del tipo de tambor con alimentación manual (de las Cuevas-Milán et al., 2024)-

Funcionamiento

Estas máquinas utilizan un motor que puede ser tanto eléctrico como a gasolina, manejan grupos de cuchillas dentro de una caja con una entrada para depositar el material. Se acopian en la tolva principal de la trituradora y en un solo paso se activa el interruptor para que esta haga el trabajo requerido (Rodríguez Alvarado & Córdova Cabada, 2022).

Para dimensionar equipos de corte que utilizan cuchillas rotatorias se requiere determinar el esfuerzo de corte del material y la velocidad lineal de las cuchillas en el funcionamiento del equipo. Estos valores son determinados experimentalmente para los distintos tipos de materiales vegetales. En general, se recomiendan velocidades de corte entre 25 a 30 m/s, con un ángulo de filo de la cuchilla en el rango de 20° a 45° (Castro Valladares et al., 2017).

Para un corte efectivo la energía de corte debe entregarse en el tiempo adecuado y para ello se debe seleccionar un motor que rote a la velocidad apropiada. La velocidad de rotación del motor es función de la velocidad lineal que debe encontrarse en el rango definido anteriormente (mayor a 20 m/s) y del diámetro 16 que tiene el disco de sujeción de las cuchillas rotatorias (Castro Valladares et al., 2017). La forma más adecuada de almacenar y distribuir de forma segura es mediante el uso de tolvas (Molina Falcón & Cadena Paspuezán, 2018).

Materiales

El bastidor debe estar diseñado para soportar todas las cargas estáticas y dinámicas a las que estará sometido durante su operación. Esto incluye cargas producidas por el peso de los componentes de la máquina, las fuerzas generadas durante el proceso de picado y los efectos dinámicos del rotor en movimiento. Las tensiones inducidas en la estructura no deben superar los valores admisibles para los materiales seleccionados, asegurando que no se produzcan roturas ni fallos estructurales durante la vida útil del equipo (Garmendia Rodríguez, 2024).

Las correas se las utiliza cuando los ejes son demasiado lejanos uno del otro, estas se las utiliza para no colocar ruedas dentadas muy grandes, y las mismas ayudan a que el sistema de transmisión sea más silencioso (Simbaña Caiza & Trejo Pallacho, 2024).

En cuanto a ejes y cuchillas, para su máquina trituradora, Chinchilla Linares (2023) dice que, está compuesto por un eje de acero AISI 1045, seis porta-cuchillas del mismo material y seis cuchillas fabricadas en acero AISI D2 el cual es especial para la realización de estas piezas debido a la alta resistencia al desgaste, tenacidad, alta dureza y estabilidad dimensional posterior al tratamiento.

Para su máquina, Pasquel Toapanta & Ulcuango Conlago (2022) la cuál fue diseñada para tener una entrada de 100 kg/h genera el siguiente costo:

Tabla 3. Gastos de Material

IT E M	Descripción	Un ida d	Can tida d	Valor unitario en dólares	Valor Total en dólares
1	Plancha retazo ASTM A-36 (610>350X2) mm	u	1	40.00	40.00
2	Plancha retazo ASTM A-36 (400X400X12) mm	u	1	50.45	50.45
3	Plancha retazo ASTM A-36 (1220X2440X5) mm	u	1	71.50	71.50
4	Acero k-460 (135X83X8) mm 3 unidades	kg	2.5 2	7.10	17.90
5	Angulo de acero ASTM A-36 (50X50X5) mm X 8m	u	1	23.00	23.00
6	Acero de trans. AISI 1Φ1802" X 1 m	kg	3.1 52	3.10	9.77
7	Polea doble canal 05"	u	1	8.50	8.50
8	Polea doble canal 02"	u	1	6.25	6.25
9	Chumacera de piso	u	2	19.25	38.00
10	Banda trapezoidal 1	u	2	13.10	26.20
11	Motor 2 HP marca Honda	u	1	250.00	250.00
12	Pernos 5/16 X 1 pulgada con tuerca	u	2	0.94	1.88
13	Perno 5/16 X 1/2" hexagonal rosca fina	u	2	0.80	1.60
14	Rodela plana 5/16 fina	u	7	0.13	0.91
15	Pernos galvanizados 5/16X2 con tuerca y rodelas	u	4	1.21	4.84
16	Pernos galvanizados 3/8X1 con rodelas	u	12	1.56	18.72
17	Pernos galvanizados 1/2X2 con rodelas	u	2	1.11	2.22
18	Electrodos E6018	u	10	3.50	35.00
SUBTOTAL 571.74					
IVA 12% 68.00					

TOTAL 640.34

(Pasquel Toapanta & Ulcuango
Conlago, 2022)

Patentes

Hoy en día en el mercado existe una gran variedad de máquinas picadoras destinadas a la producción de abonos o residuos de estos, sus precios varían dependiendo el material, la cantidad de material que van a expulsar y del tamaño de esta.

En su máquina, ANURAG VARSHNEY & YUVRAJ VARSHNEY (2021) explica que es, una extrusora vertical y trituradora con cuchillas combinadas para banano y residuos agrícolas, se extraen y trituran residuos agrícolas, plantas de desecho, hojas y banano mediante nuestra máquina extractora de fibras de tallos, hojas y hojas de plantas naturales.

Para su máquina, Kailas Ghanshyam Ahire et al. (2022) menciona los siguientes materiales: máquina cortadora de pseudotallo de plátano (1) que consta de un bastidor (2), una bancada semicilíndrica (3), una cuchilla desmontable (4), un depósito de aceite (5), una tapa del depósito (6), una bomba de engranajes (7), un motor eléctrico (8), un acoplador (9).

Algunas máquinas presentan cambios en su diseño, por ejemplo, Xuwen Zhiyue Agriculture Tractor-Ploughing Specialized Cooperative (2014) explica que en su máquina. Las cuchillas dobladas pueden agarrar y triturar tallos y rastrojos sobre y bajo tierra, lo que permite un mejor corte de las fibras de los bananos y mejora la eficiencia de trituración. Las cuchillas escalonadas mejoran la eficiencia de aflojamiento del suelo y trituran los rastrojos en la capa inferior del suelo.

DISCUSIÓN

Las máquinas trituradoras y/o picadoras son sumamente importantes para la producción de distintos tipos de materias para la elaboración de productos, como pudimos ver,

varían dependiendo el tipo de material que van a procesar, recurriendo a métodos más fuertes mientras más duro sea este, y para el caso de materias orgánicas tales como guabo, troncos de plátano, aliso, entre otros, utilizan métodos que se componen de más filo que de fuerza. Además, presentan una mayor producción cuanto mayor sea el tamaño, pero restringe la movilidad de las máquinas, para campo, es un punto sumamente importante puesto que los agricultores buscan máquinas que sean fáciles de trasportar, entonces son dos fundamentos inversamente proporcionales, a mayor tamaño, mayor productividad y costo, pero menor capacidad de transporte.

$$T = \frac{P * C}{M}$$

Donde:

T= Tamaño de la máquina

P= Productividad de la máquina

C= Costo de la máquina

M= Transportabilidad

Los costos para fabricación de una máquina de este estilo desde cero y con especificaciones, también suelen ser más altos, puestos que requiere de un cálculo previo sumado al análisis de los componentes para presentar un máquina adecuada y correcta.

CONCLUSIONES

Las máquinas picadoras son indispensables para aprovechar por completo la materia prima de distintos tipos de proyectos, generando así mayor ingreso para las empresas, por otro lado, también son máquinas que se pueden desempeñar como eje principal de un negocio, aumentando su costo al producirla debido a que deben abordar más producción.

La banana es una planta que deja demasiados residuos los cuales pueden ser muy bien aprovechados para la elaboración de otro tipo de derivados, para ello el debido tratamiento

de estos residuos es indispensable, y las máquinas que permiten esta interacción son un punto de auge en cuanto a proyectos, generar una que permita el corte de las plantas, a nivel del agricultor, genera un aporte extra para sus ingresos.

Para fabricar una máquina a pedido, los precios son más altos debido a que se debe realizar cálculos de los elementos utilizados, la

resistencia de los materiales, la durabilidad, el motor a usar, los elementos de la máquina, además que se debe fabricar moldes para piezas específicas cómo podría ser la base del disco de corte.

Al Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente-CEBA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abanto Alarcon, J. M. (2020). *Diseño de una máquina trituradora de eje horizontal de 15 tn/día para aumentar la producción de alimentos en la industria ganadera en la zona rural de Cayaltí*. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.
2. Ahmad, T., & Danish, M. (2018). Prospects of banana waste utilization in wastewater treatment: A review. *Journal of Environmental Management*, 206, 330-348. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.061>
3. Alzate Acevedo, S., Díaz Carrillo, Á. J., Flórez-López, E., & Grande-Tovar, C. D. (2021). Recovery of Banana Waste-Loss from Production and Processing: A Contribution to a Circular Economy. En *Molecules* (Basel, Switzerland) (Vol. 26, Número 17). NLM (Medline). <https://doi.org/10.3390/molecules26175282>
4. ANURAG VARSHNEY, & YUVRAJ VARSHNEY. (2021). EXTRUSORA VERTICAL Y TRITURADORA DE CUCHILLAS COMBINADAS PARA PLÁTANO, RESIDUOS AGRÍCOLAS (Patent 202111059344).
5. Avilez Arévalo, R. S., & Ochoa Guaraca, S. D. (2021). *Diseño de una máquina trituradora-extrusora de residuos de impresiones 3D para la empresa ALIUM EC ubicada en la ciudad de Cuenca*. Universidad Politécnica Salesiana.
6. Campo Vélez, N. R., & Ipiales Coque, C. O. (2022). *Diseño y construcción de una máquina automática trituradora de la mazorca de maíz*. Universidad Politécnica Salesiana.
7. Castro Valladares, L. D., Loayza Paredes, F. R. D., & Romero Muñoz, J. R. (2017). *Diseño y modelado virtual de una máquina picadora de hojas de banano*. Espol.
8. Chinchilla Linares, A. M. (2023). *Diseño de sistema de trituración para trituradora de plástico de alta densidad*. Universidad del Valle de Guatemala.
9. de las Cuevas-Milán, H. R., Gómez-Ravelo, I., Rodríguez-López, Y., Paneque-Rondón, P. P., Hernández-Cuello, G., & Pérez-Petitón, Y. (2024). Indicadores tecnológicos y de explotación de la picadora de forraje RSA/30, para el desmenuzado de yuca. *Ingeniería Agrícola*, 14(3), <https://cuid.com/2284/v14n3e04>. <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/1895>
10. Garmendia Rodríguez, I. (2024). *Diseño y cálculo del bastidor de una picadora de carne industrial: solución 1*. Universitat Politécnica de València.
11. Guzmán Guzmán Juan Alex, & Grandes Merizalde Neisser Alexander. (2018). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TRITURADORA PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN LA FLORÍCOLA ADELFLOWERS*. Universidad Técnica de Cotopaxi.
12. JIAOZUO ZHONGXIN HEAVY INDUSTRY. (2022, febrero 24). *Molino de Bolas*. Equipos para la recuperación de mina.
13. Kailas Ghanshyam Ahire, Jenish Pareshkumar Gandhi, Vishal Murlidhar Patil, Rushikesh Vijay Patil, Gopal Sanjay Pawar, Kripanarayan S. Shukla, & Milan R. Patel. (2022). *MÁQUINA CORTADORA DE PSEUDOSTALLO DE PLÁTANO Y SU MÉTODO* (Patent 202121055631).

14. Lasluisa Albán, W. L. (2022). *Diseño de una máquina picadora de forraje y trituradora de granos de maíz empleada para la elaboración de alimentos de bovinos: Diseño de los módulos concernientes al proceso de trituración de granos de maíz*. EPN.
15. León Ajila, J. P., Espinosa Aguilar, M. A., Carvajal Romero, H. R., & Quezada Campoverde, J. (2023). Análisis de la producción y comercialización de banano en la provincia de El Oro en el periodo 2018-2022. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria*, 7(1), 7494-7507. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4981
16. Maritza Balcazar, & Juan Guamba. (2009). *Diseño de un triturador de cacao*. EPN.
17. Mohd Zaini, H., Roslan, J., Saallah, S., Munsu, E., Sulaiman, N. S., & Pindi, W. (2022). Banana peels as a bioactive ingredient and its potential application in the food industry. *Journal of Functional Foods*, 92, 105054. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105054](https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105054)
18. Molina Falcón, I. V., & Cadena Paspuezán, J. S. (2018). *Diseño y construcción de una picadora de papas, zanahoria y plátano para la alimentación de ganado vacuno de capacidad de 20 quintales por hora*. EPN.
19. Naranjo Vargas, E. M., Santillán Mariño, C. J., García Madroñero, D. B., & Pilco Ruiz, R. E. (2019). Creación de una máquina picadora y trituradora de especies forrajeras para alimentación de ganado en la provincia de Chimborazo, parroquia Calpi. *Ciencia Digital*, 9(2), 109-123. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v9i2.378>
20. Pasquel Toapanta, D. J., & Ulcuango Conlago, R. P. (2022). *Diseño y construcción de una máquina picadora de desechos florícolas con capacidad de 100 kg/h para la Finca San Fernando Comunidad Santo Domingo N°1-cantón Cayambe*. Universidad Politécnica Salesiana.
21. Patil, H., Naik, R., & Paramasivam, S. K. (2024). Utilization of banana crop ligno-cellulosic waste for sustainable development of biomaterials and nanocomposites. *International Journal of Biological Macromolecules*, 282, 137065. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.137065>
22. Pulido-Delgado, J. L., Duran García, H. M., Ávila Galarza, A., Vasilevich Krasnoschekova, Y., & Vladimirovna Krasotina, L. (2021). Diseño de una picadora de pencas de maguey y nopal. *Acta Universitaria*, 31, 1-6. <https://doi.org/10.15174/au.2021.2580>
23. Rodríguez Alvarado, B. G., & Córdova Cabada, C. J. (2022). *Diseño de un prototipo de una máquina trituradora de plástico*. Universidad Politécnica Salesiana.
24. Simbaña Caiza, C. G., & Trejo Pallacho, B. S. (2024). *Construcción de una máquina picadora de frutas para la asociación de trabajadores autónomos la dolorosa de facundo vela provincia de Bolívar*. Universidad Politécnica Salesiana.
25. Tapia Chiriboga, A. N. (2022). *Diseño de una máquina picadora de forraje y trituradora de granos empleada para la elaboración de alimento de bovinos: diseño de una máquina picadora de forraje y trituradora de granos empleada para la elaboración de alimento de bovinos*. EPN.
26. Xuwen Zhiyue Agriculture Tractor-Ploughing Specialized Cooperative. (2014). *Máquina para triturar bananos y devolver los bananos triturados a las tierras de cultivo*. (Patent 201420825304.7).
27. Zhiminaicela Cabrera, J. B., Quevedo Guerrero, J. N., & García Batista, R. M. (2020). LA PRODUCCIÓN DE BANANO EN LA PROVINCIAL DE EL ORO Y SU IMPACTO EN LA AGROBIODIVERSIDAD. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 3(3), 189-195. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=721778107024>

Citar artículo: Buitrón-Rúales, A. D., Mejía-Echeverría, C. D., Pineda-Insuasti, J., Pineda-Soto, A. Coello-Vargas, M. (2025). Máquinas trituradoras y picadoras de seudo tallo de banano (*Musa spp.*): una revisión. Biorrefinería 8 (1). Obtenido de <https://cebaecuador.org/publicaciones/revista-biorrefineria/>

Información de revisión por pares: Revista Biorrefinería agradece a los revisores anónimos por su contribución a la revisión por pares de este trabajo utilizando <https://reviewerlocator.webofscience.com/>.

Acceso abierto: Todos los artículos publicados por Revista Biorrefinería son accesibles en línea de forma gratuita y permanente inmediatamente después de su publicación, sin cargos de suscripción ni barreras de registro.

Nota del Editor: Revista Biorrefinería se mantiene neutral con respecto a reclamos jurisdiccionales en mapas publicados y afiliaciones institucionales.

Copyright: © 2024 por los autores. Presentado para posible publicación en acceso abierto bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



HONGO OSTRA (*Pleurotus spp.*)

Full Spectrum Extract

- Antiviral
- Anti-Bacterial
- Reductor de colesterol
- Regulador presión sanguínea
- Tónico para los nervios

NS: 26544-ALN-0820

CONTACTO: Dr. Julio Pineda Insuasti, PhD
info.biodiversity@gmail.com, Cel. +593 99 758 9267
Ibarra-Ecuador

SCIENTIFIC PARTNER: <https://cebaecuador.org/>
inf.ceba@gmail.com, Cel + 593 99 579 7813. Ibarra-Ecuador



Champiñón Ostra (*Pleurotus spp.*)

Full Spectrum Extract

Proteína: 21,4% (BS)

Beneficios: Mejora el Sistema Inmunológico, Acción Antioxidante, Salud Cardiovascular, Propiedades Antiinflamatorias, Salud Hepática, Mejora la Salud Intestinal, Apoyo a la Salud Ósea, Potencial Antitumoral

CONTACTO: Dr. Julio Pineda Insuasti, PhD
info.biodiversity@gmail.com, Cel. 099 579 7813.
Ibarra-Ecuador

SCIENTIFIC PARTNER: <https://cebaecuador.org/>
inf.ceba@gmail.com, Cel + 593 99 579 7813.
Ibarra-Ecuador



ANÁLISIS Y CLASIFICACIÓN DE TURBINAS EÓLICAS: REVISIÓN

ANALYSIS AND CLASSIFICATION OF WIND TURBINES: REVIEW

Daniel Gustavo Yépez-Cifuentes¹, Cosme Damián Mejía-Echeverría¹, Julio Pineda-Isuasti², Alejandro Pineda-Soto^{2,3}, Melany Coello-Vargas¹

¹Universidad Técnica del Norte-UTN. Ibarra, Ecuador

²Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente-CEBA. Ibarra, Ecuador

³Universidad de Investigación de Tecnología Experimental- YACHAY. Urcuquí, Ecuador.

Autor para correspondencia: dgyepezc@utn.edu.ec

Recibido: 19/04/2025

Aceptado: 19/05/25

RESUMEN

Existe limitado conocimiento sobre el desarrollo y fabricación de turbina eólicas en Ecuador, la demanda de energía renovable crece, pero la elección del tipo de turbina depende de eficiencia, espacio y condiciones del viento. Las turbinas de eje horizontal son más eficientes y comunes en parques eólicos, mientras que las de eje vertical, aunque menos eficientes, son versátiles y adecuadas para entornos urbanos. Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente, ha desarrollado un prototipo escala de laboratorio de turbina eólica tipo Arquímedes. La selección debe considerar necesidades energéticas y condiciones ambientales para maximizar el aprovechamiento de la energía eólica.

Palabras claves: Arquímedes, espiral, eficiencia energética, sostenible, LIAM F1.

ABSTRACT

There is limited knowledge about the development and manufacturing of wind turbines in Ecuador. Demand for renewable energy is growing, but the choice of turbine type depends on efficiency, space, and wind conditions. Horizontal-axis turbines are more efficient and common in wind farms, while vertical-axis turbines, although less efficient, are versatile and suitable for urban environments. The Ecuadorian Center for Environmental Biotechnology has developed a laboratory-scale prototype of an Archimedes-type wind turbine. The selection should consider energy needs and environmental conditions to maximize wind energy utilization.

Keywords: Archimedes, Energy efficiency, LIAM F1, Spiral, Sustainable

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, la energía eólica ya está siendo aprovechada en la Isla San Cristóbal con una capacidad de 2,4 MW; en la provincia de Loja, en el cerro Villonaco, con una potencia instalada de 16,5 MW; en la Isla Baltra se concluyó con una capacidad de 2,25 MW. El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable cuenta con el “Atlas Eólico del Ecuador”, que permite conocer las zonas potenciales para el

aprovechamiento energético en el Ecuador (Mercurio, 2022).

El Parque Eólico Minas de Huascachaca concluye ELECAUSTRO S.A., con un gran potencial para generar 50 Megavatios, evitando la generación de 94.000 toneladas de CO₂ por año y ahorrando al país el consumo de más de 7,5 mil millones de galones anuales de combustible fósil. Suministrará electricidad a 90.000 hogares, obteniéndose una generación

neta anual de 126,5 Gigavatios hora, mediante 14 aerogeneradores (Mercurio, 2022).

Turbina eólica

Las turbinas eólicas tienen como función principal convertir de la manera más eficiente la energía del viento en energía eléctrica. Existen varios tipos: turbinas eólicas de eje vertical, de eje horizontal, de velocidad variable, de velocidad fija, etc., pero actualmente las de eje horizontal y velocidad variable son el tipo más común, principalmente debido a sus capacidades superiores de captura y de producción de energía (Horacio Coral-Enríquez, John Cortés Romero, Germán A. Ramos, 2014).

La energía eólica ya era útil en la antigüedad cuando se utilizaba para propulsar barcos y moler grano en diversas partes del mundo. Más tarde, los molinos de viento (Ignacio Martíl de la Plaza, 2024).

Leonardo Da Vinci, Galileo y Descartes, entre otros, realizaron estudios teóricos y matemáticos sobre las ruedas hidráulicas. Parent, postuló una relación óptima entre la velocidad de la rueda y la velocidad de la corriente de agua. Con el comienzo de la revolución industrial, el uso de molinos se redujo significativamente, ya que a partir de ese momento las fuentes principales de energía pasaron a ser las máquinas de vapor alimentadas por carbón y electricidad (Córdova, 2002).

“La primera turbina eólica para generar energía eléctrica fue diseñada y construida a principios del siglo XX por el Danés Poul La Cour” (MEJÍA, 2016).

El desarrollo de materiales compuestos avanzados ha sido un factor clave para mejorar el rendimiento y la eficiencia de las turbinas eólicas. Estos materiales ofrecen una combinación de alta resistencia, bajo peso y durabilidad que es crucial para el tamaño cada

vez mayor de las turbinas eólicas modernas (López, 2024).

Cambio climático local

Según los últimos informes de la ONU, (2021) miles de científicos y revisores gubernamentales coincidieron en que limitar el aumento de la temperatura global a no más de 1,5 °C nos ayudaría a evitar los peores impactos climáticos y a mantener un clima habitable. Sin embargo, las políticas actuales apuntan a un aumento de la temperatura de 2,8 °C para finales de siglo.

Las regiones Costa, Sierra, Amazonía e Insular enfrentan fenómenos como incendios forestales, sequías y lluvias torrenciales, que alteran profundamente el equilibrio natural del país (UTPL, 2024).

Miranda, (2024) señala que “Ecuador sufrirá graves impactos en su economía y desarrollo como producto del calentamiento global. Se estima que hasta 2050 se podría reducir el PIB per cápita en 4 %”.

Ecuador cuenta con un potencial relevante de una variedad de fuentes de energía renovables que incluyen la energía hidráulica, solar, eólica, geotérmica y de biomasa y con recursos hídricos adecuados, condiciones que representan la base para su participación en la cadena de valor global del hidrógeno verde y sus derivados (Ministerio de Energía, 2023).

MATERIALES Y MÉTODOS

Para garantizar un análisis exhaustivo y actualizado se llevó a cabo una búsqueda sistemática de información en bases de datos científicas y repositorios con alto impacto en el área de la ingeniería y energías renovables como: Scopus, Science Direct, Scielo y el gestor de búsqueda GoogleScholar.

Los criterios de selección se basaron en una temporalidad de 5 años, accesibilidad a artículos de texto completo y similitud del tema de investigación. Como estrategia de

búsqueda se utilizaron palabras clave como: "turbinas", "espiral de Arquímedes", "energía renovable", "LIAM F1" y operadores booleanos "AND", "OR" y "NOT" para mejorar la precisión de los resultados.

RESULTADOS

La tendencia de los aerogeneradores recae en una configuración horizontal de sus ejes o HAWT's; debido a su gran capacidad de generación dentro de un área específica. Para la implementación de estos se requiere una serie de estudios que garanticen su viabilidad: estudios anemométricos, de suelo, proyecciones de generación, fluctuación de la dirección del viento y el impacto medioambiental que puede ocasionar (...). Los HAWT's son proyectos complejos que no pueden competir en mercados a microescala por las exigentes condiciones de operación que enfrentan (Eduard Matheo Alave Vargas ,Renán Orellana Lafuente,Daniel Felipe Sempértegui Tapia, 2022).

Clasificación de Aerogeneradores

Mejía, (2016) describe dos tipos principales: las turbinas de eje vertical, como las Darrieus, y las de eje horizontal. Las turbinas de eje vertical, con sus aspas curvas y simétricas, tienen la ventaja de no requerir orientación al viento, lo que las hace ideales para entornos urbanos donde la dirección del viento puede variar. Por otro lado, las turbinas de eje horizontal, con su góndola que alberga el generador y la caja de engranajes, son más comunes en parques eólicos a gran escala, donde la dirección del viento es más constante.



Figura 1 Darrieus Turbina

El aerogenerador tipo Giromill, las palas fueron reemplazadas por perfiles aerodinámicos rectos de diferentes geometrías, las cuales suelen poseer una alta fuerza de sustentación. Las configuraciones constructivas más comunes son aquellas basadas en 3 palas, donde pueden poseer un ángulo de ataque fijo o variable (...). Dentro de estas también entran los aerogeneradores tipo H, las cuales también presentan un rango de variación en cuanto a las configuraciones comercialmente disponibles. La Figura 2 presenta un Darrieus tipo Giromill (Eduard Matheo Alave Vargas ,Renán Orellana Lafuente,Daniel Felipe Sempértegui Tapia, 2022).



Figura 2 Darrieus de tipo Giromill.

La turbina eólica espiral de Arquímedes, una turbina de tipo arrastre de eje horizontal, tiene una eficiencia aerodinámica ligeramente mayor que las de las turbinas eólicas de tipo arrastre de eje vertical (Jang, H., Kim, D., Hwang, Y., Paek, I., Kim, S., Baek, J, 2019).

El molino de viento de Arquímedes es un nuevo tipo de turbina eólica que comprende tres palas circulares que se envuelven entre sí y luego se expanden. Esto crea una turbina cónica tridimensional, similar a las conchas alargadas que se encuentran en la playa. El diseño especial garantiza que el viento se arrastre

hacia la turbina. El rendimiento promedio es muchas veces mayor en comparación con una hélice de molino de viento urbano normal (Archimedes, 2023).



Figura 3 Liam F1

El principio de Arquímedes nos indica que "todo cuerpo sumergido dentro de un fluido experimenta una fuerza ascendente llamada empuje, equivalente al peso del fluido desalojado por el cuerpo" (Vite, 2016).

La turbina LIAM F1 es una de las turbinas eólicas más silenciosas disponibles. Su diseño reduce la contaminación acústica, perfecto para zonas residenciales donde el ruido es una preocupación. "Como todas las turbinas eólicas, el Liam F1 ayuda a reducir las emisiones de carbono al generar energía limpia." (Tarantino, 2024). Con funcionamiento contra viento, eje horizontal, rotor de tres aspas, generador de transmisión directa. Fue el primer aerogenerador mexicano y el primer sistema eólico de imanes permanentes de tracción directa del mundo. Logrando 4 patentes y convirtiéndose en el estándar del mercado. (Potencia Industrial MX, 2007).



Figura 4 Turbina "El colibrí"

Las turbinas eólicas ZONHAN están hechas de acero fundido fuerte que las hace duraderas. Las turbinas eólicas ZONHAN pueden soportar ambientes hostiles como vientos fuertes y clima frío. Utilizando un imán permanente NdFeB de alto rendimiento, el alternador es altamente eficiente y compacto. El diseño único del electroimán hace que la fuerza de unión y la velocidad de corte sean muy bajas (Zonhan Wind Turbine, 2024).



Figura 5 Turbina ZONHAN 2.5KW

En Ecuador, el mercado de turbinas eólicas aún no ha alcanzado la madurez de un mercado emergente. Sin embargo, al investigar, se ha encontrado una disponibilidad de estas tecnologías en países más desarrollados como China, México y Holanda. Este contraste subraya la importancia de explorar y adaptar estas soluciones a la realidad ecuatoriana, abriendo un camino prometedor hacia la diversificación de nuestras fuentes de energía.

Rendimiento

Tabla 1. Especificaciones técnicas ZONHAN 2.5KW.

Diámetro del rotor (m)	3.8
Material y número de las cuchillas	Fibra de vidrio reforzada*3
Potencia nominal/potencia máxima	2500/3200w
Velocidad nominal del viento (m/s)	9
Velocidad del viento de arranque (m/s)	2.5
Velocidad del viento de trabajo (m/s)	3~25
Velocidad del viento sobrevivida (m/s)	45
Velocidad de rotación nominal (r/min)	320
Tensión de trabajo	CC48V/120V/240V /300V
Estilo generador	Trifásico, imán permanente
método de carga	Ahorro de corriente de voltaje constante
Método regulación velocidad	Guiñada + Freno automático
Peso	85kg
Altura de la torre (m)	9
Capacidad de batería sugerida	Batería de ciclo profundo de 12V/200AH 8 piezas
Toda la vida	15 años

En el caso del aerogenerador Liam F1

THE WIND TURBINE		
	AWM - 750D	AWM - 1500D
POWER	ELECTRIC	100W
	KINECTIC	150W
WIND SPEED	CUT IN	3m/s (OPERATING)
	RATED	12.5m/s
BLADE RPM	CUT OUT	14 m/s
	SURVIAL	35 m/s
SIZE	RATED	550
	CUT OUT	600
ROTOR DIAMETER	750 mm	1500 mm
SWEPT AREA	0.44 m ²	1.77 m ²
NET WEIGHT	60Kg	280kg
CONTROL SYSTEM	Mppt control Auto & Manual Braking System	

Figura 6 Especificaciones Liam F1

Tabla 2. Especificaciones Técnicas “El colibrí”

Variable	Modelo 5kW	Modelo 10kW
Velocidad de viento de inicio	3m/s	3m/s
Velocidad para comenzar a generar	3.5m/s	3.5m/s
Velocidad para detener la generación	15m/s	15m/s
Potencia	5kW	10kW
Potencia Máxima	6.5kW	14kW
Velocidad de Viento Máxima		
Diseño - 54m/s (120MPH)	54m/s	54m/s
Probado Sobre	31m/s	31m/s
Control de Sobre Velocidad		
Desvío Automático del Rotor	14-25m/s	14-25m/s
Velocidad del Rotor	160-250 rpm	160-250 rpm
Peso	1150 lbs	1150 lbs

Experimentos

Safdari (2015), construyó un modelo a escala de turbina eólica espiral de Arquímedes y predijo la eficiencia aerodinámica a través del análisis CFD. En su estudio, se predijo el coeficiente de potencia máximo de 0,25. Kim determinó la potencia de una turbina eólica

espiral de Arquímedes a través de una simulación CFD. Ambos investigadores realizaron una validación experimental, sin embargo, realizaron experimentos para la caracterización del flujo alrededor del rotor utilizando la medición PIV, pero no realizaron experimentos sobre el rendimiento de la turbina.

Pineda (2024) “Un proceso a escala de laboratorio para la producción de energía eólica con la turbina tipo espiral de Arquímedes, a partir de la fuente de viento disponible, que permita el máximo aprovechamiento de los recursos naturales.”. La eficiencia mecánica respecto de la eficiencia de generación eléctrica es una de las principales características, la turbina de Arquímedes es un tipo de turbina de arrastre de eje horizontal que no puede ser analizada por métodos tradicionales como la teoría del Elemento de Momento de la Cuchilla (BEM) o el Método de Doble Tubo de Corriente (DSTM). En su lugar, se utiliza la dinámica de fluidos computacional (CFD) para evaluar su rendimiento. Los estudios han mostrado que el coeficiente de potencia máximo, que indica la eficiencia mecánica del rotor, es de 0.293 con una relación de velocidad de punta de 2.19. (Julio Pineda, Ángela León, Alejandro Pineda, 2024)

El molino de viento de Arquímedes es un nuevo tipo de turbina eólica que comprende tres palas circulares que se envuelven entre sí y luego se expanden. Esto crea una turbina cónica tridimensional, similar a las conchas alargadas que se encuentran en la playa. El diseño especial garantiza que el viento se arrastre hacia la turbina. El rendimiento promedio es muchas veces mayor en comparación con una hélice de molino de viento urbano normal (Archimedes, 2023).

Patentes

En la patente AU2023237155 destaca en que dirige el viento hacia las palas del aerogenerador y elimina la resistencia al viento

en el lado opuesto para otras palas del mismo aerogenerador. Se trata de una innovación única con unos principios de funcionamiento únicos que aumentan instantáneamente la eficiencia del aerogenerador al máximo. Todo esto combinado nos permite construir aerogeneradores para cualquier aplicación. Aerogenerador Vertical con Viento Navegado Dibujo.

La presente invención se refiere a un eje vertical viento turbina sistema que comprende: una placa plana instalada rotativamente; un primer y un segundo eje vertical viento turbina instalado en línea en la superficie superior de la placa plana e incluyendo un eje de rotación y una pluralidad de cuchillas instaladas radialmente en el eje de rotación, respectivamente; un tercer eje vertical viento turbina instalado delante del primer y segundo eje vertical viento turbinas para formar una configuración triangular con el primer y segundo eje vertical viento turbinas, e incluyendo un eje de rotación y una pluralidad de palas instaladas radialmente en el eje de rotación (Corea Patente nº WO/2011/049280, 2010).

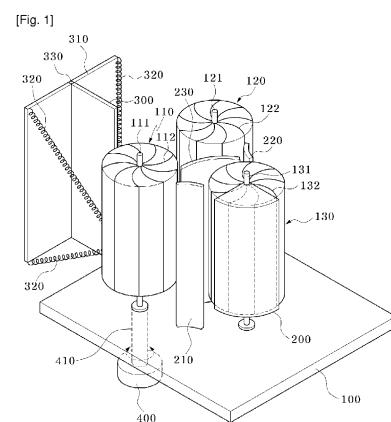


Figura 7 Patente WO/2011/049280

La patente comprende en una turbina eólica, un pilar que soporta la turbina eólica, y una base giratoria en la que se proporcionan un engranaje giratorio y un eje de base giratoria, y girando el engranaje giratorio 360 grados o más, la turbina eólica sola o junto con el pilar puede girar 360 grados o más en la dirección

circunferencial del eje de rotación del engranaje giratorio (Japón Patente nº JP2013060942, 2012).

En la patente se plantea una idea innovadora proporciona una cimentación de turbina eólica flotante en alta mar, una turbina eólica en alta mar y un método de instalación para una turbina eólica en alta mar. La cimentación de turbina eólica incluye una plataforma de soporte, una serie de flotadores, y una serie de brazos móviles, la serie de brazos móviles distribuidos en una dirección circunferencial a lo largo de la plataforma de soporte, un extremo de cada brazo móvil conectado de forma móvil a la plataforma de soporte y el otro extremo provisto de un flotador, la serie de brazos móviles con una primera posición y una segunda posición, y la altura de un extremo de cada brazo móvil provisto de un flotador en la primera posición mayor que la altura de dicho extremo en la segunda posición, y la plataforma de soporte en la misma posición cuando se transporta la turbina eólica en alta mar, así como en la misma posición cuando se trabaja en turbinas eólicas en alta mar. y en la misma posición cuando el aerogenerador marino está en funcionamiento, véase en la Figura 8 (China Patente nº CN112377372 , 2022).

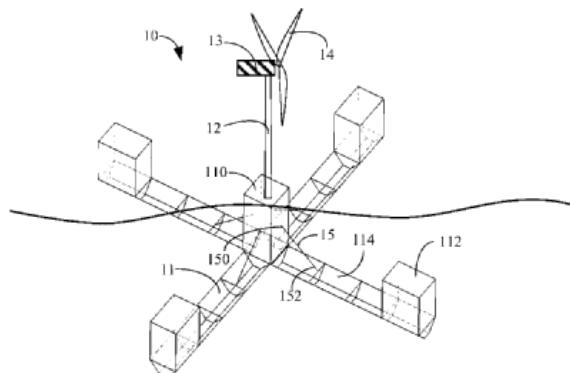


Figura 8 Patente CN112377372

CONCLUSIONES

El país ha avanzado en la implementación de proyectos eólicos, como Villonaco y Minas de Huascachaca, demostrando su potencial para la generación de energía limpia y sostenible. Sin embargo, aún queda un camino por recorrer para consolidar el mercado de turbinas eólicas en el país.

Se ha evidenciado que los aerogeneradores de eje horizontal (HAWT) dominan el sector por su mayor eficiencia y capacidad de generación, aunque las turbinas de eje vertical presentan ventajas en entornos urbanos.

Diseños comerciales como la turbina espiral de Arquímedes (Liam F1) han mejorado la eficiencia aerodinámica y reducido el impacto ambiental, especialmente en términos de contaminación acústica y compatibilidad con zonas residenciales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Archimedes, T. (2023). *Thearchimedes*. Obtenido de <https://thearchimedes.com/>
2. Arman Safdari, Kyung Chun Kim. (2015). Aerodynamic and Structural Evaluation of Horizontal Archimedes Spiral Wind Turbine. *n Energy Technologies*.
3. Córdova, R. (2002). *Universidad Centroamericana José Simeón Cañas*. Obtenido de <https://www.uca.edu.sv/deptos/ccnn/dlc/pdf/turbinas.pdf>
4. Eduard Matheo Alave Vargas ,Renán Orellana Lafuente,Daniel Felipe Sempertegui Tapia. (2022). *ESTADO DEL ARTE SOBRE AEROGENERADORES DE EJE VERTICAL*. Cochabamba.
5. Factor Energía, F. (23 de Julio de 2023). Obtenido de Factorenergia: <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/energia-eolica/>
6. Horacio Coral-Enríquez, John Cortés Romero,Germán A. Ramos. (2014). *Maximización de captura de energía en turbinas eólicas de velocidad variable usando control proporcional integral generalizado*. Barranquilla.

7. Ignacio Mártil de la Plaza. (16 de Septiembre de 2024). *BBVA*. Obtenido de Historia de la energía eólica: del origen a la actualidad: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/historia-de-la-energia-eolica-del-origen-a-la-actualidad/>
8. Jang, H., Kim, D., Hwang, Y., Paek, I., Kim, S., Baek, J. (2019). Analysis of Archimedes Spiral Wind Turbine Performance by Simulation and Field Test. *Energies Volumen 12*.
9. Julio Pineda, Ángela León, Alejandro Pineda. (30 de Dicembre de 2024). *Biorrefinería*. Obtenido de CEBA Ecuador: <https://cebaecuador.org/wp-content/uploads/2025/01/7-Pineda-2024-Turbina-eolica-escala-laboratorio.pdf>
10. LEE, O. (2010). *Corea Patente nº WO/2011/049280*.
11. López, J. (21 de Agosto de 2024). *Innovación en Turbinas Eólicas de Alto Rendimiento:Los avances en turbinas eólicas de alto rendimiento están transformando la energía renovable*. Obtenido de INSPIRET: <https://inspenet.com/articulo/avances-turbinas-eolicas-de-alto-rendimiento/>
12. Majkic, B. (2023). *Australia Patente nº AU2023237155*.
13. MEJÍA, O. A. (17 de Marzo de 2016). *MILENIO*. Obtenido de <https://www.milenio.com/opinion/varios-autores/universidad-politecnica-de-tulancingo/antecedentes-de-las-turbinas-eolicas>
14. Mercurio, E. (11 de Septiembre de 2022). Obtenido de Energía eólica en el Ecuador: <https://elmercurio.com.ec/2022/09/11/energia-eolica-en-el-ecuador/>
15. Ministerio de Energía. (2023). *Hoja de Ruta del Hidrógeno Verde en Ecuador*. Quito: La Incre S.A.
16. Miranda, J. J. (19 de Septiembre de 2024). *Banco Mundial Blogs*. Obtenido de Cambio climático en Ecuador: Retos y oportunidades para un desarrollo bajo en carbono: <https://blogs.worldbank.org/es/latinamerica/cambio-climatico-en-ecuador--retos-y-oportunidades-para-un-desar>
17. ONU. (14 de Septiembre de 2021). *¿Que es el cambio climático?* Obtenido de Acción por el Clima: <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change>
18. Potencia Industrial MX. (2007). *Potencia Industrial*. Obtenido de <https://www.potenciaindustrial.com.mx/es/productos/turbina-eolica-colibri.html>
19. SUNAO, I. (2012). *Japón Patente nº JP2013060942*.
20. Tarantino, J. (23 de Octubre de 2024). *The Environmental Blog*. Obtenido de The Environmental Blog: <https://www.theenvironmentalblog.org/2024/10/liam-f1-wind-turbine/>
21. Twenergy. (30 de Octubre de 2019). Obtenido de ¿Cómo se almacena la energía eólica ya en uso? Principales sistemas: <https://twenergy.com/eficiencia-energetica/almacenamiento-de-energia/sistemas-de-almacenamiento-de-la-energia-eolica-ya-en-uso-530/>
22. Universidad de Navarra. (25 de Febrero de 2025). *Biblioguías*. Obtenido de <https://biblioguías.unav.edu/revisionessistemáticas/protocolo>
23. UTPL. (8 de Octubre de 2024). *Impacto del cambio climático en el desarrollo sostenible de Ecuador*. Obtenido de Noticias UTPL: <https://noticias.utpl.edu.ec/impacto-del-cambio-climatico-en-el-desarrollo-sostenible-de-ecuador>
24. Vite, L. (2016). *Academia*. Obtenido de Principio de Arquimedes: https://www.academia.edu/29872819/Principio_de_Arquimedes
25. ZHANG YOULIN, 张. Q. (2022). *China Patente nº CN112377372*.
26. Zonhan Wind Turbine. (2024). *ZONHAN* . Obtenido de <https://zonhan.com/es/product/2500W-Wind-Turbine.html>

Citar artículo: Yépez-Cifuentes, D. G., Mejía-Echeverría, C. D., Pineda-Insuasti, J., Pineda-Soto, A. Coello-Vargas, M. (2025). Análisis y clasificación de turbinas eólicas: revisión. Biorrefinería 8 (1). Obtenido de <https://cebaecuador.org/publicaciones/revista-biorrefineria/>

Información de revisión por pares: Revista Biorrefinería agradece a los revisores anónimos por su contribución a la revisión por pares de este trabajo utilizando <https://reviewerlocator.webofscience.com/>.

Acceso abierto: Todos los artículos publicados por Revista Biorrefinería son accesibles en línea de forma gratuita y permanente inmediatamente después de su publicación, sin cargos de suscripción ni barreras de registro.

Nota del Editor: Revista Biorrefinería se mantiene neutral con respecto a reclamos jurisdiccionales en mapas publicados y afiliaciones institucionales.

Copyright: © 2024 por los autores. Presentado para posible publicación en acceso abierto bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



MELENA DE LEÓN (*Hericium erinaceus*)

- 1. Memoria y Cognición**
2. Claridad mental, enfoque y memoria.
3. Estado de ánimo equilibrado.
4. Salud del sistema nervioso.
- 5. Tratamiento del Alzheimer.**

CONTACTO:

Dr. Julio Pineda Insuasti, PhD.
info_biodiversity@gmail.com, Cel. +593 99 758 9267, Ibarra-Ecuador

SCIENTIFIC PARTNER: <https://cebaecuador.org/>
inf_ceba@gmail.com, Cel +593 99 579 7813. Ibarra-Ecuador

31/12/2025

info.biodiversity@gmail.com



PROCESO ESCALA DE LABORATORIO PARA EL SECADO DEL TALLO DE BANANO (*Musa paradisiaca*)

LABORATORY SCALE PROCESS FOR DRYING BANANA STEMS (*Musa paradisiaca*)

Kevin Vicente Ponce-Calderón¹, Pedro Miguel Barba-Estrella¹, Melany Coello-Vargas¹, Julio Pineda-Insuasti², Alejandro Pineda-Soto^{2,3}

¹Universidad Técnica del Norte-UTN, Ibarra, Ecuador

²Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente - CEBA. Ibarra, Ecuador.

³Universidad de Investigación de Tecnología Experimental -YACHAY. Urcuquí, Ecuador

Autor para correspondencia: kvponce@utn.edu.ec

Recibido: 24/04/2025

Aceptado: 24/05/2025

RESUMEN

El presente estudio determina estadísticamente el tiempo óptimo de secado de *Musa paradisiaca*, analizando la curva de humedad y curva de velocidad de secado del tallo de banano utilizando el método gravimétrico. El secado se realizó en un horno a 105 °C en intervalos de 0.5 horas hasta alcanzar peso constante. Se emplearon muestras de 5 mm de grosor, colocadas en cajas Petri con un peso inicial de 20 gramos. Se realizaron cinco repeticiones del experimento. Los resultados muestran una reducción progresiva del peso con una humedad crítica del 70 % hasta estabilizarse en aproximadamente 2 gramos, lo que indica la eliminación del contenido de humedad.

Palabras clave: gravimetría, banana, secado

ABSTRACT

This study statistically determined the optimal drying time for *Musa paradisiaca* by analyzing the moisture content and drying rate curves of banana stems using the gravimetric method. Drying was carried out in an oven at 105 °C in 0,5-hour intervals until constant weight was reached. Samples 5 mm thick were placed in Petri dishes with an initial weight of 20 grams. Five repetitions of the experiment were performed. The results show a progressive weight reduction at a critical moisture content of 70 % until stabilizing at approximately 2 grams, indicating the elimination of moisture content.

Keywords: gravimetry, banana, drying

INTRODUCCIÓN

El secado es un proceso fundamental en la conservación de materiales vegetales, reduciendo la actividad microbiana y prolongando su vida útil, pues tiene por objeto reducir el contenido en agua del producto hasta un nivel que sea insuficiente para la actividad de las enzimas o el crecimiento de los microorganismos. (FAO, 2022)

La gravimetría es una técnica cuantitativa, es decir, que determina la cantidad de sustancia, midiendo el peso de la muestra al principio y al final del análisis. (INDUSTRIAS ALIMENTARIAS FP, 2022).

La agricultura genera anualmente grandes cantidades de residuos o subproductos que no son aprovechados, de acuerdo con Obregón et al., (2022) en las plantaciones de plátanos,

después de la cosecha y postcosecha, todavía quedan subproductos como cáscaras, raquis, hojas y pseudotallos que pueden contener elementos nutricionales como proteínas, carbohidratos, fibra y otros, que pueden ser utilizados en alimentos para consumo humano o animal y para llegar a esto el análisis de humedad es crucial.

El objetivo de este estudio es determinar el tiempo óptimo de secado del tallo de banano (*Musa spp.*) mediante análisis estadístico de la curva de humedad.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio experimental se realizó en el laboratorio del Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente (CEBA) localizado en la ciudad de Ibarra - Ecuador.

Material vegetal

La materia prima fue obtenida de la parroquia Chaltura, cantón Antonio Ante, provincia de Imbabura, con una altitud de 2.340 msnm, clima templado de 16° promedio de temperatura y coordenadas geográficas: 0° 21' 19" de latitud norte y 78°11' 32" de longitud oeste.

Caracterización de la muestra

Se realizaron cortes transversales del tallo y se tomaron muestras de aproximadamente 5 mm de grosor.



Figura1. Cortes de la muestra

Método gravimétrico

El experimento se realizó mediante el método gravimétrico de secado en horno a 105°C, según la Norma INEN 287. (INEN,2013).

Se registró el peso en intervalos de 0,5 horas hasta alcanzar peso constante, con un peso inicial de 20 g, esta medición se hizo en una balanza TRUPER.



Figura 2. Pesaje de la muestra

Equipo

Se usó un horno eléctrico automático cuya temperatura máxima es 400°C.

Cálculo de humedad

La humedad se calculó con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{masa inicial} - \text{masa seca}}{\text{masa inicial}} \times 100$$

Cálculo de la humedad libre

$$\begin{aligned} \% \text{ humedad libre} &= \text{humedad inicial} \\ &- \text{humedad en equilibrio} \end{aligned}$$

Cálculo de la velocidad de secado

$$\frac{Ax}{At} = -\frac{h. \text{libre } 2 - h. \text{libre } 1}{\text{tiempo } 2 - \text{tiempo } 1}$$

Ecuación de regresión

Se elaboró una ecuación de regresión empírica con un coeficiente de determinación de 0,97

$$y = 2,7762x^2 - 14,274x + 19,058$$

Diseño experimental

Se utilizaron segmentos, colocados en cajas Petri con un peso inicial de 20 gramos. Se realizaron cinco repeticiones para garantizar la confiabilidad de los resultados y se llevó a un análisis estadístico de regresión no lineal polinómica para corroborar si la variable de peso era influenciada por la variable de tiempo y cual fue el punto de estabilidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos muestran una disminución progresiva del peso del tallo de banano a lo largo del tiempo. Inicialmente, el peso de la muestra era de 20 g y se redujo de manera constante hasta estabilizarse en aproximadamente 2 g después de 2 horas. (Figura 3)

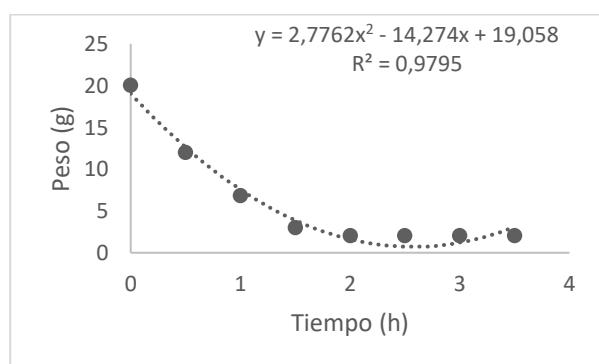


Figura 3. Curva de secado

En esta curva con un ajuste de tendencia polinómica se obtuvo un coeficiente de determinación del 98 % el cual nos indica ser un modelo fiable para previsiones futuras.

En la Tabla 1 se muestran los resultados de la regresión, donde se observa que el valor denominado "Tiempo²" es estadísticamente significativo, con un valor de $p < 0.05$. Este valor indica el punto en el que se estabiliza el peso, lo que ocurre a un tiempo de 2 horas y 78 minutos, con un error estándar de 0.35.

Tabla 1. Coeficientes de regresión

Coef	Est	E.E	LI	LS	T	p-valor
			(95%)	(95%)		
const	6	4	4	8	5	1
Tiempo	7	6	-17,5	5	7	0,0001
Tiempo ²	2	5	1,89	3,66	8,05	0,0005

En la Figura 4 se puede observar la reducción de humedad a lo largo del tiempo. Al principio, al calcular la humedad, se vio que las muestras tenían un 90 % de humedad, la cual fue disminuyendo gradualmente. Para la segunda hora, las muestras ya habían perdido todo su contenido de humedad debido al proceso de secado.

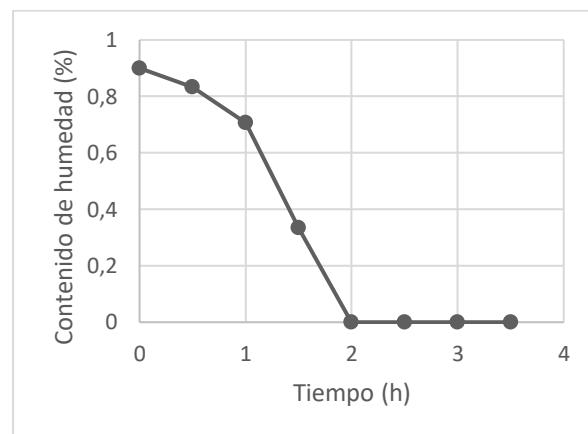


Figura 4. Curva de humedad

En la Figura 5 se muestra el cálculo para obtener la velocidad de secado. Se observó que, al principio, la velocidad de secado fue muy pronunciada. Sin embargo, al alcanzar el 70 % de humedad, se estabilizó, lo que permite determinar que la humedad crítica de secado fue del 70%. Después de esta estabilización, la velocidad de secado comenzó a disminuir lentamente hasta que ya no hubo cinética apreciable, debido a la eliminación de la humedad restante en las muestras.

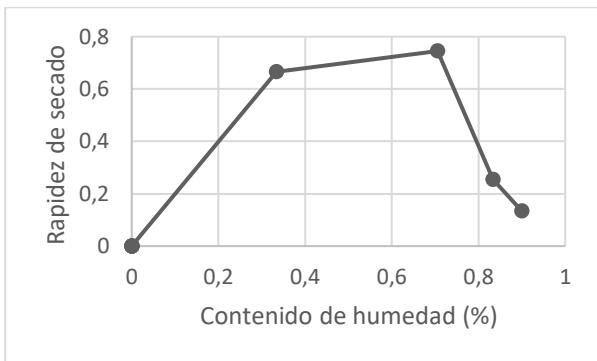


Figura 5. Curva de rapidez del secado

Estos resultados coinciden con los obtenidos en la investigación de Oliveira et al. (2022), en la cual se secaron fibras del pseudotallo. Con una temperatura de 90 °C, lograron una reducción total de humedad después de aproximadamente 2 horas a temperatura constante, lo cual es similar a lo observado en esta investigación.

Por otro lado, en la investigación de Castellanos (2021), se utilizó una temperatura diferente, de 60 °C. En este caso, al ser menor la temperatura de secado, el tiempo necesario para que el peso se estabilizara y la humedad se perdiera se triplicó. Esto sugiere que la temperatura ideal debe ser igual o superior a la utilizada en el estudio mencionado

Patentes

Existen 783 patentes en WIPO (Organización Mundial de la Propiedad Intelectual). Relacionadas a procesos sobre secado del banano

CONCLUSIONES

El tiempo óptimo de secado del tallo de banano es de 2 horas y 78 minutos para alcanzar un peso estable, habiéndose reducido de 20 g a 2 g, lo que indica la pérdida total de humedad durante el proceso.

Existe poca información sobre el tiempo y la temperatura ideales para el secado del tallo de la planta de banano. En este contexto, la presente investigación ofrece resultados esclarecedores que proporcionan una base para estandarizar un método que optimice el proceso de secado. Sin embargo, se requieren más estudios en el futuro sobre variables como el grosor de las muestras y su impacto en la temperatura de secado, para poder optimizar este proceso a escala industrial

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica del Norte y Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente (CEBA) por el apoyo en la presente investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Castellanos Bonilla, R. E. (2021). *OBTENCIÓN A NIVEL LABORATORIO DE FIBRA ALIMENTARIA DE LOS DESECHOS ORGÁNICOS DEL BANANO (Musa x paradisiaca) PROVENIENTES DE UNA FÁBRICA DE ALIMENTOS Y SU ACEPTABILIDAD COMO MATERIA PRIMA EN LA PRODUCCIÓN DE GALLETAS* (Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala).
2. FAO. (2022). Metodos de conservación de frutas hortalizas y raíces <https://www.fao.org/4/t0073s/t0073s08.htm>
3. Industrial Alimentaria FP. (2022). Gravimetrías. *Industrial Alimentaria*. <https://industrialimentariafp.com/2022/02/03/gravimetrías/>
4. Obregón Lujerio, A. F., Saavedra Gatica, R. E., Vela Paredes, R. S., & Arce Saavedra, T. (2022). Optimización del secado del seudotallo de plátano (*Musa paradisiaca*) y su potencial uso como material vegetal biodegradable Optimization of the drying of banana pseudostem (*Musa paradisiaca*) and its potential use as biodegradable plant. *Revista Científica I+ D Aswan Science*, 2(1), 2709-894X.

5. Oliveira, G. Q., do Nascimento, R. A., Costa, J. F., Santana, E. B., Costa, C. M. L., & Ribeiro, N. F. D. P. (2022). Drying of banana pseudo-stem fibers: evaluation of kinetic models, effective diffusivity, thermodynamic properties, and structural characterization. *Journal of Natural Fibers*, 19(10), 3654-3667.
6. Haro Velastegui, A. J., Borja Arévalo, A., & Triviño Bloisse, S. (2017). Análisis sobre el aprovechamiento de los residuos del plátano, como materia prima para la producción de materiales plásticos biodegradables. *Dominio de Las Ciencias*, 3(2), 506-525.

Citar artículo: Ponce-Calderón, K., V., Barba-Estrella, P., M., Coello-Vargas, M., Pineda-Insuasti, J., Pineda-Soto, A. (2025). Proceso escala de laboratorio para el secado del tallo de banano (Musa paradisiaca). Biorrefinería 8 (1). Obtenido de <https://cebaecuador.org/publicaciones/revista-biorrefineria/>

Información de revisión por pares: Revista Biorrefinería agradece a los revisores anónimos por su contribución a la revisión por pares de este trabajo utilizando <https://reviewerlocator.webofscience.com/>.

Acceso abierto: Todos los artículos publicados por Revista Biorrefinería son accesibles en línea de forma gratuita y permanente inmediatamente después de su publicación, sin cargos de suscripción ni barreras de registro.

Nota del Editor: Revista Biorrefinería se mantiene neutral con respecto a reclamos jurisdiccionales en mapas publicados y afiliaciones institucionales.

Copyright: © 2024 por los autores. Presentado para posible publicación en acceso abierto bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



REISHI
(Ganoderma lucidum)
Full Spectrum Extract

- **Relajación y recarga**
- Sistema inmunológico
- Salud cardiovascular.
- Apoya la energía y la resistencia.
- Antiestrés.

CONTACTO: Dr. Julio Pineda Insuasti, PhD.
info.biodiversity@gmail.com, Cel. +593 99 758 9267
Ibarra-Ecuador

SCIENTIFIC PARTNER: <https://cebaecuador.org/>
31/12/2025 info.biodiversity@gmail.com



PRODUCCIÓN DE PROTEÍNA A PARTIR DE BIOMASA LIGNOCELULÓSICA DEL ABACÁ (*Musa textilis*): UNA REVISIÓN

PROTEIN PRODUCTION FROM LIGNOCELLULOSIC BIOMASS OF ABACA (*Musa textilis*): A REVIEW

Melany Anabel Coello-Vargas¹, Pedro Miguel Barba-Estrella¹, Julio Pineda-Insuasti², Alejandro Pineda-Soto^{2,3}

¹Universidad Técnica del Norte-UTN, Ibarra, Ecuador

²Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente - CEBA. Ibarra, Ecuador.

³Universidad de Investigación de Tecnología Experimental -YACHAY. Urcuquí, Ecuador

Autor para correspondencia: macoeliov@utn.edu.ec

Recibido: 24/04/2025

Aceptado: 24/05/2025

RESUMEN

Actualmente, el conocimiento sobre la producción de proteína a partir de biomasa lignocelulósica de abacá *Musa textilis* es limitado, esta revisión evalúa el estado del arte de este tema abordando la seguridad alimentaria, mediante el protocolo ROSES. Se describe el abacá como una Musácea originaria de Filipinas, pero producida también en Ecuador, cuya composición alta en celulosa (76,6 %), hemicelulosa (14,6 %) y lignina (8,4 %), le otorga resistencia y flexibilidad lo que la hace ideal para aplicaciones en textiles, bioplásticos, papelería, construcción y la industria automotriz. Los resultados muestran escasez de información sobre el tema, abriendo la posibilidad de desarrollar investigaciones enfocadas al uso de esta materia prima con fines a la producción de proteína contribuyendo así a la seguridad alimentaria.

Palabras clave: aprovechamiento de biomasa, bioeconomía, residuos, suplemento

ABSTRACT

This review aims to evaluate the state of the art in terms of protein production from lignocellulosic biomass of abaca (*Musa textilis*) addressing the problem of food safety. Abaca is described as a Musaceae native to the Philippines, but also produced in Ecuador, whose composition high in cellulose (76.6 %), hemicellulose (14.6 %) and lignin (8.4 %), gives it resistance and flexibility, which makes it ideal for applications in textiles, bioplastics, stationery, construction and the automotive industry. The results show that there is limited knowledge on the subject, opening the possibility of developing research focused on the use of this raw material to produce protein, thus contributing to food security.

Keywords: biomass use, bioeconomy, waste, supplement

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la seguridad alimentaria enfrenta grandes desafíos, según datos de la (Organización Mundial de la Salud, 2022) hasta el 2021 el 29.3 % de las personas en el mundo

sufren inseguridad alimentaria, este problema se centra particularmente en África. Se estima que 61,6 millones de personas sufren de deficiencias alimenticias (Banco Mundial, 2025).

La falta de seguridad alimentaria afecta principalmente a los niños, un 45 % de las muertes en los niños menores de 5 años se debe a la desnutrición (Children International, 2020).

En Ecuador se estima que el 20,1 % de los niños padecen de desnutrición crónica infantil (DCI), siendo esta la principal causa de muerte de infantes en el país, la mal nutrición se centra en provincias de la Sierra y cataloga a Ecuador como el cuarto país con mayor índice de DCI en América Latina (Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), 2023), la provincia de Imbabura, por su parte, se ubica en el puesto 16 del ranking provincial, con 16,2% de DCI (Prefectura de Imbabura, 2024).

(Bhupathiraju & Hu, 2023) mencionan que una de las causas de la desnutrición es el déficit proteico-energética, al no consumir suficientes proteínas y calorías durante un tiempo prolongado.

El mercado de las proteínas se ha centrado en producir y comercializar suplementos deportivos en mayor cantidad que suplementos alimenticios que ayuden a frenar los problemas de seguridad alimentaria.

El tamaño del mercado mundial de suplementos proteicos fue de 26,10 mil millones de dólares en 2023 y 28,15 mil millones de dólares en 2024 (Fortune business, 2025), siendo muy lucrativo para las empresas comerciantes, las cuales invierten gran cantidad de dinero en marketing, lo cual hace que este mercado crezca, los principales medios de promoción son las tiendas online, físicas (farmacias, gimnasios, supermercados) y redes sociales (Sánchez Gutiérrez, 2019).

Por lo general, las personas que tienen desnutrición sufren a la par problemas de pobreza, por lo que no pueden acceder a suplementos proteicos, que tienen un costo elevado, debido a la gran demanda de los

deportistas, quienes son los principales consumidores.

El Abacá (*Musa textilis*)

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2024) es una fibra de hoja, compuesta por células largas y delgadas que forman parte de la estructura de soporte de la hoja. El contenido de lignina está por encima del 15%. El abacá es valorado por su gran resistencia mecánica, resistencia al daño por agua salada, y por el largo de su fibra, hasta de 3 metros. Las mejores clasificaciones del abacá son: finas, brillantes, de un color habano claro, y muy fuertes.

Producto de la extracción de la fibra de abacá se genera biomasa lignocelulósica la cual es la fuente más prometedora para solucionar los problemas actuales de energía y materias primas (Burgos Arcos & Sablón Cossío, 2020), en este caso producción de proteínas.

Debido a la creciente demanda de fibra de abacá en el mercado internacional, su cultivo ha incrementado y con esto la producción de residuos que son considerados desperdicios, por tanto, el objetivo de este proyecto es realizar un estudio de la situación actual de la producción de proteína a partir de biomasa lignocelulósica de *Musa textilis* dentro del contexto de seguridad alimentaria.

METODOLOGÍA

El protocolo de revisión se utilizó ROSES (Reporting standards for Systematic Evidence Syntheses), formato compatible con investigaciones sobre conservación y gestión ambiental (Haddaway et al., 2018), temas estrechamente relacionados con la seguridad alimentaria.

Fuentes de información

Para garantizar la relevancia de la información utilizada en esta revisión, se estableció un rango de 5-6 años para la selección de estudios, siguiendo el protocolo ROSES, se utilizaron bases de datos como Scopus,

Science Direct, Scielo, otras revistas indexadas y adicionalmente literatura gris. Se usaron palabras clave como “abacá”, “*musa spp.*”, “*musa textilis*”, “usos abacá”, “proteína abacá” y operadores booleanos OR, AND, NOT, para filtrar de mejor manera la información.

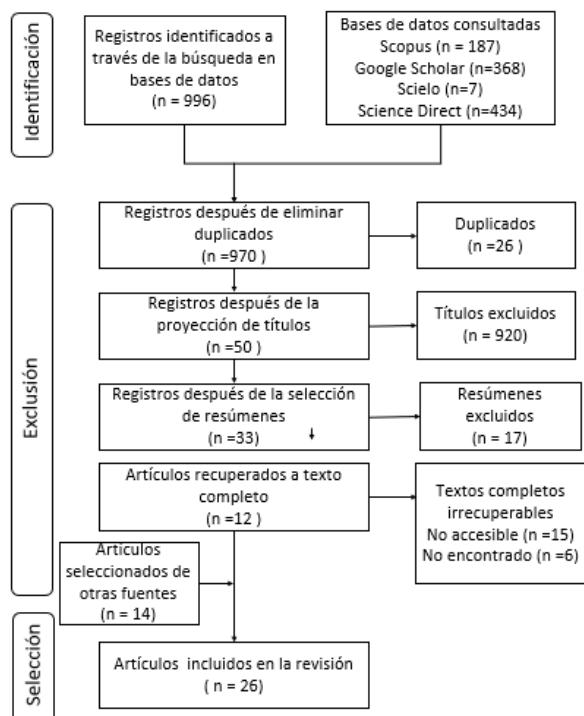


Figura 1. Diagrama sistemático protocolo revisión

RESULTADOS

El abacá (*Musa textilis*) es una musácea originaria de Filipinas, cuyo cultivo se ha extendido principalmente a Costa Rica, Indonesia y Ecuador, siendo este último el segundo país con mayor exportación de abacá en el mundo (Pera González, 2019) según las estadísticas de la FAO, 2024, la producción de abacá en Ecuador entre los años 2000 a 2023 fue de alrededor de 32924.93 ha, siendo superado únicamente por Filipinas con una producción mayor a 32924.93 ha. Esto se debe a que Ecuador cuenta con las condiciones necesarias para el cultivo de *Musa textilis*, como climas tropicales húmedos con temperaturas entre 22 a 28 °C; precipitaciones de 1800 a 2500 mm de agua que deben estar bien distribuidos durante todo el año pues la humedad y la luz del sol son esenciales para la producción de abacá, alcanzando así plantas

de 3 metros en promedio (Jácome Gómez et al., 2023)



Figura 2. Planta de abacá (*Musa textilis*)

Fuente: Instituto de Desarrollo Rural (2022)

Producción en Ecuador

La producción de abacá en Ecuador se concentra principalmente en los cantones La Concordia (39 %) y Santo Domingo (36 %) y en menor cantidad (25 %) en las provincias de Los Ríos, Pichincha, Esmeraldas y Manabí, juntando más de 14000,0 ha de plantación (Gómez et al., 2022).

Musa textilis es una planta similar a las plantas de banano y plátano; pero a diferencia de éstos, su interés es el pseudotallo o grupo de hojas envueltas, del cual se extrae fibra vegetal de calidad comercial (PROCOMER, 2023).

La calidad de la fibra depende de la especie de abacá, en Ecuador se cultivan en su mayoría dos variedades Bungalanón y Tangongón, Bungalanón es la más popular debido a su alta productividad y la calidad de sus fibras que son más suaves y blancas, mientras que la Tangongón destaca por su resistencia a enfermedades y plagas, con fibras ásperas pero fuertes (Yaguachi, 2024).

Composición química

Según Islam Kiron, (2021) la fibra de abacá está compuesta por:

Tabla 1. Composición del abacá

Componente	Porcentaje
Celulosa	76,6%
Hemicelulosa	14,6%
Lignina	8,4%
Pectina	0,3%
Cera y grasa	0,1%

Aplicaciones

Las aplicaciones del abacá son extensas, según (Araya-Gutiérrez et al., 2023) la fibra es utilizada para la fabricación de redes de pesca, elementos de vestimenta, bolsas de té, filtros, cables conductores, dinero, gorras, telas, guantes, recubrimiento eléctrico y de vehículos.

(Abraham Touma & López Bravo, 2022), realizaron un diseño y simulación de una probeta y tapa de volante compuestos con fibra de abacá, siendo una aplicación en el sector automotriz.

Asimismo, Lozano Rodríguez, (2024), realizó un proyecto sobre confección y exportación de prendas de vestir a base de fibra de la planta de abacá, bajo los principios de comercio justo. El abacá también tiene aplicaciones en la industria de la construcción, (Baño García & Mera Yanez, 2024) elaboraron una investigación acerca del uso de fibras de abacá para la elaboración de un mortero con capacidad de deformación mejorada para enlucidos. Terranova papers, por su parte tiene una amplia variedad de productos a la venta a base de abacá tales como papel para bolsas de té, filtros de papel para café, papel para compostaje, papel para empastado para baterías, cintas adhesivas y papel poroso para el hogar.

Producción de proteína

Actualmente, no se han encontrado investigaciones sobre la producción directa de proteína para suplemento alimenticio a partir de residuos lignocelulósicos del abacá. Sin embargo, existen estudios que exploran el uso de estos residuos como sustrato para la producción de microorganismos comestibles, lo que puede contribuir indirectamente a la obtención de proteínas.

En este contexto, Valenciano Zúñiga (2019) en un estudio realizado en Costa Rica, se planteó el análisis del potencial de los residuos sólidos que quedan luego del procesamiento de Abacá (*Musa textilis*) como sustrato para la producción de hongo ostra (*Pleurotus spp*). Dentro de los resultados más relevantes se obtiene que replicando el protocolo de tratamiento térmico validado para la producción de hongo ostra a partir de residuos de piña, pero en Abacá de sustrato, es posible producir y cosechar hongo ostra.

Granda et al. (2005) por su parte investigaron la capacidad del hongo *Lentinus crinitus* para degradar la biomasa lignocelulósica de residuos de plátano (*Musa paradisiaca*) a través de la producción de enzimas ligninolíticas (LiP y MnP) y la liberación de compuestos aromáticos. Se evaluaron diferentes combinaciones de residuos de plátano (hojas, tallo, fruto) en fermentación en estado sólido (FES). En sus hallazgos se enfatiza la capacidad de *Lentinus crinitus* para degradar la lignocelulosa y liberar compuestos valiosos, indicando su potencial para la bioconversión de residuos de plátano en productos de valor agregado, como proteína microbiana, esto es posible ya que se promueve la hidrólisis de celulosa, obteniendo azúcares que serán la fuente de carbono para el crecimiento de microorganismos productores de proteína.

Por otro lado, Bardales Vásquez et al. (2020) realizaron una investigación sobre el enriquecimiento proteico de los principales residuos lignocelulósicos agroindustriales de la Región La Libertad con la asociación mixta de *Trichoderma reesei*, *Chaetomium cellulolyticum*

y *Candida utilis* para alimentación animal, usando biomasa de alcachofa, espárrago, pimiento, maíz amarillo y caña de azúcar. Se sometió a los residuos lignocelulósicos a la acción de la asociación mixta de los microorganismos durante un tiempo de 96 horas. Mediante método Kjedalh se determinó el porcentaje de proteína de cada residuo antes y después del tratamiento. Los resultados indican que la broza de "maíz amarillo duro" es el residuo que genera mayor cantidad correspondiente a 49.7 g/L en un tiempo de 96 horas de bioproceso.

Patentes

Existen 364 patentes sobre abacá en la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) pero ninguna acerca de la producción de proteína a partir de biomasa de abacá. En la patente PH2/2019/001663, se señala UN PROCESO DE PRODUCCIÓN DE HAMBURGUESA Y UNA HAMBURGUESA OBTENIBLE A PARTIR DEL MISMO, el presente modelo de utilidad se refiere a un proceso de producción de hamburguesas que podría considerarse un alimento saludable por contener corazón de abacá, rico en fibra. El proceso de producción de hamburguesas comprende los pasos de: a. cortar un corazón de abacá en trozos más finos; b. añadir sal; c. exprimir el corazón de abacá picado con sal añadida para eliminar la composición líquida amarga; d. saltear el corazón de abacá picado

con cebolla y ajo durante cuarenta minutos; e. combinar el corazón de abacá picado salteado con carne molida salteada; f. añadir una solución de sal y fosfato al corazón de abacá picado salteado que se ha combinado con la carne molida salteada; g. mezclar completamente el corazón de abacá y la carne molida con la solución de sal y fosfato hasta obtener un estado pegajoso; h. mezclar con extensores y condimentos hasta obtener un estado homogéneo; y i. enfriar las mezclas durante una o dos horas; y una hamburguesa que se puede obtener mediante el proceso (Delos Santos, 2024).

CONCLUSIONES

La investigación específica sobre la producción de proteína a partir de biomasa lignocelulósica del abacá es aún incipiente, lo que sugiere una oportunidad de investigación en esta área.

La biomasa lignocelulósica de abacá representa una gran oportunidad para la valorización de residuos agrícolas y la producción de proteína, teniendo implicaciones significativas sobre la seguridad alimentaria.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica del Norte y a Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente (CEBA) por el apoyo en la presente investigación

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abraham Touma, Y. X., & López Bravo, A. R. (2022). *Diseño y simulación de un material compuesto con fibra de Abacá y su aplicación en el sector Automotriz*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23837>
2. Araya-Gutiérrez, D., Monge, G. G., Jiménez-Quesada, K., Arias-Aguilar, D., & Cordero, R. Q. (2023). Abacá: una revisión general sobre sus características, productividad y mercado en el mundo. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 76(1), 10263–10273. <https://doi.org/10.15446/RFNAM.V76N1.101710>
3. Banco Mundial. (2025). *Actualización sobre la seguridad alimentaria*. <https://www.bancomundial.org/es/topic/agriculture/brief/food-security-update>
4. Baño García, V. N., & Mera Yanez, C. D. (2024). *Uso de fibras de abacá para la elaboración de un mortero con capacidad de deformación mejorada para enlucidos*. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/12532>

5. Bardales Vásquez, C. B., Cabos Sánchez, J. D., León Torres, C. A., Jara Huacacolqui, E. L., Bardales Vásquez, C. B., Cabos Sánchez, J. D., León Torres, C. A., & Jara Huacacolqui, E. L. (2020). Enriquecimiento proteico de los principales residuos lignocelulósicos agroindustriales de la Región La Libertad con la asociación mixta de *Trichoderma reesei*, *Chaetomium cellulolyticum* y *Candida utilis* para alimentación animal. *Arnaldoa*, 27(1), 99–114. <https://doi.org/10.22497/ARNALDOA.271.27104>
6. Bhupathiraju, S. N., & Hu, F. (2023). *Desnutrición - Trastornos nutricionales*. <https://www.msdmanuals.com/es/hogar/trastornos-nutricionales/desnutrici%C3%B3n/desnutrici%C3%B3n?ruleredirectid=755>
7. Burgos Arcos, C. L., & Sablón Cossío, N. (2020). Evaluación de las alternativas del empleo de la biomasa lignocelulósica en Chimborazo. *Ingeniería Industrial*, 43. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59362022000400021#B1
8. Children International. (2020). *Estadísticas sobre el hambre mundial*. https://www.children.org/es/pobreza-global/datos-sobre-la-pobreza/datos-sobre-la-pobreza-mundial-y-hambre?rs_id=451&utm_campaign=rkd+fy25+evergreen&utm_medium=cpc+grant&utm_source=google&gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA_Yq-BhC9ARIsAA6fbAhHy45BYebaWV0ky2RlVrwm45nuHr96ux2BbqAL3Nute7e16_b4xNoaAuWCEALw_wcB
9. Delos Santos, J. F. U. (2024). *UN PROCESO DE PRODUCCIÓN DE HAMBURGUESA Y UNA HAMBURGUESA OBETENIBLE A PARTIR DEL MISMO* (Patent PH2/2019/001663). <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=PH448073346>
10. Granda, D., Amanda I, M. G., Gloria A, J. T., & La Facultad De Química Farmacéutica, R. DE. (2005). *UTILIZATION OF PLANTAIN WASTE FOR THE PRODUCTION OF SECONDARY METABOLITES BY SOLID SUBSTRATE FERMENTATION USING THE FUNGI Lentinus crinitus*.
11. FAO. (2024a). *Future Fibres: Abacá*. <https://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/abaca0/es/>
12. FAO. (2024b). *World Food and Agriculture Abaca – Statistical Yearbook 2024*. <https://doi.org/10.4060/CD2971EN>
13. Fortune business. (2025). *Cuota de mercado de suplementos proteicos y tendencias de la industria*. <https://www.fortunebusinessinsights.com/es/protein-supplements-market-106511>
14. Gómez, R. L., Valencia Ximena, Martínez María, Chica Holguer, & De la Cruz, M. (2022). *Behavior of Two Varieties of Abaca (Musa Textilis) in Three Planting Densities, in Development Stage*. <https://orcid.org/0000-0003-0635->
15. Haddaway, N. R., Macura, B., Whaley, P., & Pullin, A. S. (2018). ROSES Reporting standards for Systematic Evidence Syntheses: Pro forma, flow-diagram and descriptive summary of the plan and conduct of environmental systematic reviews and systematic maps. *Environmental Evidence*, 7(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/S13750-018-0121-7/TABLES/2>
16. Instituto de Desarrollo Rural. (2022). *EL ABACÁ SE CONVIERTEN LA NUEVA ALTERNATIVA PARA REACTIVAR LA PRODUCCIÓN DE LAS FAMILIAS AGRICULTORAS EN SARAPIQUÍ*. <https://www.inder.go.cr/noticias/comunicados/2022/057-abaca-reactivacion-sarapiqui.aspx>
17. Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2023). *DESNUTRICIÓN CRÓNICA INFANTIL*. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/primera-encuesta-especializada-revela-que-el-20-1-de-los-ninos-en-ecuador-padecen-de-desnutricion-cronica-infantil/?utm_source=chatgpt.com
18. Islam Kiron, M. (2021). *Abaca Fiber: Properties, Manufacturing Process and Uses - Textile Learner*. <https://textilelearner.net/abaca-fiber-properties-manufacturing/#more-1663>
19. Jácome Gómez, L., Martínez, M. C., De La Cruz Chicaiza, M., Chica Solórzano, H., & Valencia Enriquez, X. (2023). Rendimiento de fibra de dos variedades de Abacá (Musa textilis) en tres densidades de Siembra. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria*, 7(2), 3866–3878. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.5615

20. Lozano Rodríguez, K. D. (2024). *Confección y exportación de prendas de vestir a base de fibra de la planta de abacá, bajo los principios de comercio justo.* <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/5394>
21. Organización Mundial de la Salud. (2022). *Informe de las Naciones Unidas: las cifras del hambre en el mundo.* <https://www.who.int/es/news/item/06-07-2022-un-report--global-hunger-numbers-rose-to-as-many-as-828-million-in-2021>
22. Pera González, J. L. (2019). *El impacto de la exportación de abacá como producto no tradicional en la economía ecuatoriana, período 2014-2018.* Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Económicas. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/46210>
23. Prefectura de Imbabura. (2024). *ESTRATEGIA PARA PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DE LA DESNUTRICIÓN CRÓNICA INFANTIL.* <https://www.unicef.org/ecuador/desnutrici%C3%B3n-cr%C3%B3nica-infantil>,
24. PROCOMER. (2023). *FICHA TÉCNICA ABACÁ Sección A: Información General del Cultivo.*
25. Sánchez Gutiérrez, V. (2019). *Estrategias de marketing digital de las empresas de suplementos nutricionales para el deporte.* <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/40333>
26. Terranova papers. (n.d.). *El Abacá - Terranova papers.* Retrieved March 15, 2025, from <https://terranovapapers.com/el-abaca>
27. Valenciano Zúñiga, C. (2019). *Ánálisis del potencial de los residuos sólidos remanentes del procesamiento de Abacá (*Musa textilis*), como sustrato para la producción de hongo ostra (*Pleurotus spp*), Zona Huetar Norte y Atlántica, Costa Rica.* Alajuela, Costa Rica. <https://hdl.handle.net/20.500.13077/352>
28. Yaguachi, F. M. (2024). *UNIVERSIDAD TECNICA DE BABAHOYO FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA PESCA Y VETERINARIA CARRERA DE AGROPECUARIA.*

Citar artículo: Coello-Vargas, M., A., Barba-Estrella, P., M., Pineda-Insuasti, J., Pineda-Soto, A. (2025). Producción de proteína a partir de biomasa lignocelulósica del abacá (*Musa textilis*): una revisión. Biorrefinería 8 (1). Obtenido de <https://cebaecuador.org/publicaciones/revista-biorrefineria/>

Información de revisión por pares: Revista Biorrefinería agradece a los revisores anónimos por su contribución a la revisión por pares de este trabajo utilizando <https://reviewerlocator.webofscience.com/>.

Acceso abierto: Todos los artículos publicados por Revista Biorrefinería son accesibles en línea de forma gratuita y permanente inmediatamente después de su publicación, sin cargos de suscripción ni barreras de registro.

Nota del Editor: Revista Biorrefinería se mantiene neutral con respecto a reclamos jurisdiccionales en mapas publicados y afiliaciones institucionales.

Copyright: © 2024 por los autores. Presentado para posible publicación en acceso abierto bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

PROCESO ESCALA DE LABORATORIO PARA EL SECADO DE PSEUDOTALLO DE BANANO (*Musa paradisiaca*)

LABORATORY SCALE PROCESS FOR DRYING BANANA PSEUDO-STEM (*Musa paradisiaca*)

Melany Anabel Coello-Vargas¹, Kevin Vicente Ponce-Calderón¹, Pedro Miguel Barba-Estrella¹, Julio Pineda-Insuasti², Alejandro Pineda-Soto^{2,3}

¹Universidad Técnica del Norte-UTN, Ibarra, Ecuador

²Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente - CEBA. Ibarra, Ecuador.

³Universidad de Investigación de Tecnología Experimental -YACHAY. Urcuquí, Ecuador

Autor para correspondencia: macoeliov@utn.edu.ec

Recibido: 24/04/2025

Aceptado: 24/05/2025

RESUMEN

Existe limitado conocimiento sobre la optimización del secado de pseudotallo de banano (*Musa paradisiaca*), en este estudio se analizaron las condiciones óptimas de secado, mediante un diseño experimental 2², se consideró como factores de estudio el tamaño de partícula 1-2 cm y la temperatura de secado 70-105 °C. Los resultados mostraron que el factor temperatura tuvo significancia estadística con un nivel de confianza de 95%. Logrando un óptimo peso igual a 9,3 g cuando se trabaja con 105 °C y 1 cm. Se ajustó un modelo matemático empírico que relaciona el peso con los factores estudiados, lo que permite optimizar el proceso.

Palabras clave: Residuos, resecado, potenciar.

ABSTRACT

There is limited knowledge regarding the optimization of banana pseudostem (*Musa paradisiaca*) drying. This study analyzed the optimal drying conditions using a 2² experimental design. The study factors considered were particle size (1-2 cm) and drying temperature (70-105 °C). The results showed that temperature was a statistically significant factor with a 95% confidence level. An optimal weight of 9.3 g was achieved when working with 105 °C and a particle size of 1 cm. An empirical mathematical model relating weight to the studied factors was fitted, allowing for process optimization.

Keywords: Waste, redrying, potentiate.

INTRODUCCIÓN

Ecuador es el mayor productor y exportador de banano en el mundo, según estadísticas de (INEC, 2024) en 2023 la superficie de cosecha de banano fue de 175181,0 hectáreas, registrando un crecimiento de 4,6 % con relación al año 2022. Este aumento progresivo trae consigo también problemas de gestión ambiental pues se producen a la par grandes cantidades de residuos, los pseudotallos de

banano por ejemplo se destinan a la quema a cielo abierto o disposición en relleno sanitario. El aprovechamiento de estas fibras naturales representa una solución económica con enfoque de bioeconomía, por considerar el uso de biomasa lignocelulósica en la fabricación de un producto de interés comercial (Alvarado López et al., 2021).

El secado es un método clave en la conservación de productos agroindustriales, influenciado por diversos factores. Esta operación unitaria puede ser desarrollada a través de diferentes métodos: secado solar, secado en un horno, liofilización o secado por aspersión (Sánchez-Borroto et al., 2024), en este contexto, el secado en horno es una opción eficiente debido a su rapidez, control de temperatura y uniformidad en la pérdida de agua.

En el caso del pseudotallo de plátano, su alto contenido de humedad hace necesario optimizar las condiciones de secado para mejorar su almacenamiento y uso en aplicaciones industriales como la producción de fibras, bioplásticos, alimentación animal y generación de biocombustibles.

Patentes

Dentro de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) no existen patentes relacionadas con la optimización de condiciones de secado de pseudotallo de banano (*Musa spp.*).

En la patente KEU/2023/002031 Polvo nutritivo de pseudotallo de núcleo blando central de plátano, se menciona una metodología de secado solar o en horno de aire caliente, no obstante, no se mencionan variaciones de temperatura para su maximización (WANJIRU MAINA, 2023).

Asimismo, en la patente CN110725012 Método para la extracción de fibras de tallo de banano mediante técnicas mecánico-químicas-bioenzimáticas, se realiza un secado de la fibra de tallo de banano en un horno a 40-65 ° C durante 3-7 horas para obtener fibra refinada, en este caso hay una variación de temperatura, pero no se estudia el efecto del tamaño de la muestra.

Existe limitado conocimiento sobre el proceso de secado del pseudotallo de banano, lo cual no ha permitido el aprovechamiento eficiente de estos residuos.

El objetivo de este estudio es desarrollar un proceso escala de laboratorio para el secado

del pseudotallo de banano (*Musa spp.*), que permita su máximo aprovechamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo experimental se realizó en los laboratorios del Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente (CEBA), localizado en la ciudad de Ibarra, Ecuador.

Material vegetal

El pseudotallo de banano fue obtenido en la parroquia San Antonio, cantón Ibarra, provincia de Imbabura, coordenadas geográficas: 0° 20' 08" de latitud norte y 78°10' 09" de longitud oeste y un clima templado seco, con temperaturas medias de 18 °C.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó el software estadístico STATGRAPHICS, para planificar un diseño factorial 2² con dos factores, el tamaño de partícula 1-2 cm y la temperatura de secado 70-105°C. En la tabla 1, se muestra la combinación de factores experimentales, cada tratamiento tuvo tres repeticiones, totalizando 12 tratamientos, se definió como unidad experimental una caja Petri con 30g de muestra. La variable de respuesta fue el peso constante posterior al secado. El diseño se ejecutó en 3 bloques y el orden de los experimentos ha sido completamente aleatorizado para aportar protección contra el efecto de variables ocultas.

Diseño Factorial Multinivel

Clase de diseño: Factorial Multinivel

Diseño Base

Número de factores experimentales: 2

Número de bloques: 3

Número de respuestas: 1

Número de corridas: 12

Grados de libertad para el error: 6

Aleatorizar: Sí

Tabla 1. Factores de estudio

Factores	Bajo	Alto	Niveles	Unidades
Tamaño	1,0	2,0	2	(cm)

Temperatura 70,0 105,0 2	(°C)
Respuestas	Unidades
Peso	(g)

Selección de temperaturas

Las temperaturas de secado seleccionadas 70°C y 105°C se basaron en estudios previos, sobre la deshidratación de biomasa vegetal y subproductos agroindustriales.

La temperatura de 70°C permite un secado eficiente sin degradar excesivamente los componentes estructurales del material (Saavedra Gatica et al., 2022). Por otro lado, 105°C se seleccionó como una temperatura más alta para evaluar el efecto del aumento de temperatura en la velocidad de secado y la pérdida de humedad, considerando que temperaturas superiores pueden acelerar el proceso, pero también causar una mayor degradación estructural, esta temperatura se eligió tomando en cuenta la Norma INEN 287 referente al método de secado en horno (INEN, 2013). En la figura 1 se detalla el proceso experimental

Proceso experimental

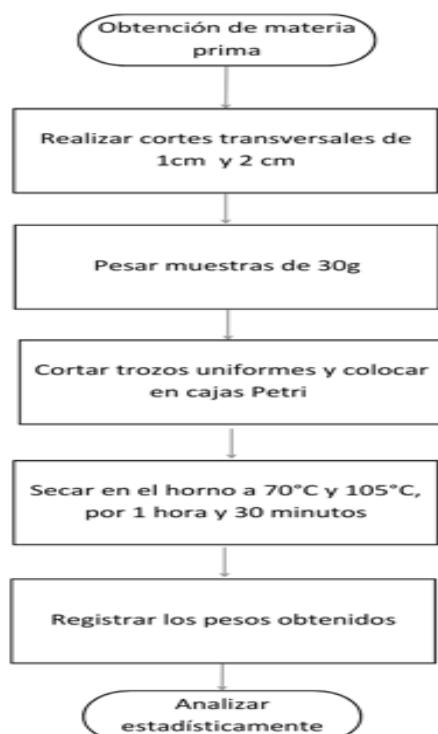


Figura 1. Diagrama de flujo

Se realizó cortes transversales de la parte inferior del pseudotallo, para garantizar la exactitud se realizó un señalamiento de las medidas correspondientes (1cm y 2cm), utilizando una regla de papel a lo ancho del tallo, el corte se hizo con un machete (figura 2).



Figura 2. (A) medición del grosor (B) cortes transversales

Posteriormente en balanza digital marca TRUPER, se pesaron muestras de 30 g, como unidad experimental.

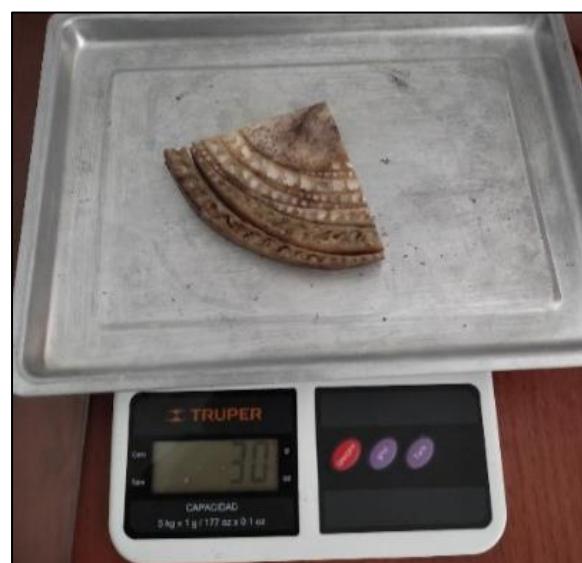


Figura 3. Peso inicial de las muestras

Luego, se hicieron trozos uniformes de aproximadamente 1 cm y se colocaron en cajas Petri debidamente etiquetadas según los tratamientos y repeticiones.



Figura 4. Picado de la muestra

En seguida, se colocaron las cajas Petri en el horno automático y se ajustó su temperatura a 70°C y 105°C durante 1 hora y 30 minutos.



Figura 5. Condiciones de temperatura

Finalmente, transcurrido el tiempo de 90 minutos las cajas Petri fueron retiradas del horno, se pesó cada una y se realizó un registro de datos.

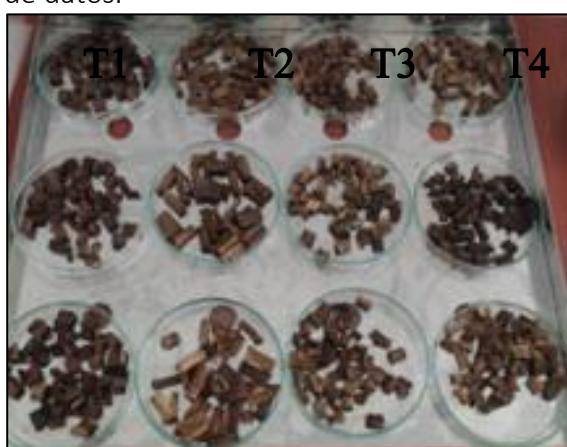


Figura 6. Tratamientos luego del secado

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2, se presenta la matriz de resultados experimentales, como se puede observar se logra un peso mínimo de 8g cuando se trabaja con 105°C y 1cm y un máximo de 22g, cuando se trabaja con 70°C y 2cm.

Tabla 2. Matriz de Resultados Experimentales

BLOQUE	Tamaño (cm)	Temperatura (°)	Peso (g)
1	1	70	20
1	2	70	21
1	2	105	11
1	1	105	9
2	1	70	21
2	2	70	21
2	1	105	11
2	2	105	9
3	1	105	8
3	2	105	12
3	1	70	20
3	2	70	22

Fuente: Elaboración autor

Análisis de la Varianza para peso

En la tabla 3, se presenta el análisis de la varianza para peso, el ANOVA prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso un factor tiene el valor p menor que 0,05, indicando que es significativamente diferente de cero con un nivel de confianza del 95 %.

Tabla 3. Análisis de la Varianza para peso

Fuente	Suma Cuadrados	de Gl	Cuadrado Medio	Razón -F	Valor- P
A: Tamaño	4,08333	1	4,08333	2,33	0,17
B: Temperatura	352,083	1	352,083	201,1	0
AB	0,08333	1	0,083333	0,05	0,834
bloques	0,166667	2	0,083333	0,05	0,953
Error total	10,5	6	1,75		
Total (corr.)	366,917	1			

Coeficiente de Regresión para peso

En la tabla 4, se muestra el coeficiente de regresión para la variable peso.

Tabla 4. Coeficiente de regresión para Peso

Coeficiente	Estimado
Constante	42,0
A: Tamaño	0,333333
B: Temperatura	-0,32381
AB	0,00952381

Fuente: Elaboración autor

La ecuación de regresión o modelo ajustado a los datos es la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Peso} = & 42,0 + 0,333333 * \text{Tamaño} - \\ & 0,32381 * \text{Temperatura} + \\ & 0,00952381 * \text{Tamaño} * \text{Temperatura} \end{aligned}$$

Optimización de la Respuesta

En la tabla 5, se muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza los valores de Peso sobre la región indicada.

Meta: minimizar Peso

Valor óptimo = 9,33333

Tabla 5. Optimización

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Tamaño	1,0	2,0	1,0
Temperatura	70,0	105,0	105,0

En la figura 7, se presenta el Diagrama Pareto Estandarizada para Peso, como se puede observar la temperatura tiene el mayor efecto estandarizado, lo que indica que influye directamente en el peso de la muestra después del secado, el tamaño también tiene un efecto, pero es menor en comparación con la temperatura, la interacción entre tamaño y temperatura tiene un efecto casi de 0 por lo que no es significativo en este proceso.

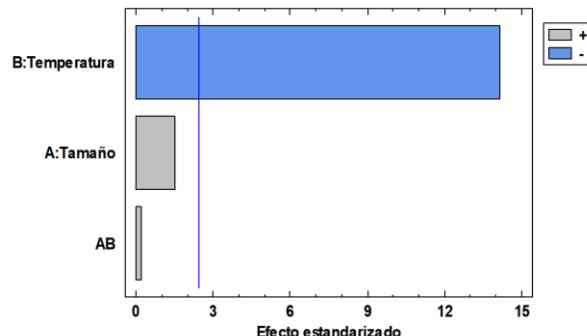


Figura 7. Pareto Estandarizada para Peso

En la figura 8, se presenta la Superficie de Respuesta Estimada para Peso, la cual indica que el punto mínimo logrado de peso equivalente a 8 g se logra con 105 °C y 1cm. La tendencia descendente en la superficie de respuesta afirma que, a mayor temperatura, menor es el peso final.

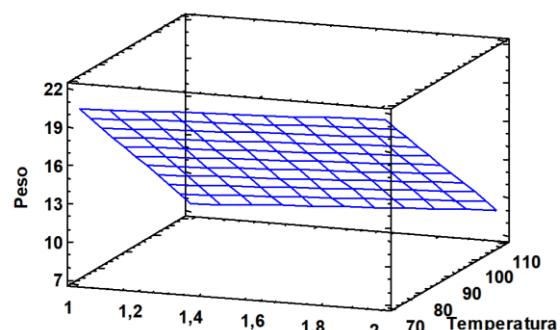


Figura 8. Superficie de respuesta estimada

CONCLUSIONES

El proceso de secado óptimo para el pseudotallo de banano es a 105°C y 1cm de tamaño de partícula.

AGRADECIMIENTO

Al Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente-CEBA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alvarado López, M., Cevallos Pionce, M., Alcívar Bravo, J., Dueñas Vera, E., & Riera, M. A. (2021). RESIDUOS DEL BANANO (*Musa paradisiaca*) como materia prima alternativa en la elaboración de papel. *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*, 8. <https://portal.amelica.org/ameli/journal/215/2151925003/html/>
2. INEC. (2024). *Boletín técnico, Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC)*.

3. INEN. (2013). *PAPEL Y CARTÓN - DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN LOTE - MÉTODO DE SECADO EN HORNO.*
https://drive.google.com/file/d/13aCtwkoTx_iVSgBiVE_rhFeiGwUaAlNR/view
4. Saavedra Gatica, R. E., Segundo, R., Paredes, V., Saavedra, T. A., Félix, A., & Lujerio, O. (2022). Optimización del secado del seudotallo de plátano (*Musa paradisiaca*) y su potencial uso como material vegetal biodegradable. *Revista Científica I+D Aswan Science*, 2(1).
<https://doi.org/10.51892/rcidas.v2i1.13>
5. Sánchez-Borroto, Y., Melo-Espinosa, E. A., Martínez-Daranas, B., & Suárez, A. M. (2024). Evaluación del proceso de secado de biomasa algal utilizando un secador solar diseñado al efecto. *Tecnología Química*, 44.
6. WANJIRU MAINA, M. (2023). *Nutritious Powder from Banana Central Soft Core Pseudostem* (Patent KEU/2023/002031).
https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=KE421011801&_cid=P22-M8DYSM-46183-1

Citar artículo: Coello-Vargas, M., A., Ponce-Calderón, K., V., Barba-Estrella, P., M., Pineda-Insuasti, J., Pineda-Soto, A. (2025). Proceso escala de laboratorio para el secado de pseudotallo de banano (*Musa paradisiaca*). Biorrefinería 8 (1). Obtenido de <https://cebaecuador.org/publicaciones/revista-biorrefineria/>

Información de revisión por pares: Revista Biorrefinería agradece a los revisores anónimos por su contribución a la revisión por pares de este trabajo utilizando <https://reviewerlocator.webofscience.com/>.

Acceso abierto: Todos los artículos publicados por Revista Biorrefinería son accesibles en línea de forma gratuita y permanente inmediatamente después de su publicación, sin cargos de suscripción ni barreras de registro.

Nota del Editor: Revista Biorrefinería se mantiene neutral con respecto a reclamos jurisdiccionales en mapas publicados y afiliaciones institucionales.

Copyright: © 2024 por los autores. Presentado para posible publicación en acceso abierto bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

REGULACIÓN HORMONAL EN PECES Y APLICACIONES EN ACUICULTURA: UNA REVISIÓN

HORMONAL REGULATION IN FISH AND APPLICATIONS IN AQUACULTURE: A REVIEW

Melissa Anahí Solarte Cazar¹, Camilo Alejandro Pineda-Soto^{2,3}, Julio Pineda-Insuasti³

¹ Instituto Politécnico de Leiria. Leiria, Portugal. <https://www.ipleiria.pt/>

²Universidad de Investigación de Tecnología Experimental -YACHAY. Urcuquí, Ecuador

³Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente (CEBA). Ibarra, Ecuador.

Autor para correspondencia: anahisolarte18@gmail.com

Recibido: 05/04/2025

Aceptado: 05/05/2024

RESUMEN

La regulación hormonal en peces constituye un eje central en la coordinación de procesos fisiológicos esenciales como el crecimiento, la reproducción y la respuesta al estrés. La interacción entre el hipotálamo, la hipófisis y los órganos diana a través de ejes como el hipotálamo-hipófiso-interrenal y el hipotálamo-hipófiso-gónada garantiza la homeostasis y la adaptación ambiental. Diversas hormonas, tales como las gonadotropinas, corticosteroides, somatotropina y factores de crecimiento, desempeñan roles críticos en la gametogénesis, inducción del desove y desarrollo embrionario, facilitando aplicaciones prácticas en acuicultura. El uso de agentes como la HCG ha permitido mejorar la eficiencia reproductiva y la producción de alevines, optimizando el manejo en sistemas de cultivo. Sin embargo, la manipulación hormonal debe aplicarse con cautela, ya que sus impactos ecológicos y ambientales, como la alteración de la biodiversidad y la acumulación de residuos, requieren de normativas y estrategias de monitoreo para promover una acuicultura sostenible para el futuro.

Palabras clave: Hormonas, Peces, Endocrinología, Regulación hormonal, Acuicultura, Metabolismo

ABSTRACT

Hormonal regulation in fish is a central axis in coordinating essential physiological processes such as growth, reproduction, and stress response. The interaction between the hypothalamus, pituitary, and target organs through axes like the hypothalamic-pituitary-interrenal and hypothalamic-pituitary-gonadal ensures homeostasis and environmental adaptation. Various hormones, such as gonadotropins, corticosteroids, somatotropin, and growth factors, play critical roles in gametogenesis, induction of spawning, and embryonic development, facilitating practical applications in aquaculture. The use of agents such as HCG has improved reproductive efficiency and fry production, optimizing management in culture systems. However, hormonal manipulation must be applied with caution, as its ecological and environmental impacts, including alterations in biodiversity and residue accumulation, require regulations and monitoring strategies to promote sustainable aquaculture for the future. Research into regulatory mechanisms is crucial for advancing aquaculture technologies and ensuring environmental safety. Integrating endocrine studies with comprehensive ecological assessments will provide insights to mitigate impacts while maximizing production efficiency.

Keywords: Hormones, Fish, Endocrinology, Hormonal Regulation, Aquaculture, Metabolism

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la humanidad ha desarrollado una creciente dependencia de los peces cultivados como una fuente alimenticia esencial. Como resultado, científicos y especialistas han intensificado sus esfuerzos para perfeccionar las técnicas de reproducción y propagación acelerada de alevines y jaramugos, tanto en estanques como en diversos cuerpos de agua, ya sean naturales o controlados, incluyendo represas, embalses, atajados, jagüeyes, lagos, lagunas y ríos Vinatea (J. E. 1995).

El sistema endocrino es esencial para regular una amplia gama de procesos fisiológicos en los peces, desde el crecimiento y la reproducción hasta la respuesta al estrés y la adaptación ambiental. La compleja interacción entre el hipotálamo, la hipófisis y diversos órganos diana permite la coordinación de señales hormonales que aseguran el equilibrio homeostático y la adaptación frente a las variaciones del entorno. Comprender estos mecanismos es fundamental tanto para el avance del conocimiento básico en biología de peces como para la aplicación práctica de este saber en la acuicultura (Salinas & Trujillo, 2019).

En las últimas décadas, se ha observado un notable incremento en el interés por la regulación hormonal en especies de peces, impulsado en parte por la necesidad de optimizar las prácticas acuáticas ante la creciente demanda mundial de productos pesqueros. Investigaciones recientes han permitido identificar y caracterizar diversas hormonas –incluyendo gonadotropinas, corticosteroides y otras moléculas reguladoras– que juegan roles cruciales en procesos como la gametogénesis, la inducción

del desove, el metabolismo energético y la respuesta inmunológica. Estos avances han contribuido a desarrollar protocolos hormonales que mejoran la eficiencia reproductiva y el manejo del estrés, aspectos vitales para lograr una producción sustentable en acuicultura (FAO, 2024).

El presente artículo de revisión tiene como objetivo integrar y analizar la literatura científica actual sobre la regulación hormonal en peces, abordando sus mecanismos subyacentes, funciones fisiológicas y aplicaciones prácticas en la industria acuática. Se explorarán, en particular, las estrategias utilizadas para inducir el desove, optimizar el crecimiento y gestionar el estrés, destacando tanto los beneficios como los desafíos asociados a la manipulación endocrina. Además, se discutirán las limitaciones de los enfoques actuales y se identificarán áreas clave para futuras investigaciones, con el fin de promover prácticas acuáticas más eficientes y sostenibles (Valdebenito, 2008).

Sistema endocrino en peces

El sistema endocrino, también conocido como sistema de secreción interna, está compuesto por diversos órganos y tejidos que varían en su origen, estructura y ubicación. A diferencia de otros sistemas, no cuenta con conductos específicos para transportar sus secreciones. Estas secreciones, llamadas hormonas, se liberan directamente en el torrente sanguíneo y actúan como mensajeros químicos que regulan múltiples funciones fisiológicas y conductuales, como el crecimiento, la reproducción y el equilibrio de líquidos y minerales en el organismo (Necropsy Manual, s.f.).

Existe una estrecha relación entre estos órganos y tejidos con el sistema nervioso y

entre sí mismos, lo que permite el control y regulación de distintas funciones y procesos en el cuerpo, un fenómeno conocido como integración neuroendocrina. Un ejemplo claro de esta interacción es el eje hipotálamo-hipofisario-interrenal, que responde a los factores que afectan al organismo.

El sistema endocrino genera cuatro tipos principales de efectos:

- Cinéticos, como la migración de pigmentos.
 - Metabólicos, relacionados con el equilibrio de los hidratos de carbono.
 - Morfogénicos, que influyen en la diferenciación sexual.
 - Comportamentales, como las migraciones reproductivas
- (Necropsy Manual, s.f.)

Las alteraciones patológicas en este sistema son poco frecuentes, pero cuando ocurren pueden manifestarse en forma de quistes, adenomas, granulomas y edemas.

Al igual que otros organismos, los peces pueden verse afectados por disruptores endocrinos, que son sustancias externas capaces de interferir en la función hormonal, alterando la homeostasis y la regulación del desarrollo (Aranzazu, et al., 2012).

Tipos de hormonas y sus funciones

Hormonas del crecimiento y metabolismo

Somatotropina (GH) y su papel en el crecimiento:

Las GnRH son moléculas de pequeño tamaño que no provocan respuestas inmunológicas en los peces que las reciben, lo que permite su uso reiterado. Además, estas hormonas ayudan a corregir los desequilibrios endocrinos causados por el cautiverio, facilitando la maduración sexual completa de los peces (Valdebenito, 2008).

Factores de crecimiento similares a la insulina (IGFs):

El Índice Gonadosomático (IGS) es un indicador macroscópico de la actividad gonadal que refleja las variaciones en el peso de la gónada

en función de la fase de madurez. Su evolución depende del estado de madurez sexual y de posibles variaciones en el rango de talla, considerando también datos de tipo microscópico. En peces asincrónicos, como la anchoveta, el valor medio del IGS representa las fases dominantes dentro de la muestra, donde valores elevados indican una mayor actividad reproductiva. Este índice se obtiene dividiendo el peso de las gónadas entre el peso corporal y se expresa como un porcentaje (SAPO, s.f.).

Hormonas reproductivas

Gonadotropinas (FSH, LH) y su Regulación

Las hormonas foliculoestimulantes (FSH) y luteinizante (LH) son glicoproteínas producidas y liberadas por la hipófisis anterior. Una vez en el torrente sanguíneo, llegan a sus órganos diana, las gónadas, donde desempeñan un papel esencial en la maduración y función reproductiva. Ambas hormonas participan en la regulación de la producción de esteroides sexuales, permitiendo la reproducción en el organismo.

Funciones de la FSH y la LH

FSH (Hormona Foliculoestimulante)

En hembras, estimula el crecimiento de los folículos ováricos y promueve la producción de estrógenos. Cuando los niveles de estrógenos alcanzan un umbral específico, inhiben la secreción de FSH por parte de la hipófisis. En machos, contribuye a la espermatogénesis.

LH (Hormona Luteinizante)

En hembras, induce la ovulación y la transformación del folículo ovárico en el cuerpo lúteo, estructura encargada de secretar progesterona, hormona fundamental para el mantenimiento del embarazo. Si no ocurre fecundación, el cuerpo lúteo degenera, cesa la producción de progesterona y se inicia un nuevo ciclo reproductivo.

En machos, estimula la producción de andrógenos, como la testosterona.

La síntesis y liberación de estas hormonas gonadotrópicas están reguladas por la hormona liberadora de gonadotrofinas (GnRH), secretada por el hipotálamo. Esta hormona establece la conexión entre los sistemas nervioso y endocrino, asegurando el control preciso de la función reproductiva.

Estrógenos, Andrógenos y Progesterona

Los esteroides sexuales son productos fundamentales de las gónadas y alcanzan concentraciones elevadas en el plasma (Borg, 1994). Se dividen en tres grupos principales: progestágenos, andrógenos y estrógenos. Los andrógenos y estrógenos son clave en la diferenciación sexual. Estudios han demostrado que la aplicación de andrógenos masculiniza una gónada indiferenciada, mientras que la de estrógenos la feminiza, independientemente del sexo genotípico (Yamamoto, 1969).

Síntesis y Regulación de los Esteroides Sexuales

Los esteroides sexuales se sintetizan a partir del colesterol, transportado al interior de las mitocondrias de las células esteroidogénicas mediante la proteína StAR (Arakane et al., 1997). La transformación del colesterol en andrógenos y estrógenos se realiza a través de rutas enzimáticas específicas (Bogart, 1987).

Estrógenos

Producidos principalmente en las células de la teca y granulosa de los folículos ováricos (Hoar y Nagahama, 1978).

Una vez liberados, viajan por el torrente sanguíneo hasta sus células diana, donde interactúan con el receptor de estrógenos (ER).

En ausencia de un ligando, el ER se encuentra inactivo, asociado a proteínas de choque térmico (hsp). Cuando se une un estrógeno, el receptor se activa y modula la expresión de genes dependientes de estrógenos (Tsai y O'Malley, 1994).

Andrógenos

En peces, los andrógenos más importantes incluyen la 11-cetotestosterona (11-KT), la 11 β -hidroxiandrostenediona y la 11 β -hidroxitestosterona (11 β -hidroxi-T), esenciales para el desarrollo masculino.

En términos generales, los andrógenos inducen la masculinización, mientras que los estrógenos promueven la feminización cuando actúan sobre una gónada sexualmente indiferenciada.

Hormonas del estrés y adaptación ambiental

El estrés en los peces afecta diversos niveles fisiológicos, desde respuestas hormonales inmediatas hasta procesos reproductivos a largo plazo. Para entender mejor estos cambios, se han clasificado las respuestas al estrés en tres niveles: **primarias, secundarias y terciarias**, cada una relacionada con distintos aspectos de la organización del organismo (Pérez, 2010).

-Respuestas Primarias: Ante la exposición a un agente estresante, el organismo activa respuestas hormonales inmediatas. En esta fase se produce la liberación rápida de:

- **Catecolaminas:** Incluyen adrenalina, epinefrina y noradrenalina, que actúan de forma casi instantánea para aumentar la frecuencia respiratoria, acelerar el ritmo cardíaco y movilizar la energía necesaria para enfrentar la situación.
- **Corticosteroides (principalmente cortisol):** Aunque su acción es más lenta que la de las catecolaminas, el cortisol ejerce efectos prolongados al activar el metabolismo energético.

Estos mecanismos se coordinan a través de dos ejes:

- **Eje Simpático-Cromafín:** Responsable de la rápida liberación de catecolaminas para responder a situaciones de emergencia.
- **Eje Hipotálamo-Hipófisis-Interrenal (HHI):** Estimula la producción de cortisol, manteniendo niveles elevados de glucosa para satisfacer demandas energéticas prolongadas (Ortuño et al., 2002; Pérez,

2010; Faught & Vijayan, 2018; Pamungkas, 2021).

En casos de estrés agudo, los niveles de cortisol pueden elevarse de forma dramática (entre 10 y 100 veces), alcanzando concentraciones de 30 a 300 ng/ml en pocos minutos y normalizándose en una o más horas.

Por ejemplo:

- En **Pagrus major**, Biswas et al. (2006) reportaron que el cortisol alcanzó 190.1 ng/ml a los 30 minutos de estrés por manejo y confinamiento, retornando a 10.9 ng/ml a las 24 horas.
- En **Acanthochromis polyacanthus**, se observó un pico de 30 ng/ml entre los 10 y 15 minutos tras confinamiento y nado forzado, con niveles que descendieron a 12 ng/ml al cabo de 24 horas.

Bajo estrés crónico, el cortisol se mantiene elevado de forma sostenida, aunque sin alcanzar los picos propios del estrés agudo, lo que indica que tanto la intensidad como la duración del estímulo influyen en la respuesta hormonal (Barton et al., 1980; Pickering & Pottinger, 1989).

Respuestas Secundarias: Las respuestas secundarias implican cambios metabólicos y fisiológicos que aseguran la disponibilidad de energía y el equilibrio osmótico:

- **Incremento de glucosa y lactato:** Estos cambios permiten proveer la energía necesaria durante el estrés.
- **Alteraciones en la concentración de iones:** Ayudan a mantener la osmorregulación.

El cortisol juega un papel fundamental en esta fase, ya que:

- Estimula la absorción de oxígeno y la gluconeogénesis.
- Inhibe la síntesis de glucógeno.
- Modula la respuesta inflamatoria, reduciendo la producción de citocinas y la respuesta de las proteínas de choque térmico frente a cambios de temperatura (Ackerman et al., 2000).

Para evaluar estas respuestas, se realizan mediciones de glucosa plasmática (usando kits comerciales y espectrofotómetros), lactato, iones y parámetros hematológicos (Vijayan & Moon, 1992). No obstante, factores extrínsecos como la temperatura, la alimentación y el estadio de desarrollo pueden influir en la respuesta hiperglucémica y alterar los resultados. Por ejemplo, Barton & Schreck (1987) observaron que, tras 10 semanas de manipulación diaria en truchas arcoíris, los niveles de glucosa se mantuvieron dentro de los valores basales.

Respuestas Terciarias: Las respuestas terciarias abarcan efectos a nivel de sistemas integrados del organismo, afectando la reproducción, el crecimiento y la inmunidad:

- **Reproducción:** Las condiciones de cultivo y el estrés pueden alterar la maduración gonadal y la calidad de los gametos. En cautiverio, es común que se requiera la inducción hormonal para favorecer la reproducción, ya que el eje hipotálamo-hipófisis-gónada, encargado de regular la gametogénesis y la maduración sexual, se ve afectado (Murugananthkumar & Sudhakumari, 2022).

En hembras, las disfunciones reproductivas pueden manifestarse como:

- Interrupción de la vitelogénesis.
- Maduración incompleta o fallida ovulación que conduce a la atresia.
- Ovulación sin desove.

En machos, el estrés puede producir espermatozoides con motilidad reducida o alta viscosidad, dificultando la fertilización (Schreck et al., 2001; Zohar & Mylonas, 2001).

Crecimiento e inmunidad: Las alteraciones en estos sistemas pueden manifestarse semanas o meses después de la exposición a factores estresantes. Estudios en truchas arcoíris han mostrado que la implantación de cortisol reduce tanto el peso corporal como el peso gonadal (Carragher et al., 1989), y que el estrés crónico previo al desove disminuye el tamaño de los huevos y la tasa de supervivencia de la progenie (Campbell et al., 1992).

Evaluación del Estrés en Peces

Además de las respuestas endocrinas y metabólicas, el estrés se refleja en cambios de comportamiento:

Conductas anormales: Aumento de la agresividad, mutilaciones y canibalismo, especialmente en especies territoriales (

En estudios con anguilas en cautiverio, se observó que establecen jerarquías; los individuos dominantes presentan menores alteraciones en parámetros como leucocitos, niveles de cortisol, tejido interrenal y epitelio lamelar (Ornelas-Luna, et. Al, 2017).

Sin embargo, en especies como la tilapia, que son naturalmente agresivas y territoriales, este comportamiento no siempre indica estrés, lo que limita el uso exclusivo de indicadores conductuales en el manejo de cultivos (Ornelas-Luna, et. Al, 2017).

Por ello, la evaluación del estrés en peces se basa principalmente en el análisis de respuestas hormonales (aumento de catecolaminas y cortisol), niveles de glucosa y otros parámetros bioquímicos, además de la detección de contaminantes en el ambiente (Boteloo-Navarrete, et al., 2024).

Aplicaciones en acuicultura y conservación

Manipulación hormonal para mejorar el crecimiento y la reproducción

El uso de hormonas para el control de la reproducción en peces se ha centrado en la inducción de la maduración final del ovocito (FOM), de la ovulación, la espermiación y la puesta en peces que no son capaces de completar su ciclo reproductivo en agua dulce, o bien como una forma de optimizar el manejo (rendimiento) productivo de una piscicultura, adelantando el proceso de maduración, ovulación y desove en algunas semanas. Por ejemplo, los salmonídos son peces que pueden ovular en cautiverio, pero no desovar. Por lo tanto, este último proceso debe ser realizado manualmente durante los meses que se prolonga el período de puesta. En estos peces, la ovulación es inducida artificialmente con el fin de reducir el manejo, el estrés de los peces y las altas mortalidades producidas en este

período de alta manipulación. Además de esto, permite reducir la duración del período de puestas y el nivel de trabajo del personal de la piscicultura (Donaldson 1997).

Otra aplicación de la manipulación hormonal es la colección de gametos para la hibridación interespecífica a través de fertilización artificial con especies que usualmente no desovan en sistemas de cultivo, o bien en programas de selección genética que requieren de fertilización artificial dirigida para dos grupos de peces diferentes. De esta manera, la manipulación hormonal de la reproducción en peces es específica para la inducción de la ovulación, espermiación y puesta, y continuarán jugando un importante papel en el manejo comercial de reproductores en sistemas de cultivo.

Uso de hormonas en inducción de desove

La inducción del desove en peces marinos mediante el uso de hormonas ha permitido obtener huevos fértiles de manera consistente, lo que ha facilitado el estudio detallado del desarrollo embrionario en diversas especies. Este método ha revolucionado tanto la investigación en biología reproductiva como las prácticas de acuicultura, al permitir el control y la optimización de los procesos reproductivos en condiciones de laboratorio o cultivo (Malta, et al., 2004).

Diversas especies de peces han sido sometidas a protocolos hormonales para inducir el desove. Entre las hormonas utilizadas, la gonadotropina coriónica humana (HCG) se destaca por su eficacia. La aplicación de HCG ha demostrado ser un agente inductor confiable, capaz de estimular el desove y, en consecuencia, mejorar la obtención de material biológico para estudios embrionarios. De esta manera, no solo se optimiza la producción de huevos fértiles, sino que también se abre la posibilidad de describir con mayor precisión las etapas embrionarias y comprender los mecanismos subyacentes al

desarrollo de cada especie (Malta, et al., 2004).

En resumen, la utilización de hormonas para inducir el desove en peces marinos representa una herramienta fundamental que ha permitido avanzar significativamente en el conocimiento de la biología reproductiva de estas especies y mejorar los procesos de cultivo en acuicultura.

Perspectivas futuras y desafíos

Necesidad de más estudios sobre regulación hormonal en especies comerciales

Optimización de la Reproducción y Crecimiento:

Mejora de la productividad: Comprender los mecanismos hormonales permite diseñar protocolos reproductivos más precisos (por ejemplo, para la inducción del desove) y mejorar la eficiencia en el crecimiento de las especies, lo que se traduce en una mayor producción acuícola.

Calidad de gametos y descendencia: Estudios detallados podrían ayudar a aumentar la calidad de los huevos y mejorar la tasa de supervivencia y el rendimiento de las larvas, aspectos cruciales para la cría exitosa en cautiverio (Carrillo et al., 2009).

Adaptación a Factores Ambientales:

Influencia del entorno: La regulación hormonal está estrechamente vinculada a factores ambientales (temperatura, salinidad, contaminantes, etc.). Investigar estas interacciones es esencial para entender cómo el estrés ambiental afecta la fisiología endocrina y, por ende, la salud y productividad de los peces.

Resiliencia ante el cambio climático: Con los cambios globales, es vital conocer cómo se adaptan o vulneran las especies comerciales ante nuevas condiciones ambientales, lo que permitirá desarrollar estrategias de manejo más sostenibles (Carrillo et al., 2009).

Reducción del Estrés y Mejora del Bienestar Animal:

Manejo del estrés en acuicultura: Una mejor comprensión de las respuestas hormonales frente a situaciones estresantes permitirá implementar prácticas de manejo que minimicen el estrés, reduciendo problemas como la supresión inmune, alteraciones en el crecimiento y fallas reproductivas.

Estrategias de inducción menos invasivas: Con estudios más profundos se pueden desarrollar métodos hormonales más seguros y efectivos, disminuyendo los efectos negativos a largo plazo sobre la salud de los peces.

Conservación y Manejo Sostenible:

Gestión de poblaciones comerciales: El conocimiento hormonal es clave para regular la reproducción y evitar la sobreexplotación, facilitando programas de reproducción en cautiverio y la reintroducción de especies.

Estrategias de cultivo responsables: Estos estudios aportan la base científica necesaria para diseñar sistemas de acuicultura que sean rentables y, al mismo tiempo, minimicen el impacto ambiental (Carrillo et al., 2009).

Implicaciones ecológicas y ambientales

Las implicaciones ecológicas y ambientales del uso de hormonas en la acuicultura y la regulación hormonal en especies comerciales de peces son variadas y deben ser cuidadosamente evaluadas para minimizar impactos negativos. A continuación, se describen algunas de las principales implicaciones:

Impacto en la Biodiversidad y Ecosistemas Acuáticos

Alteración de las relaciones ecológicas: La introducción de individuos manipulados hormonalmente, ya sea por escapes o liberaciones intencionales, puede modificar la estructura y dinámica de las poblaciones

naturales, afectando las interacciones entre especies (Congresos CIO, s.f.).

Disminución de la variabilidad genética: El uso intensivo de técnicas hormonales en programas de cría podría reducir la diversidad genética, comprometiendo la capacidad de adaptación de las poblaciones frente a cambios ambientales o enfermedades (Congresos CIO, s.f.).

Contaminación Ambiental

Residuos hormonales: Las hormonas utilizadas en acuicultura pueden ser liberadas al ambiente a través de efluentes o restos de medicaciones, lo que podría alterar el equilibrio endocrino de organismos no objetivo y afectar a la fauna silvestre (Bio Eco Actual, 2014).

Bioacumulación: Estas sustancias, al persistir en el medio ambiente, tienen el potencial de acumularse en organismos, generando efectos a largo plazo en la salud de los ecosistemas acuáticos (Bio Eco Actual, 2014).

Sostenibilidad en la Producción Acuícola

Balance entre productividad y cuidado ambiental: Si bien el uso de hormonas puede mejorar la eficiencia reproductiva y aumentar la producción, es crucial implementarlo de manera responsable para evitar impactos negativos que puedan comprometer la salud de los ecosistemas y la sustentabilidad de la actividad acuícola (Instituto del Agua, s.f.).

Riesgo de dependencia tecnológica: La dependencia excesiva de técnicas hormonales puede llevar a la pérdida de mecanismos reproductivos naturales, dificultando la resiliencia de las especies en condiciones de estrés ambiental o cambios en el entorno (Instituto del Agua, s.f.).

Interacción con Especies Nativas

Competencia y desplazamiento: La posible liberación o escape de individuos criados con apoyo hormonal puede competir con especies

nativas por recursos, alterando el equilibrio de los ecosistemas locales (Congresos CIO, s.f.).

Transferencia de características modificadas: La introducción de individuos con modificaciones en su regulación hormonal podría afectar la aptitud y comportamiento de poblaciones silvestres, modificando procesos evolutivos naturales (Congresos CIO, s.f.).

Necesidad de Normativas y Monitoreo Ambiental:

Regulación estricta: Es fundamental establecer y aplicar normativas que controlen el uso de hormonas en la acuicultura, garantizando prácticas seguras y sostenibles que minimicen los riesgos para el medio ambiente (Ayuntamiento de Zaragoza, s.f.).

Monitoreo continuo: La implementación de programas de vigilancia ambiental que evalúen la presencia y efectos de hormonas residuales en los ecosistemas acuáticos es esencial para detectar y mitigar posibles impactos negativos (Ayuntamiento de Zaragoza, s.f.).

CONCLUSIONES

La regulación hormonal en peces emerge como un componente central en la orquestación de múltiples procesos fisiológicos, siendo determinante para el crecimiento, la reproducción, la respuesta al estrés y la adaptación a factores ambientales. El análisis de la literatura evidencia que la integración del sistema endocrino –a través de ejes como el hipotálamo-hipófisis-interrenal y el hipotálamo-hipófisis-gónada– es esencial para mantener la homeostasis y responder a desafíos tanto internos como externos.

El conocimiento detallado de las funciones de hormonas clave, como las gonadotropinas, corticosteroides y somatotropina, ha permitido el desarrollo de estrategias hormonales aplicables en acuicultura. Estas intervenciones han demostrado ser efectivas para inducir procesos reproductivos críticos, como la maduración, ovulación, espermatización

y desove, lo que se traduce en una mejora en la calidad y cantidad de gametos, facilitando así la producción de alevines y la descripción embrionaria de diversas especies. Asimismo, la manipulación hormonal contribuye a mitigar los efectos negativos del estrés en el rendimiento productivo, optimizando el bienestar animal en condiciones de cultivo.

No obstante, el uso intensivo de técnicas hormonales plantea importantes desafíos ecológicos y ambientales. La posible alteración de las relaciones ecológicas, la reducción de la diversidad genética en poblaciones manipuladas y la liberación de residuos hormonales en el medio ambiente son aspectos que requieren una evaluación rigurosa y el establecimiento de normativas estrictas. La integración de prácticas de manejo sostenible y programas de monitoreo ambiental resulta indispensable para

minimizar estos impactos y garantizar que el uso de hormonas en acuicultura se realice de manera responsable.

En síntesis, la regulación hormonal en peces no solo constituye una herramienta fundamental para mejorar la eficiencia reproductiva y el crecimiento en sistemas de cultivo, sino que también representa un campo de investigación en constante evolución. El avance en este conocimiento, junto con la implementación de enfoques menos invasivos y el desarrollo de normativas ambientales, será clave para consolidar una acuicultura más productiva y sostenible. Se recomienda fomentar estudios interdisciplinarios que profundicen en la interacción entre los factores ambientales y la respuesta endocrina, con el fin de enfrentar los desafíos actuales y futuros en la producción acuícola.

REFERENCIAS

1. Aranzazu Taborda, D. A., Rodríguez, B. D. J., & Duque Agudelo, B. A. (2012). Disrupción endocrina en peces. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 25(2), 312-323.
2. Ayuntamiento de Zaragoza. (s.f.). *Contaminantes hormonales en el medio ambiente*. Recuperado de <https://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/contaminantes-hormonales.pdf>
3. Botello-Navarrete, A., González-Huerta, C. A., & Leal, I. Z. (2024). EFECTOS Y EVALUACIÓN DEL ESTRÉS SOBRE LA REPRODUCCIÓN EN PECES. *Acta Pesquera*, 10(20), 15-28.
4. Bio Eco Actual. (2014). *Hormonas sintéticas en el medio ambiente: efectos en la fauna fluvial y marina*. Recuperado de <https://www.bioecoactual.com/2014/09/18/hormonas-sinteticas-en-el-medio-ambiente-efectos-en-la-fauna-fluvial-y-marina-por-pedo-burrueto-redactor-jefe-de-the-ecologist-musico-y-compositor/>
5. Carrillo, M., Zanuy, S., Felip, A., Bayarri, M. J., & Rodríguez, L. (2009). *Reproducción en peces: De la investigación básica a la aplicación en acuicultura*. Fundación OESA. Recuperado de https://www.observatorio-acuicultura.es/sites/default/files/images/adjuntos/libros/reproduccion_en_peces_obra_completa_web.pdf
6. Congresos CIO. (s.f.). *Impacto ambiental del uso de hormonas en la acuicultura*. Recuperado de https://congresos.cio.mx/15_enc_mujer/cd_congreso/archivos/resumenes/S4/S4-BYQ26.pdf
7. J. E. (1995). *Avances en el cultivo de peces del género Colossoma*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Recuperado de <https://www.fao.org/4/ab491s/AB491S02.htm>
8. Instituto del Agua. (s.f.). *Impacto ambiental de la acuicultura*. Recuperado de <https://institutodelagua.es/acuicultura/impacto-ambiental-de-la-acuicultura-pdfacuicultura/>

9. Mata, E., Rosas, J., Velásquez, A., & Cabrera, T. (2004). Inducción hormonal al desove y descripción larval del corocoro Orthopristis ruber Cuvier (Pisces: Haemulidae). *Revista de biología marina y oceanografía*, 39(1), 21-29.
10. Necropsy Manual. (s.f.). *Endocrine system of teleosts*. Recuperado de <https://www.necropsymanual.net/es/teleosts-anatomy/endocrine-system/>
11. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2024). *FAO report: Global fisheries and aquaculture production reaches a new record high*. FAO. Recuperado de <https://www.fao.org/newsroom/detail/fao-report-global-fisheries-and-aquaculture-production-reaches-a-new-record-high/es>
12. Ornelas-Luna, R., Aguilar-Palomino, B., Hernández-Díaz, A., Hinojosa-Larios, J. Á., & Godínez-Siordia, D. E. (2017). Un enfoque sustentable al cultivo de tilapia. *Acta universitaria*, 27(5), 19-25.
13. Salinas, C. A. A., & Trujillo, J. A. E. (2019). *Alexánderson: Fisiología de los sistemas endocrino y digestivo*. Editorial El Manual Moderno.
14. SAPO Humboldt. (s.f.). *Índice gonadosomático (IGS)*. Recuperado de <https://www.sapohumboldt.org/indice-gonadosomatico-igs>
15. Valdebenito, I. (2008). Terapias hormonales utilizadas en el control artificial de la madurez sexual en peces de cultivo: una revisión. *Archivos de medicina veterinaria*, 40(2), 115-123.

Citar artículo: Solarte-Cazar, M. A., Pineda-Soto, C. A., & Pineda-Insuasti, J. (2025). Regulación hormonal en peces y aplicaciones en acuicultura: una revisión. *Biorrefinería* 8 (1). Obtenido de <https://cebaecuador.org/publicaciones/revista-biorrefineria/>

Información de revisión por pares: Revista Biorrefinería agradece a los revisores anónimos por su contribución a la revisión por pares de este trabajo utilizando <https://reviewerlocator.webofscience.com/>.

Acceso abierto: Todos los artículos publicados por Revista Biorrefinería son accesibles en línea de forma gratuita y permanente inmediatamente después de su publicación, sin cargos de suscripción ni barreras de registro.

Nota del Editor: Revista Biorrefinería se mantiene neutral con respecto a reclamos jurisdiccionales en mapas publicados y afiliaciones institucionales.

Copyright: © 2024 por los autores. Presentado para posible publicación en acceso abierto bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

CARACTERIZACIÓN DE LAS LIGNINAS OBTENIDAS POR MÉTODOS DE DESPOLIMERIZACIÓN ÁCIDA Y ALCALINA

CHARACTERIZATION OF LIGNINS OBTAINED BY ACID AND ALKALINE DEPOLYMERIZATION METHODS

E. Roca¹, Y. González^{1*}, A. Brown², A. Álvarez², A. Vizcaino¹, S. Bermúdez¹, A. Montalván-Estrada¹

¹Centro de Estudios Avanzados de Cuba. La Habana, Cuba.

²Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. La Habana, Cuba.

Autor para correspondencia: *yorexis.ga@cea.cu; yorexis.gonzalez@gmail.com

Recibido: 17/04/2025

Aceptado: 29/04/2025

RESUMEN

La lignina, agro derivado de la industria azucarera cubana, es un candidato potencial para la formación de nanoestructuras y su aplicación en la liberación controlada de medicamentos. En el presente trabajo se caracterizó las ligninas alcalina y ácida proveniente del proceso de deslignificación de la Planta de Celulosa CUBAPEL y las muestras fueron identificadas morfológica, estructural y composicionalmente empleando los métodos de microscopía electrónica, calorimetría, espectroscopía infrarroja y ultravioleta visible, la determinación del tamaño y la carga superficial. Los resultados obtenidos evidenciaron que la formación de nanovehículos de lignina es dependiente del tipo de lignina empleada, del agente dispersante, del pH de la suspensión, de la concentración de lignina y de la intensidad del proceso de homogeneización.

Palabras clave: Caracterización, biopolímero, lignina.

ABSTRACT

Lignin, agro-derivative of the Cuban sugar industry, is a potential candidate for the formation of nanostructures and its application in controlled release of medicines. In the present work the alkaline and acid lignins from the delignification process of the CUBAPEL Pulp Mill was characterized and the samples were identified morphologically, structurally and compositionally using the methods of electron microscopy, calorimetry, infrared and ultraviolet visible spectroscopy, size determination and surface charge.

The results obtained evidenced that the formation of lignin nanovehicles is dependent on the type of lignin used, the dispersing agent, the pH of the suspension, the lignin concentration and the intensity of the homogenization process.

Keywords: Characterization, biopolymer, lignin.

INTRODUCCIÓN

La lignina es un biopolímero natural heterogéneo que forma parte de la pared celular del tejido vascular de las plantas,

provee cierta aromaticidad aportada por el grupo fenilo presente en su estructura, rigidez estructural confiriendo soporte a las células especializadas en sostén y almacenamiento así

como resistencia a la tensión y presión hídrica (Maceda et al., 2021; Renault et al., 2019). La composición promedio de lignina en la madera se encuentra entre un 15-25 % y específicamente en el bagazo de la caña (Chávez S & Domine M., 2013; Novaes et al., 2010) (*Saccharum species*), uno de los residuos agroindustriales más abundantes en el planeta, en un 14 %. La diversificación de la industria azucarera utiliza la lignina del bagazo de caña como materia prima fundamental y lo convierte en subproductos de alto valor agregado (Bermello et al., 2008; Cruz et al., 1997) (Dopico & Cordero, 2012; «Valorización de la lignina en el concepto de biorrefinería», 2020).

Numerosos artículos abordan la infinidad de bondades que ofrece este recurso renovable⁹ y su potencial aplicación industrial para la formulación de espumas de poliuretano, en la producción de polímeros de termoplástico, de relleno en películas de ácido poliláctico, producción de fibras de carbono (Cordero & Rodríguez Mirasol, s. f.; Souto et al., 2015) como agente antioxidante, en la fabricación de aglomerantes y emulsionante, en la producción de resinas fenólicas (Corrales M., s. f.) con actividad antibacteriana, como antiviral, antimutagénica, antialérgica, anticarcinogénica, antiulcerosa, en el control de trastornos del metabolismo como la diabetes y el colesterol (Vinardell M. & Mitjans, 2017), en los alimentos, en la remediación de agua (Govan, 2020; Wu et al., 2020) como matrices soportadas (Chen et al., 2020; Hu et al., 2020) para la remoción de contaminantes pesados, en la modificación de polímeros adhesivos (Brown G. et al., 2018), como biocombustible (López et al., 2010; «Valorización de la lignina en el concepto de biorrefinería», 2020) y de especial interés en la liberación controlada de medicamentos (Alqahtani et al., 2019; Figueiredo et al., 2017, p. 201720; Qianqian et al., 2020; Siavash & Rajender S., 2020; Vinardell M. & Mitjans, 2017) (Farhat et al., 2017) donde ha sido evaluada su resistencia a la degradación, su

actividad biológica contra enfermedades infecciosas, su capacidad de absorción, su biodegradabilidad y su toxicidad.

Su compleja estructura está en función del origen y el método de despolimerización empleado siendo su identificación en ocasiones compleja por la naturaleza de sus múltiples unidades estructurales (Chávez S & Domine M., 2013; Souto et al., 2015; «Valorización de la lignina en el concepto de biorrefinería», 2020). Los métodos de obtención son otra forma de clasificación de las ligninas y su preparación define su posterior aplicación (Qianqian et al., 2020). Así se clasifican en: lignina soda: emplea el hidróxido de sodio como reactivo químico, lignina organosolv: se lleva a cabo la deslignificación de biomasa con mezcla de agua y solventes orgánicos, lignina Klason: producto de la hidrólisis con ácido sulfúrico de los polisacáridos de la biomasa y lignina de proceso de ácido diluido: donde se usan ácidos a alta temperatura entre otros métodos descrito por otros autores como las ligninas sulfonadas y las obtenidas por hidrólisis enzimática (Qianqian et al., 2020).

Su producción mundial, a partir de la fabricación de papel y bioetanol oscila sobre los de 50 millones de toneladas anuales y más del 95 % de esa cantidad es utilizada en la generación de calor.

Teniendo en cuenta las propiedades potenciales de aplicación de las ligninas, el Centro de Estudios Avanzados de Cuba (CEA) en colaboración con el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) tienen como propósito caracterizar las ligninas obtenidas por el método de despolimerización alcalina y ácida, proporcionadas por la Planta de Celulosa CUBAPEL, con el propósito de evaluar su utilización en la liberación controlada de fármacos utilizando como herramienta la nanotecnología.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras de lignina obtenida de la hidrólisis alcalina (LB) y la de hidrólisis ácida (LA) se recepcionaron en el laboratorio de análisis en forma de un polvo fino de coloración carmelita proveniente de la Empresa CUBAPEL. Para la caracterización de las muestras se emplearon las técnicas de espectrofotometría, microscopía, calorimetría, de determinación del pH, tamaño y carga superficial.

Las muestras de lignina fueron previamente homogeneizadas en agua para inyección a valores de concentración de 0,25 y 3 % en cada caso. Para ello se utilizó un homogeneizador por alta presión a una velocidad de 1350 x 10 rpm.

Medición de pH

Las mediciones de pH fueron realizadas empleando un pHmetro (Seven Multi S47), Mettler Toledo AG a las ligninas previamente homogenizadas en agua de calidad para inyección.

Microscopía Electrónica de Barrido y Espectrometría de Energía Dispersiva por Rayos X

La microscopía electrónica de barrido y la espectrometría de energía dispersiva por rayos X permite la observación, caracterización superficial y de composición de los sólidos orgánicos. Fue realizada en un equipo con emisor de efecto de campo: FE, de la firma TESCAN, modelo Mira3, resolución ~ 1 nm. Una pequeña porción de la muestra se depositó en el portamuestra con cinta de carbono y luego fue cubierta en un equipo de recubrimiento nanoestructurado con una capa de oro a un espesor de 10 nm (DSR1, *Nano-Structured Coatings*) para hacer las muestras conductoras. El equipo utiliza un haz de electrones secundarios para formar una imagen ampliada de la superficie que permite observar y caracterizar las muestras sólidas. Las imágenes fueron analizadas a una

magnitud de 6,48-6,77 kX y un voltaje de 5,0 kV para un campo de visión de 5 μm .

Con el propósito de conocer la composición química y el análisis elemental de las muestras se realizó la técnica de espectrometría de energía de dispersiva por rayos X de EDS (Oxford) con detector de estado sólido de silicio (X-max) de 80 mm^2 y modo de enfriamiento *Peltier*.

Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier

La espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier es una técnica de alta sensibilidad, selectividad, precisión y simplicidad para determinar grupos funcionales de un material. Para la realización de la técnica se empleó el equipo de la firma SHIMADZU, modelo IRPrestige-21, utilizando la reflectancia total atenuada (ATR por sus siglas en inglés) para el análisis superficial de la muestra en un intervalo de número de onda desde 600 hasta 4000 cm^{-1} con un total de 30 repeticiones y una resolución de 4 cm^{-1} .

Calorimetría diferencial de barrido

La determinación de las propiedades térmicas, incluyendo las temperaturas de cambios de fases y sus efectos térmicos de las diferentes muestras, se llevó a cabo en el calorímetro diferencial de barrido de la firma SHIMADZU, modelo DSC-60. En una cápsula de aluminio fue pesada una masa aproximada de 3 mg de lignina (básica y ácida según corresponda), la misma se calentó desde la temperatura ambiente hasta 400°C con una rampa de calentamiento de 25°C/min, con atmósfera de aire.

Determinación de tamaño medio de las partículas de lignina y estabilidad de la suspensión

Para la determinación de tamaño de la lignina la suspensión fue evaluada empleando el equipo de dispersión de dinámica de la luz de la firma Malvern, modelo NanoZetaSizer. El equipo trabaja en el intervalo de tamaño de

partícula desde 0,3 nm hasta 10 μm y permite el análisis de muestras desde 0 °C hasta 120 °C. El equipo cuenta con un láser de He-Ne de 632 nm.

Espectrofotometría ultravioleta-visible

Para el barrido espectrofotométrico de las soluciones acuosas de lignina se utilizó el detector ultravioleta de la firma SHIMADZU, modelo UV 1800. Las muestras de lignina diluidas a una concentración de 0,25 % fueron analizadas en la región ultravioleta-visible (190 – 800 nm) para detectar la absorción de los grupos fenólicos correspondientes a los grupos alifáticos y característicos de las ligninas sobre la región de los 190 a 360 nm.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Medición de pH

La medición del pH realizada a cada tipo de lignina homogeneizada a una concentración de 0,25 % se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Valor de pH estimado para ambas ligninas a una concentración de 0,25 %

Muestra	pH	Temperatura (°C)
Lignina alcalina	7,247	23,2
Lignina ácida	4,802	23,2
Agua para inyección	5,502	23,6

Los valores de pH mostrados en la tabla 1 están en correspondencia con la metodología de obtención para cada tipo de lignina. Ambas ligninas muestran valores de pH aceptables para ser administradas al organismo. Su utilización estará sujeta al campo de acción del ingrediente farmacéutico funcionalizado y la naturaleza del biopolímero (Vinardell M. & Mitjans, 2017).

Microscopía Electrónica de Barrido y Energía de Dispersión por rayos X

La microscopía electrónica realizada a las muestras de lignina permitió visualizar la morfología de las partículas. En la figura 1 para el caso de las imágenes A y B se muestra que la

lignina ácida (LA) presenta una morfología polidispersa en forma esférica (A) y en forma tubular (B). Sin embargo, para el caso de la lignina alcalina (LB) la forma esférica es predominante como se observa en la figura 1 C.

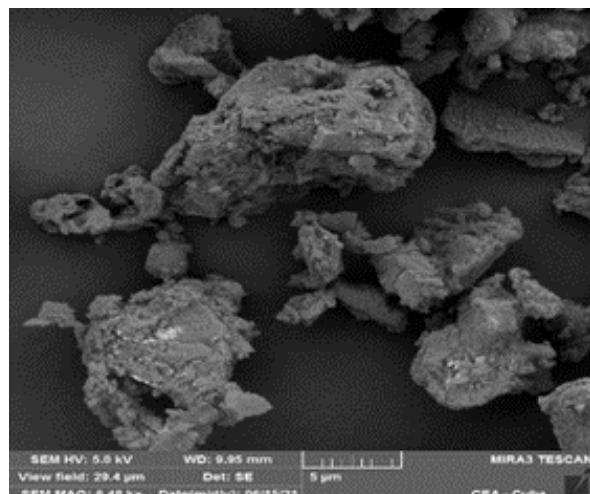


Figura 1A Micrografía de la microscopía electrónica de barrido para la lignina ácida (LA) con tendencia a la forma esférica.

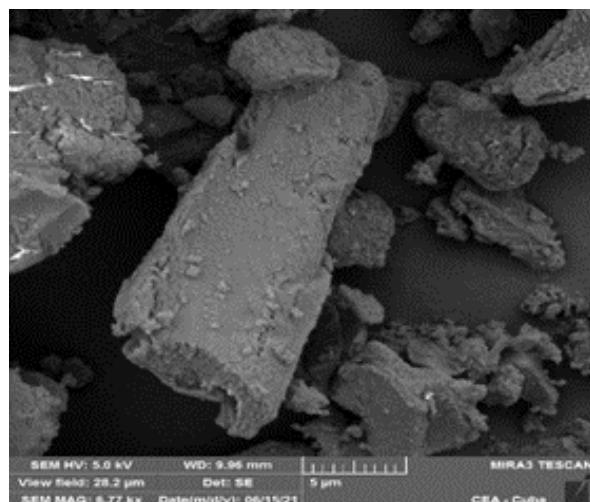


Figura 1B Micrografía de la microscopía electrónica de barrido para la lignina ácida (LA) con tendencia a la forma tubular.

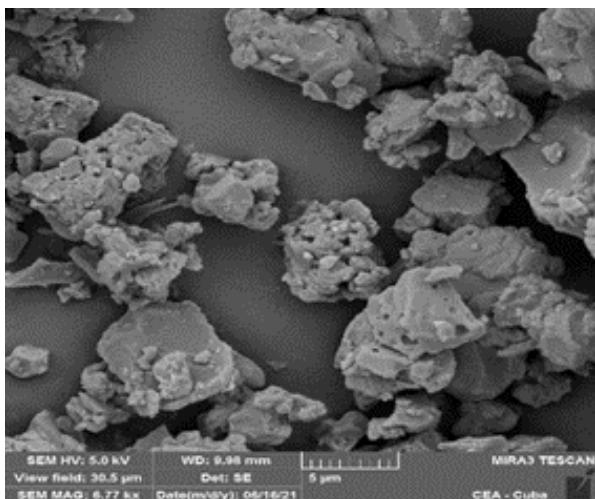


Figura 1 C Micrografía de la microscopía electrónica de barrido para la lignina básica (LB).

El análisis de la superficie de las partículas mostró que existen diferencias superficiales entre ambas ligninas en lo cual influyen las condiciones del método de despolimerización. En la figura 2A para la lignina ácida se puede observar que la superficie es rugosa, mientras que, en la figura 2B para la lignina alcalina se observa una superficie lisa característico del tratamiento con el álcali. En la literatura revisada no se evidencian reportes sobre la funcionalización de medicamentos asociada al tipo de superficie de la lignina sino relacionada a su estructura química.

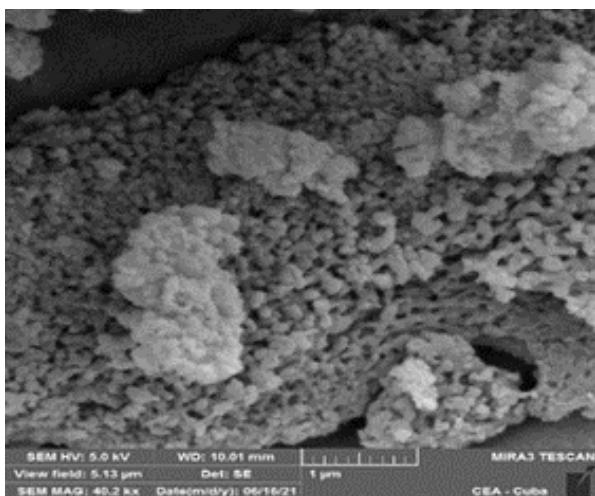


Figura 2 A Micrografía de la microscopía electrónica de barrido para el análisis de la superficie de la lignina ácida (LA)

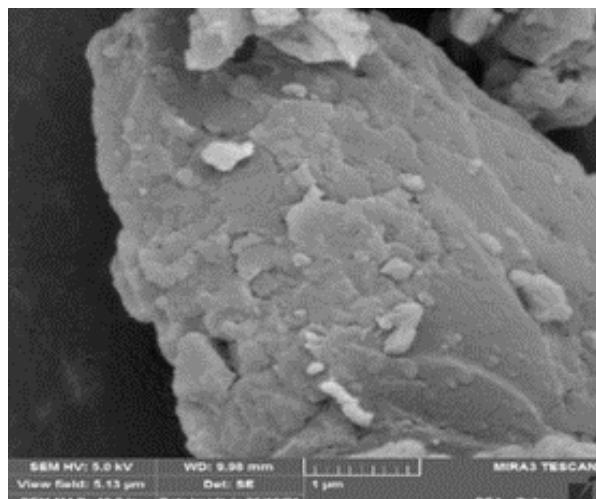


Figura 2 B Micrografía de la microscopía electrónica de barrido para el análisis de la superficie de la lignina básica (LB).

El análisis cuantitativo de composición química superficial de las ligninas, ilustrado en la figura 3, evidenció que el carbono y el oxígeno son los elementos característicos y mayoritarios que se encuentran en su composición y están relacionados a la naturaleza del polímero. Otros componentes como el azufre y el sodio presentes son productos remanentes del proceso de despolimerización. La presencia de silicio y calcio se infiere a la adsorción de compuestos naturales del suelo por la planta. El cobre encontrado en ambas ligninas se asocia a trazas del proceso mecánico por el cual es sometida la muestra durante el tratamiento.

La funcionalización de medicamentos a las ligninas varía en función de su estructura química y es favorecido por la adición de compuestos químicos o por las capacidades intrínsecas de este biopolímero de transportar compuestos hidrofóbicos (Siavash & Rajender S., 2020). La presencia de trazas contaminantes en el proceso puede desfavorecer la selección de la lignina para el campo de la biomedicina dejando este producto para ser utilizado en otras de sus aplicaciones. Sin embargo las ligninas comercialmente disponibles como las ligninas sulfonadas y las ligninas *Kraft* presentan un contenido de azufre que oscila entre 3,5–8,0 %

y 1,0–3,0 % respectivamente y son estudiadas como medio transportador de medicamentos (Vinardell M. & Mitjans, 2017). Otras ligninas como las obtenidas mediante solventes orgánicos y por hidróxido de sodio no contienen azufre en sus trazas y por ende son seleccionadas para la obtención de productos con alto valor agregado.

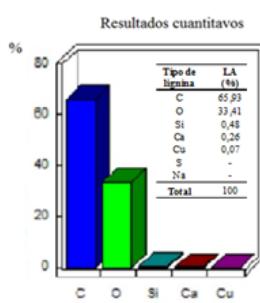


Figura 4 A



Figura 4 B

Las figuras 4A y 4B visualizan las zonas de distribución de los componentes químicos en las muestras de lignina mediante la combinación de colores a diferentes intensidades o niveles de contraste, también el tamaño y la textura.

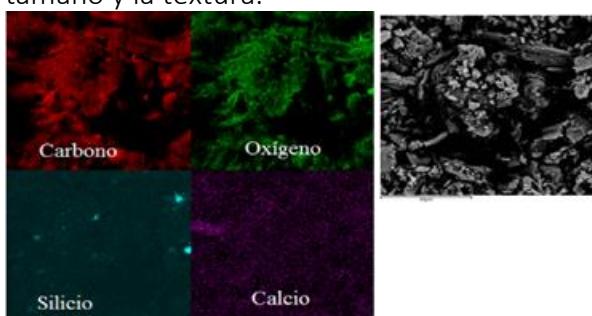


Figura 4A Micrografía electrónica para el análisis de la composición química por color de la lignina ácida.

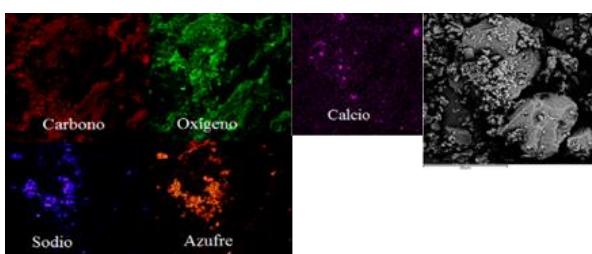


Figura 4B. Micrografía electrónica para el análisis de composición química por color para la lignina básica.

Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier

Las muestras fueron caracterizadas por espectroscopía infrarroja (FT-IR-ATR por sus siglas en inglés) para determinar la estructura química e identificar los grupos funcionales presentes en cada muestra de lignina. El análisis fue ejecutado teniendo en cuenta las bandas vibracionales de los enlaces O-H, C-H, C=O, -CH₂-, C-O-C provenientes de los grupos piranósicos y glucosídicos característicos de los sacáridos que componen las ligninas.

Para la interpretación de los espectros (Figura 5) se analizaron los picos con marcada intensidad a 3323 cm⁻¹ y 3325 cm⁻¹ correspondiente a la vibración por tensión y estiramiento del grupo hidroxilo –OH (alcohol fenólico) presente en los sacáridos y característico de muestras que contienen humedad, seguido por dos picos a 2918- 2847 cm⁻¹ (LA) y 2936 -2843 cm⁻¹ (LB) particulares del estiramiento del enlace C-H de los grupos metilos y metilenos alifáticos.

A 1597 cm⁻¹ - 1449 cm⁻¹ se observa la banda de estiramiento C=C correspondiente al patrón de fenilo, seguido de una vibración de 1319 cm⁻¹ y 1331 cm⁻¹ correspondientes a la vibración del enlace -CH₃. En 1220 cm⁻¹ y 1022 cm⁻¹ se muestran las vibraciones del enlace C-O-C, C-OH y C-4-OH pertenecientes a restos de la celulosa y al anillo β-glucopiranosa de celulosa característicos de los azúcares piranósicos.

Finalmente, un pico sobre los 800 cm⁻¹ que representan la vibración del enlace CH₂OH, mientras que a 804 cm⁻¹ y 860 cm⁻¹ se aprecia el estiramiento del enlace C-O-S producto del proceso de hidrólisis en la obtención del material. El análisis del espectro IR permitió corroborar la naturaleza de ambos tipos de lignina.

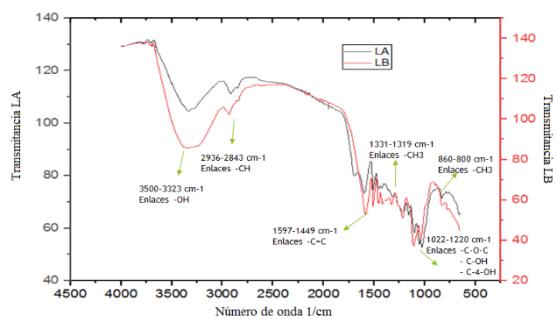


Figura 5. Superposición del espectro IR para las ligninas ácidas (LA) y básicas (LB) entre los 4000 cm^{-1} y los 450 cm^{-1} .

En la literatura podemos encontrar diferentes métodos de preparación de nanopartículas a base de lignina, entre ellos se encuentra el método antidisolvente de CO_2 , el método de reticulación, el método por ultrasonido, el método de polimerización, el método de precipitación ácida, el método de intercambio de solventes y el método por autoensamblaje. Esta última metodología aprovecha las propiedades intrínsecas del biopolímero, las interacciones no covalentes intermoleculares como las hidrofóbicas, electrostáticas, de enlaces de hidrógeno y las interacciones de Van der Waals. Mediante la adición de compuestos químicos que cambian la estructura de la lignina y propician este tipo de interacción se genera la formación de coloides esféricos y esféricos ahuecados (Qianqian et al., 2020) que han demostrado una alta eficacia en la transportación de medicamentos.

Calorimetría diferencial de barrido

Con el propósito de conocer las fases de transición de las fibras de lignina se realizó la calorimetría diferencial. La lignina es un biopolímero resistente a la degradación, de hecho lo hace con una descomposición lenta en el intervalo de 30 a 900°C , específicamente el intervalo de 200 - 700°C se corresponde al valor teórico de descomposición térmica (Wu et al., 2020, p. 202). En este caso el experimento solo se ejecutó hasta la temperatura de 450°C .

Los termogramas correspondientes a las ligninas ácida y alcalina se presentan en la figura 6. Para la lignina ácida se observa que existe una liberación de calor lo que indica un cambio de estado del material lento que ocurre entre los 30 - 300°C , mientras que en el perfil de la lignina alcalina se muestra una primera transición térmica a los 111°C y una segunda discreta transición térmica a los 177°C . Esta primera transición, de carácter endotérmico (-185,48 mJ) puede estar asociada a una pérdida de humedad en el material. Sobre la temperatura de los 400°C ocurre otro cambio de fase cuya causa no se puede determinar pues la técnica solo fue ejecutada hasta los 450°C pero se puede inferir que está relacionada a la pirolisis de la lignina.

Respecto a esta técnica existe divergencia entre las citas bibliográficas cuando se analiza la temperatura de descomposición de la lignina (Renault et al., 2019), algunos autores refieren que su valor se encuentra alrededor de los 190°C , valor en el cual comienza la homólisis del enlace más débil, otros argumentan que de 200 - 230°C hay degradación de los carbohidratos presentes en la lignina y que su degradación ocurre incluso a 300°C ¹¹. Hay otros investigadores que defienden que la degradación de la lignina ocurre de 200 a 450°C , y por encima de los 400°C ocurre el pirólisis de la lignina, reacciones de descomposición y condensación de anillos aromáticos.

La utilización de un tipo de lignina u otro estará en función de la necesidad del tiempo de liberación del fármaco pues en el proceso de liberación controlada influyen otras variables como el pH del medio que en conjunto con la estabilidad térmica del sistema contribuyen a la liberación acelerada o a largo plazo del mismo.

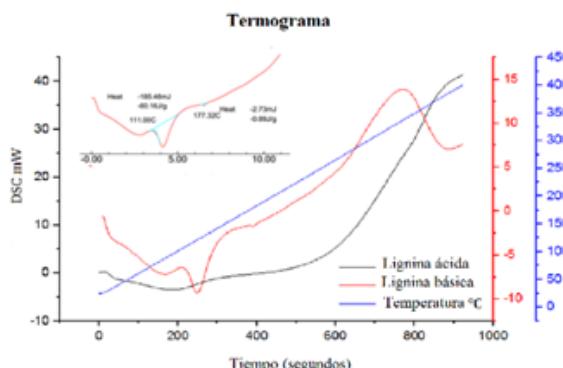


Figura 6. Termograma correspondiente a los cambios de estado por temperatura para la lignina ácida y la lignina básica.

Determinación de tamaño medio de las partículas de lignina y estabilidad de la suspensión

Las ligninas ácida y alcalina fueron homogeneizadas a alta presión utilizando como solvente el agua a una concentración de 0,25 y 3%. En las figuras 7A y 7B se observan las gráficas de distribución por tamaño que muestras del carácter polidisperso de ambos tipos de ligninas a las diferentes concentraciones. Para cada tipo de lignina homogenizada se determinó el tamaño de partícula en la suspensión y fue evaluada su estabilidad con el propósito de conocer el comportamiento del sistema nanoestructurado en el transcurso del tiempo (Tabla 2).

Tabla 2. Distribución de tamaño promedio para cada tipo de lignina a una concentración de 0,25 % y 3 % evaluado tiempo 0 y 24 h.

Nom bre	% Tama ño prom edio (nm)						Dist. estandar/ corrida	
	Tama ño prom edio (0 h)		Tama ño prom edio (24 h)		Tama ño prom edio (24 h)			
	N o desv está ndar	N o desv está ndar	N o desv está ndar	N o desv está ndar	N o desv está ndar	N o desv está ndar		
DLA0, 25%	72 1959 27 400,9	,2 1086 124, 6	1910 22 326,7	,2 1089 106, .8	77 106, .8	1934, 363,8	34,65 52,47	
DLB0, 25%	64 2497 35 307,9	,7 1245 113, .3	58 1953 41 315,8	,2 1030 127, .8	58 2225 311,8 6	384,67 5,59		
DLA3 %	98 1962 1, 143,7	,1 1270 24,8 3	98 831,5 1, 5409	,7 8 1, 3	278, 75 302, 4	1396, 799,38 2776, 35		
DLB3 %	51 277,1	114, .2	77 413,4	270, .8	345,2 4	96,38		

1255	39	627,				1957,	
	,9	3	2660	19	1161	5	993,49
			865,		3,	11,5	2267,
4474	9	5	61,71	2	9	855	3119,96

Los resultados obtenidos evidencian que la distribución de tamaño es una variable dependiente del tipo de lignina y de la concentración de empleada. Cuando se trabaja a una concentración de 0,25 % para ambos tipos de lignina existe una distribución de tamaño de dos poblaciones donde aproximadamente el 36 % de las partículas presenta un tamaño cercano a los 300 nm. Al trabajar a concentraciones cercanas al 3 %, para el caso de la lignina alcalina, se obtiene una distribución de tres poblaciones de partículas donde aproximadamente el 64 % presenta un tamaño cercano a los 300 nm. Teniendo en cuenta estos resultados trabajar a altas concentraciones de lignina alcalina sería una variable que favorecería el proceso de obtención de partículas nanoestructuradas.

La estabilidad de la suspensión fue medida a tiempo cero y a las 24 h posterior a la homogeneización. Comprobada mediante la medición de la velocidad lineal de movimiento de las fases y el empleo de la ecuación de Helmholtz-Smoluchowski, el potencial zeta, brinda información sobre la naturaleza de las cargas eléctricas que predominan en la superficie de las partículas y la estabilidad del sistema a su agregación. El valor negativo indica que en la superficie de las partículas predominan las cargas eléctricas negativas. Para el caso de la lignina ácida (figura 8A), medida a una concentración de 0,25 %, el potencial Z presenta un valor negativo como se muestra en la tabla 3.

Este resultado favorece el proceso de funcionalización de un compuesto a este tipo de lignina si se utilizan las interacciones electrostáticas. El valor obtenido indica que la lignina ácida presenta un comportamiento estable en el transcurso del tiempo y que por lo tanto el fenómeno de aglomeración no está presente en ese período.

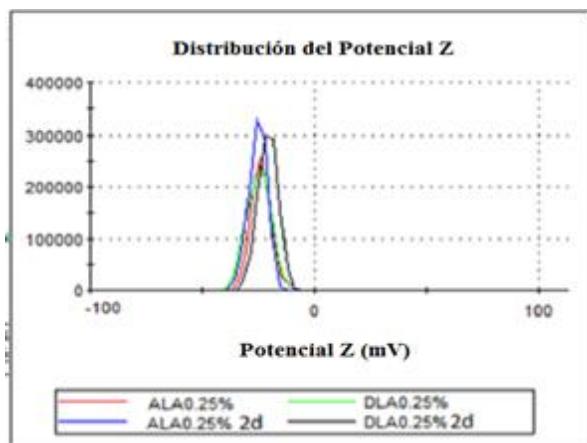


Figura 7A. Distribución de tamaño de partícula para la lignina ácida y básica a tiempo 0 y pasada las 24h a una concentración igual a 0,25 %

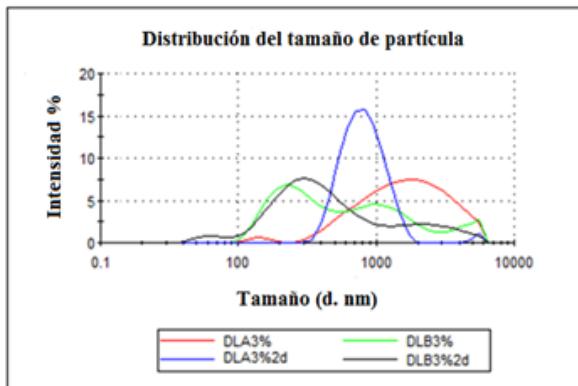


Figura 7B. Distribución de tamaño de partícula para la lignina ácida y básica a tiempo 0 y pasada las 24h a una concentración igual a 3 %.

La lignina alcalina (figura 8B), medida a una concentración de 0,25 %, mostró un valor de potencial Z con un valor negativo (tabla 3) lo que favorece la estabilidad inicial del sistema sin embargo pasadas las 24 horas se observan dos poblaciones con valor de potencial Z diferente lo que infiere que para el caso de la lignina básica el sistema pierde estabilidad en el agua.

Los resultados obtenidos indican la necesidad de continuar el estudio de la estabilidad del medio. Para el caso de la lignina básica se debe tener en cuenta el estudio de variables como el pH, la concentración del medio y el agente solubilizante.

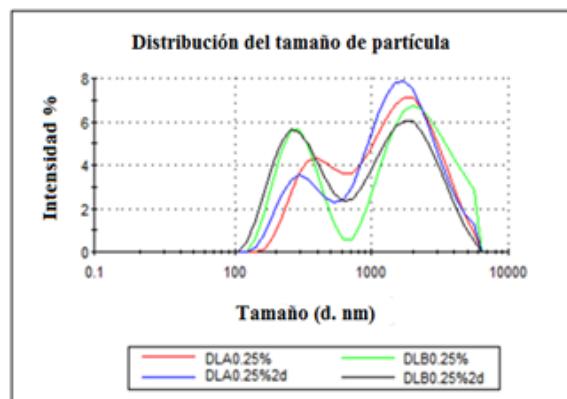


Figura 8A. Distribución del potencial Z para la lignina ácida a una concentración de 0,25 %.

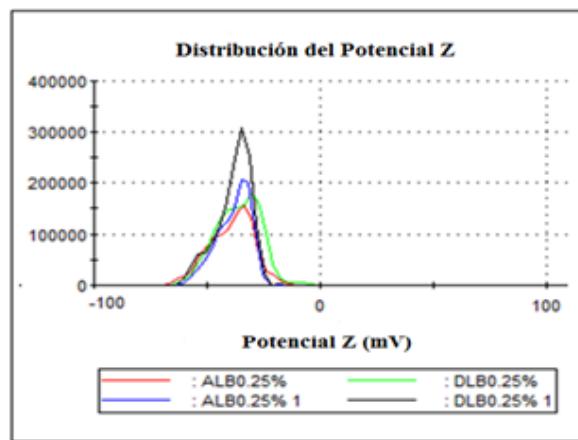


Figura 8B. Distribución del potencial Z para la lignina básica a una concentración de 0,25 %.

Tabla 3. Distribución de cargas en el medio para las ligninas ácida y básica a una concentración de 0,25 % evaluado a tiempo cero y a las 24 horas.

Nombre	Potencial Z (mV)	Desv. Estándar
ALA 0,25%	-24,3	1,13
DLA 0,25%	-22,75	3,04
ALB 0,25%	-38,75	0,64
DLB 0,25%	-37,5	1,13
	-14,3	5,52

Caracterización por espectrofotometría ultravioleta visible

Uno de los métodos para caracterizar la lignina es la espectrofotometría ultravioleta visible (UV-vis) mediante la presencia de los grupos fenólicos, dado por la resonancia de los electrones del benceno y los dobles enlaces conjugados en las cadenas alifáticas, característica de las ligninas.

La medición realizada a la suspensión mostró el espectro obtenido para las ligninas ácida y alcalina, evaluadas a la concentración de 0,25 %, y se identificaron dos bandas, una sobre la longitud de los 280 nm para el caso de la lignina ácida (figura 9A) correspondiente a los grupos fenólicos y la otra banda sobre los 360 nm para la lignina alcalina (figura 9B).

Las ligninas poseen un espectro UV-vis que presenta dos bandas de máxima absorbancia, una a la longitud de onda de 280 nm correspondiente a los grupos fenólicos y otras bandas que varían desde los 200 a los 211 nm característico de los grupos fenólicos libres y que depende de la madera de la cual fue extraída la lignina. La identificación de los compuestos fenólicos en soluciones acuosas se realiza en una longitud de onda entre 190 y 360 nm.

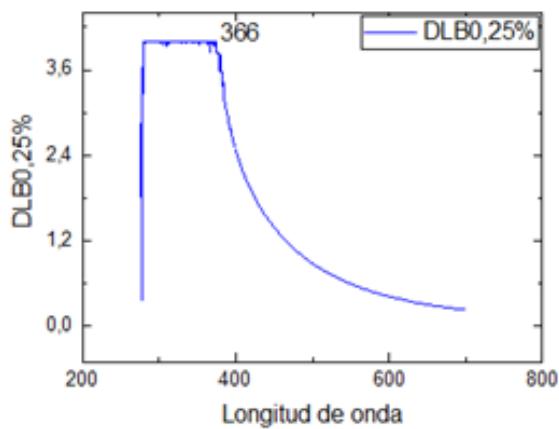


Figura 9A. Espectro UV-vis de lignina ácida a una concentración de 0,25 %

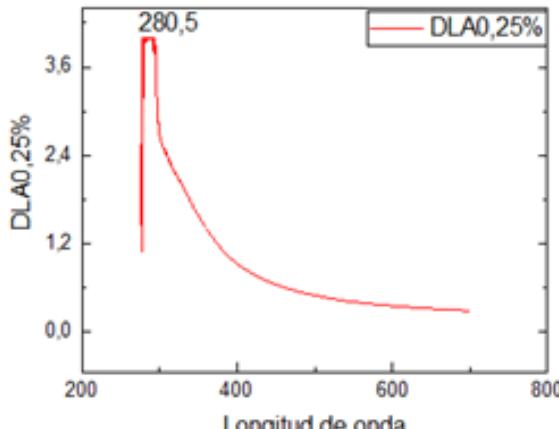


Figura 9B. Espectro UV-vis de lignina básica a una concentración de 0,25 %

CONCLUSIONES

Las aplicaciones de alto valor agregado de la lignina, específicamente en la obtención de nanovehículos, enfrenta nuevos retos debido a su cambiante y complicada estructura molecular. La mayoría de los métodos de preparación de estas nanopartículas utilizan solventes que incluyen reactivos como el tetrahidrofurano (THF), el dimetilsulfóxido (DMSO) y la N,N-dimetilformamida (DMF) sustancias con toxicidad descrita a nivel celular. El estudio de este tipo de sistemas y la sustitución por solventes económicos y ecológicos como el agua y el etanol constituye uno de los retos en el campo de la nanotecnología para obtener nanoestructuras de lignina.

Este primer acercamiento del análisis morfológico, de composición y estructura realizado por las técnicas de caracterización SEM-EDX, FTIR-ATR, DSC, DLS (por sus siglas en inglés) y Espectrofotometría UV-vis permitieron la caracterización del biopolímero proporcionado por la empresa CUBAPEL así como la evaluación de las partículas de lignina formadas utilizando el agua como medio dispersante. El análisis de distribución por tamaño y la estabilidad del sistema evidenció que la formación de nanovehículos de lignina es dependiente de las variables de proceso tales como el tipo de lignina empleada, el agente solubilizante, el pH de la suspensión, la concentración de lignina y la intensidad en el proceso de homogeneización.

La utilización del tipo de lignina para la funcionalización de medicamentos dependerá fundamentalmente de su naturaleza estructural, sus propiedades intrínsecas, el método de obtención, su estabilidad para la liberación controlada en el medio.

Futuros estudios en este campo deberán incluir diseños experimentales que evalúen la incorporación de fármacos en la formación de nanovehículos con acción definida y su toxicidad y eficacia en el medio.

AGRADECIMIENTO

Al Programa Nacional de Desarrollo de la Industria Azucarera:

Contribución de la síntesis química y derivados al desarrollo de la agroindustria azucarera.

Investigación Aplicada y Desarrollo.

PN3602 LH 002-007

ICIDCA y al Centro de Estudios Avanzados (CEA) de Cuba.

REFERENCIAS

1. Alqahtani, M. S., Alqahtani, A., Al-Thabit, A., Roni, M., & Syed, R. (2019). Novel lignin nanoparticles for oral drug delivery. *J. Mater. Chem.*, 7(B.), 4461.
2. Bermello, A., Díaz, D., Martínez, R., Quintana, G., Mieres, G., & Leal, J. A. (2008). Estudio de un material compuesto de partículas de bagazo de caña y matriz de polietileno mediante espectrometría FTIR. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, XLII, 106-111.
3. Brown G., A., Chala B., A. L., Toribio C., H., Álvarez D., A., Leal A., J. A., & Reina H., M. (2018). Estudio y caracterización de lignina para la modificación de polímeros adhesivos. *ICIDCA Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 52(3).
4. Chávez S., M., & Domíne M., E. (2013). Lignin; structure and applications: Depolymerization methods for obtaining aromatic derivatives of industrial interest. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 4(4), 15-46.
5. Chen, Y., Feng, L., & Sadeghzadeh S., M. (2020). Reduction of 4-nitrophenol and 2-nitroaniline using immobilized CoMn2O4 NPs on lignin supported on FPS. *RSC Adv.*, 10, 19553-19561.
6. Cordero, T., & Rodríguez Mirasol, J. (s. f.). *Materiales de carbono a partir de lignina* [Universidad de Málaga]. <http://www.grupoterma.uma.es>.
7. Corrales M., A. B. (s. f.). *Optimización del pretratamiento ácido diluido del bagazo de caña de azúcar para la producción de resinas fenólicas*. Universidad de Matanzas.
8. Cruz, R., Dopico, D., Figueredo, J., Rodríguez, M., & Martínez, G. (1997). Uso de la lignina de bagazo con fines medicinales. *Rev. Med. Exp.*, 14(1), 67-71.
9. Dopico, L., & Cordero, D. (2012). Lignina de bagazo como fibra dietética. *ICIDCA Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 46(1), 46-50.
10. Farhat, W., Venditti, R., Mignard, N., Taha, M., Becquart, F., & Ayoub. (2017). Polysaccharides and lignin based hydrogels with potential pharmaceutical use as a drug delivery system produced by a reactive extrusion process. *International Journal of Biological Macromolecules*. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.06.037>.
11. Figueiredo, P., Lintinen, K., Kiriazis, A., Hynninen, V., Liu, Z., Baileth-Ramos, T., Rahikkala, A., Correia, A., Kohout, T., Sarmento, B., Yli-Kauhaluoma, J., Hirvonen, J., Ikkala, O., Kostiainen, M. A., & Santos, H. A. (2017). In vitro evaluation of biodegradable lignin-based nanoparticles for drug delivery and enhanced antiproliferation effect in cancer cells,. *Biomaterials*, 121, 97-108. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2016.12.034>.
12. Govan, J. (2020). Recent Advances in Magnetic Nanoparticles and Nanocomposites for the Remediation of Water Resources. *Magnetochemistry*, 49(6). <https://doi.org/10.3390/magnetochemistry6040049>
13. Hu, L., Guang, C., Liu, Y., Su, Z., Gong, S., Yao, Y., & Wang, Y. (2020). Adsorption behavior of dyes from an aqueous solution onto composite magnetic lignin adsorbent. *Chemosphere*, 246.
14. López, F., García J., C., Feria M., J., Zamudio M., A. M., & Pérez, A. (2010). Biorrefinería de materiales lignocelulósicos. *Bol. Inf. CIDEU*, 8-9, 75-82.
15. Maceda, A., Soto H., M., Peña V., C. B., Trejo, C., & Terrazas, T. (2021). *Lignina: Composición, síntesis y evolución*. 27(2). <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2722137>

16. Novaes, V., Kirst, M., Chiang, V., Winter-Sederoff, H., & Sederoff, R. (2010). Lignin and Biomass: A Negative Correlation for Wood Formation and Lignin Content in Trees. *Plant Physiology*, 154, 555-561.
17. Qianqian, T., Yong, Q., D., Y., Xueqing, Q., Yanlin, Q., & Mingsong, Z. (2020). Lignin-Based Nanoparticles: A Review on Their Preparations and Applications. *Polymers* 2020, 2471(12). <https://doi.org/10.3390/polym12112471>
18. Renault, H., Werck Reichhart, D., & Weng Jing, K. (2019). Harnessing lignin evolution for biotechnological applications. *Current Options in Biotechnology*, 56, 105-111. <https://doi.org/doi:10.1016/j.copbio.2018.10.011.3>.
19. Siavash, I., & Rajender S., V. (2020). Greener synthesis of lignin nanoparticles and their Applications. *Green Chem.*, 612(22). <https://doi.org/10.1039/c9gc02835h>
20. Souto, F., Calado, V., & Pereira Junior, N. (2015). Fibras de carbono a partir de lignina: Uma revisão da literatura. *Revista Matéria*, 20(1), 100-114.
21. Valorización de la lignina en el concepto de biorrefinería. (2020). *Centro Azúcar*, 47(3), 95-105.
22. Vinardell M., P., & Mitjans, M. (2017). Lignins and Their Derivatives with Beneficial Effects on Human Health. *Int. Mol. Sci.*, 1219(18).
23. Wu, Q., Ye, X., Lv, Y., Pei, R., Wu, M., & Liu, M. (2020). Lignin-based magnetic activated carbon for p-arsanilic acid removal: Applications and absorption mechanisms. *Chemosphere*, 258.

Citar artículo: Roca., E., González, Y., Brown, A., Álvarez, A., Vizcaino, A., Bermúdez, S., & Montalván-Estrada, A. (2025). Caracterización de las ligninas obtenidas por métodos de despolimerización ácida y alcalina. Biorrefinería 8 (1). Obtenido de <https://cebaecuador.org/publicaciones/revista-biorrefineria/>.

Información de revisión por pares: Revista Biorrefinería agradece a los revisores anónimos por su contribución a la revisión por pares de este trabajo utilizando <https://reviewerlocator.webofscience.com/>.

Acceso abierto: Todos los artículos publicados por Revista Biorrefinería son accesibles en línea de forma gratuita y permanente inmediatamente después de su publicación, sin cargos de suscripción ni barreras de registro.

Nota del Editor: Revista Biorrefinería se mantiene neutral con respecto a reclamos jurisdiccionales en mapas publicados y afiliaciones institucionales.

Copyright: © 2024 por los autores. Presentado para posible publicación en acceso abierto bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

PRODUCCIÓN DE UN EMBUTIDO A PARTIR DE CHAMPIÑÓN OSTRA (*Pleurotus spp.*): UNA REVISIÓN

PRODUCTION OF A SAUSAGE FROM OYSTER MUSHROOM (*Pleurotus spp.*): A REVIEW

Nicole Montalvo Vásquez¹, Carlos Esteban Pazmiño-Arias¹, Julio Pineda-Insuasti², Alejandro Pineda-Soto^{1,2}, Melany Coello-Vargas³

¹Universidad de Investigación de Tecnología Experimental -YACHAY. Urcuquí, Ecuador

²Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente-CEBA. Ibarra, Ecuador (<https://cebaecuador.org/>)

³Universidad Técnica del Norte-UTN. Ibarra, Ecuador

Autor para correspondencia: nmontalvo2004@gmail.com

Recibido: 13/08/2025

Aceptado: 13/09/2025

RESUMEN

La creciente demanda de alimentos sostenibles ha impulsado el desarrollo de análogos cárnicos a partir de hongos comestibles, por su valor nutricional, textura fibrosa y bajo impacto ambiental. Esta revisión analiza ingredientes, tecnologías, perfil nutricional, sostenibilidad, normativas y patentes sobre el desarrollo de salchichas veganas utilizando las directrices del protocolo PRISMA. Se destaca el uso complementario de legumbres, pseudocereales, hidrocoloides y aceites vegetales para mejorar textura y valor proteico. Procesos como la deshidratación, extrusión y texturización son claves para lograr productos sensorialmente aceptables. Aunque Ecuador carece de normativas específicas, se incluyen lineamientos del Codex Alimentarius. *Pleurotus spp.* destaca como un ingrediente funcional para el desarrollo de análogos cárnicos de origen vegetal, pese a que persisten ciertos retos tecnológicos en su aplicación.

Palabras clave: análogos cárnicos, proteína vegetal, veganismo, sostenibilidad alimentaria, tecnología de extrusión.

ABSTRACT

The growing demand for sustainable food has driven the development of meat analogues based on edible mushrooms, due to their nutritional value, fibrous texture, and low environmental impact. This review analyzes ingredients, technologies, nutritional profile, sustainability, regulations, and patents related to the development of vegan sausages, following PRISMA protocol guidelines. The complementary use of legumes, pseudocereals, hydrocolloids, and vegetable oils is highlighted to improve texture and protein content. Processes such as dehydration, extrusion, and texturization are key to achieving products with acceptable sensory quality. Although Ecuador lacks specific regulations, guidelines from the Codex Alimentarius are considered. *Pleurotus spp.* stands out as a functional ingredient for plant-based meat analogues, although certain technological challenges in its application remain.

Keywords: meat analogues, plant protein, veganism, food sustainability, extrusion technology

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, ha aumentado el interés por encontrar sustitutos a los

productos cárnicos convencionales, impulsado por preocupaciones sobre la sostenibilidad ambiental, el bienestar animal y la salud

humana. Esta tendencia ha favorecido el desarrollo de análogos cárnicos de origen vegetal, especialmente entre consumidores veganos, vegetarianos y flexitarianos, con mayor presencia en los millennials y la generación Z (Mazumder et al., 2023; Kos et al., 2025). Por lo cual, los hongos comestibles como el género *Pleurotus* se han posicionado como ingredientes prometedores gracias a su perfil nutricional, textura fibrosa, compuestos bioactivos y sabor umami. Además, su cultivo sobre residuos agroindustriales promueve la sostenibilidad y la economía circular (Souza Filho, 2022).

El desarrollo de salchichas veganas con *Pleurotus ostreatus* requiere incorporar otros ingredientes funcionales como proteínas vegetales texturizadas, pseudocereales, aceites, almidones e hidrocoloides, que mejoran la textura, jugosidad y perfil nutricional del producto. La combinación adecuada de estos componentes, junto con procesos tecnológicos como la extrusión, el secado y la texturización, permite obtener productos con propiedades similares a las salchichas convencionales.

En Ecuador, no existen normativas específicas para productos completamente vegetales, por lo que se toma como referencia la NTE INEN 1338 (1996) para salchichas tradicionales, además de normas de etiquetado nutricional (NTE INEN 1334-1 y 1334-3) y lineamientos internacionales como el Codex Alimentarius y la NMX-F-065-1984 de México. La creciente demanda mundial de proteínas, que se proyecta se duplicará para 2050 (Wang & Zhao, 2023), ha intensificado el interés por fuentes alternativas, siendo los hongos una opción sostenible, económica y sensorialmente aceptada.

A su vez, el crecimiento del mercado de productos plant-based y el apoyo a la innovación alimentaria proyectan una expansión del sector. Se estima que para 2027 el mercado global de análogos cárnicos alcanzará los 15700 millones de dólares (Mazumder et al., 2023). En este escenario,

esta revisión tiene como objetivo analizar los principales aspectos relacionados con el desarrollo de salchichas veganas a base de *Pleurotus ostreatus*, incluyendo ingredientes, procesamiento, perfil nutricional, sostenibilidad, normativas y patentes, brindando una visión integral que apoye la formulación de productos alineados con los actuales desafíos alimentarios.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se desarrolló bajo un enfoque de revisión sistemática exploratoria, siguiendo los lineamientos generales del modelo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), con adaptaciones para el análisis temático de literatura científica y técnica relacionada con la elaboración de salchichas veganas a partir de *Pleurotus ostreatus*.

Estrategia de búsqueda

La búsqueda bibliográfica se realizó en las bases de datos ScienceDirect y Google Scholar, seleccionadas por su cobertura de publicaciones científicas en ciencias alimentarias, biotecnología y nutrición. Para la identificación de estudios relevantes se emplearon los siguientes términos de búsqueda combinados mediante operadores booleanos: ("Pleurotus" OR "Pleurotus ostreatus") AND ("vegan sausage" OR "meat analog") AND ("formulation" OR "process") AND ("health" OR "nutrition").

En ScienceDirect, se aplicó un filtro para limitar los resultados a publicaciones entre 2020 y 2025, lo cual arrojó un total de 85 registros. De estos, se seleccionaron 18 documentos por su título, y 12 fueron incluidos tras la lectura del resumen (abstract). Estos artículos fueron utilizados en la redacción y análisis de la presente revisión.

En Google Scholar, la búsqueda arrojó un total de 219 resultados. Considerando las limitaciones en la especificidad de esta plataforma, se optó por revisar únicamente las tres primeras páginas de resultados,

correspondientes a 30 documentos. De estos, se seleccionaron 8 por su título y 5 por su resumen, los cuales cumplieron con los criterios de inclusión establecidos.

Se seleccionaron documentos publicados entre 2020 y 2025, excluyendo estudios no centrados en salchichas veganas con *Pleurotus*, trabajos con ingredientes animales, tecnologías no relacionadas, publicaciones sin revisión científica, artículos incompletos y patentes fuera del enfoque de esta revisión.

Búsqueda de patentes

La revisión de patentes se realizó en las plataformas Espacenet (European Patent Office) y OMPI (Organización Mundial de la Propiedad Intelectual), utilizando como término clave: "vegan sausage".

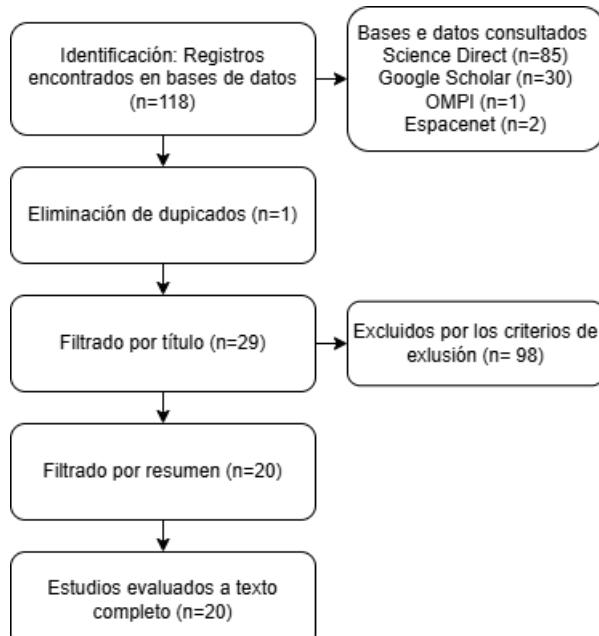


Figura 1. Diagrama sistemático del protocolo de revisión

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tendencias del mercado de análogos de salchichas

Los análogos cárnicos, elaborados a partir de fuentes vegetales o no animales, buscan imitar las propiedades sensoriales y funcionales de la carne convencional. Su desarrollo ha sido

impulsado por el crecimiento del veganismo, la preocupación ambiental y el interés por una alimentación más saludable. Se proyecta que el mercado global de sustitutos cárnicos alcanzará entre 74 y 263 mil millones de dólares para 2030, y supere los 434 mil millones en 2031, con un crecimiento sostenido (Souza Filho, 2022; Sultana Sher et al., 2025).

Paralelamente, el consumo de hongos comestibles también ha crecido, destacando *Pleurotus* spp. como ingrediente clave por su perfil nutricional, sabor umami y sostenibilidad. En cuanto a mercados, Norteamérica y Europa lideran en consumo e inversión, aunque países como China muestran altas ventas con menor inversión en I+D, a diferencia de EE. UU. y Reino Unido, donde la investigación tecnológica es más activa (Lee et al., 2025).

Los factores demográficos y culturales influyen significativamente en la aceptación de estos productos. Según Kos et al. (2025), variables como género, edad, ubicación y nivel educativo afectan las decisiones de compra de sustitutos cárnicos. Estudios revelan diferencias en las motivaciones de consumo entre países, como la satisfacción emocional y la sostenibilidad. Las salchichas vegetales destacan entre los productos más populares por su familiaridad, aunque el sabor, la textura y la apariencia siguen siendo determinantes clave para la aceptación del consumidor (Souza Filho, 2022).

Además, los hongos resultan atractivos para adultos mayores que adoptan dietas basadas en plantas por razones de salud o religión. Estudios sensoriales recientes muestran que salchichas elaboradas con hongos pueden igualarse en aceptación a las versiones cárnicas, incluso entre consumidores no entrenados (Mazumder et al., 2024). La industria, por tanto, debe continuar mejorando las características organolépticas y educando al consumidor para consolidar estos productos en el mercado global.

Veganismo y cambio de hábitos alimentarios

La alimentación humana se basa en siete nutrientes esenciales: carbohidratos, proteínas, grasas, minerales, vitaminas, fibra y agua que pueden obtenerse tanto de fuentes animales como vegetales. Tradicionalmente, la carne ha sido una opción principal por su valor nutricional y cultural. No obstante, en las últimas décadas, factores como la salud, el medio ambiente y el bienestar animal han motivado cambios en los patrones alimentarios, especialmente entre millennials y la Generación Z. Este cambio ha impulsado el crecimiento de dietas alternativas como el veganismo que excluye completamente todos los productos de origen animal, vegetarianismo que evita la carne, pero incluye lácteos y huevos y flexitarianismo que reduce el consumo de carne sin eliminarlo completamente (Kos et al., 2025; Pastrana-Pastrana et al., 2025).

Por otro lado, ha crecido el mercado de proteínas vegetales por su menor costo, amplia disponibilidad, beneficios para la salud y menor impacto ambiental. Las dietas basadas en plantas han ganado popularidad no solo por razones éticas y sostenibles, sino también por su eficacia en la prevención de enfermedades crónicas. En este contexto, las proteínas alternativas, incluidas las derivadas de hongos, se consolidan como una solución nutricional viable (Surya Ulhas et al., 2023).

Estudios recientes muestran que los consumidores con dietas vegetarianas, veganas o flexitarianas están más dispuestos a adoptar análogos de carne, lo que evidencia una transformación profunda en los hábitos alimentarios modernos (Lee et al., 2025). Así, los productos basados en hongos, como *Pleurotus ostreatus*, se presentan como una alternativa funcional alineada con las nuevas exigencias del consumidor.

Los hongos comestibles como ingredientes funcionales

El interés por desarrollar alimentos proteicos más saludables ha impulsado el uso de ingredientes funcionales como los hongos comestibles en la formulación de análogos cárnicos. *Pleurotus ostreatus* destaca por su perfil nutricional equilibrado, alto contenido de fibra, baja cantidad de grasa, textura fibrosa y sabor umami distintivo, lo que lo convierte en una alternativa viable para sustituir la carne en productos como hamburguesas, salchichas y nuggets (Ketnawa & Rawdkuen, 2023; Pastrana-Pastrana et al., 2025).

Desde el punto de vista sensorial, los hongos aportan aminoácidos como ácido glutámico y aspártico, responsables del umami, y compuestos volátiles como el 1-octen-3-ol, que refuerzan notas cárnicas y tostadas (Kos et al., 2025). Además, mejoran propiedades funcionales del producto como la jugosidad, estabilidad de emulsión, textura y comportamiento térmico. Su valor se amplía con la presencia de compuestos bioactivos con efectos antioxidantes e inmunomoduladores, contribuyendo tanto a la calidad sensorial como a la salud del consumidor (Sim et al., 2025).

Perfil nutricional de los hongos *Pleurotus spp.*

El adecuado consumo de proteínas es esencial para funciones fisiológicas clave como la masa muscular, el metabolismo y la inmunidad. Aunque la carne ha sido la fuente principal, su consumo excesivo se asocia a impactos ambientales y riesgos para la salud. En este contexto, *Pleurotus ostreatus* se presenta como una alternativa sostenible y funcional, con un contenido proteico que varía entre 1,9 y 3,3 g por cada 100 g frescos, además de ser bajo en grasa, colesterol y calorías (Wang & Zhao, 2023; Pastrana-Pastrana et al., 2025).

Estos hongos destacan por su elevada proporción de agua (hasta 90 %), lo que los hace adecuados para dietas de control de peso. Su proteína, que supera en calidad a la de algunas hortalizas, contiene entre un 25 % y 45 % de aminoácidos, incluyendo los ocho esenciales, especialmente lisina y leucina.

También poseen proteínas bioactivas con funciones inmunomoduladoras y antimicrobianas.

Además, *Pleurotus* spp. aporta fibra dietética rica en β -glucanos, quitina y mananos, con efectos antioxidantes, antitumorales y beneficios sobre enfermedades metabólicas e inflamatorias. Estudios también asocian su consumo con mejoras en el sistema nervioso y tolerancia a tratamientos oncológicos (Rizzo et al., 2021).

Son la única fuente vegetal significativa de vitamina D, y contienen vitaminas del complejo B (B1, B2, B12, niacina, folatos), C y ergosterol (provitamina D2). En cuanto a minerales, destacan por su contenido en potasio, fósforo, magnesio, zinc, hierro y selenio. Todo esto posiciona a los hongos del género *Pleurotus* como un ingrediente nutricionalmente completo y clave para una alimentación sostenible y saludable.



Figura 2. Contenido de aminoácidos de la especie *Pleurotus ostreatus*.

Sostenibilidad y beneficios ambientales del uso de hongos

La sostenibilidad se define como la capacidad de satisfacer las necesidades actuales sin comprometer los recursos de las generaciones futuras. La producción de carne genera una de las mayores huellas ambientales, destacando por sus elevadas emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), uso intensivo de suelo y agua, y problemas de eutrofización (Vignesh et al., 2024). En comparación, las proteínas

vegetales, incluidos cereales, legumbres y hongos, generan emisiones mucho menores, con beneficios adicionales en salud y seguridad alimentaria.

Sustituir proteínas animales por vegetales podría reducir significativamente el uso de recursos naturales. En este contexto, los hongos, como *Pleurotus ostreatus*, se perfilan como una alternativa altamente sostenible: su cultivo requiere poca superficie, no produce aguas residuales contaminantes y puede aprovechar residuos agroindustriales como sustrato, fomentando la economía circular (Pastrana-Pastrana et al., 2025).

Además, los hongos presentan alta eficiencia proteica, especialmente cuando se consideran como fuentes de proteínas unicelulares (SCP). Su producción controlada, independiente de grandes extensiones de tierra, los posiciona como una solución viable frente al crecimiento poblacional y los efectos del cambio climático (Souza Filho, 2022). En conjunto, los hongos ofrecen ventajas ambientales significativas frente a los sistemas ganaderos tradicionales, reforzando su valor como ingredientes clave en el desarrollo de alimentos sostenibles.

Desafíos tecnológicos en la elaboración de salchichas veganas

El desarrollo de salchichas veganas presenta retos significativos al intentar replicar las propiedades nutricionales, funcionales y sensoriales de la carne animal. Las proteínas vegetales, en general, tienen menor digestibilidad, valor biológico reducido y un perfil incompleto de aminoácidos esenciales. Esto obliga a combinar diversas fuentes vegetales para lograr un perfil proteico completo (Surya Ulhas et al., 2023). Ingredientes comunes como soya y trigo contienen compuestos antinutricionales (fitatos, inhibidores de proteasas) y alérgenos potenciales, lo que limita su aplicación en ciertos consumidores (Vignesh et al., 2024).

Tecnologías como la fermentación, germinación, cocción y extrusión se aplican

para mejorar la digestibilidad y reducir estos compuestos, pero su implementación a escala industrial implica costos y procesos complejos (Lee et al., 2025). En comparación, legumbres y cereales ofrecen mayor contenido proteico en base seca, pero su funcionalidad tecnológica es limitada y requieren tratamiento para mejorar sus propiedades sensoriales.

Pleurotus ostreatus, aunque valioso por su textura fibrosa, compuestos bioactivos y bajo impacto ambiental, presenta un contenido proteico fresco relativamente bajo (2–4 %) y carece de todos los aminoácidos esenciales en proporciones adecuadas. Además, la presencia de quitina puede dificultar su digestión, por lo que su uso debe complementarse con otras fuentes proteicas (Kos et al., 2025).

Desde un punto de vista físico-químico, los hongos presentan un elevado contenido de humedad, lo que afecta la estabilidad microbiana, la vida útil y la textura del producto final. Lograr firmeza, elasticidad y mordida similares a las salchichas tradicionales requiere de tecnologías como el secado, congelado o fermentación. No obstante, métodos como la liofilización o el secado por aire caliente presentan desventajas como tiempos prolongados, alto consumo energético o baja eficiencia (Guo et al., 2024).

Finalmente, aún existen retos sensoriales como el control del sabor y aroma característicos de los hongos, así como la necesidad de incrementar su concentración proteica y mejorar su funcionalidad tecnológica en matrices cárnicas vegetales. En resumen, sustituir la carne con ingredientes vegetales, incluidos hongos, legumbres y cereales, exige formulaciones compuestas y un enfoque integral en ingeniería de alimentos, que combine tecnologías avanzadas para garantizar productos aceptables en sabor, textura, estabilidad y valor nutricional.

Ingredientes utilizados en la formulación de salchichas veganas

Pleurotus ostreatus es una fuente destacada de proteínas, fibra, vitaminas y compuestos bioactivos, con bajo contenido en grasas saturadas. La interacción entre sus proteínas y polisacáridos favorece la formación de geles y emulsiones en matrices vegetales (Mazumder et al., 2023). Entre las proteínas más utilizadas en alimentación vegana destacan las legumbres (lentejas, guisantes, garbanzos), cereales (quinoa, cebada), frutos secos, micoproteínas y proteínas de algas (Surya Ulhas et al., 2023). Aunque la soya es común, su potencial alergénico ha impulsado el uso de alternativas como arveja, frijol, haba, chocho y garbanzo, con alto valor proteico y funcionalidad mejorada mediante tratamientos térmicos o fermentación (Sim et al., 2025; Sultana Sher et al., 2025).

Cada legumbre aporta beneficios específicos: la arveja tiene buen perfil de aminoácidos y es hipoalergénica; el frijol mungo mejora la textura y gelificación; el haba aporta antioxidantes; los chochos tienen alto contenido proteico; y el garbanzo se destaca por su digestibilidad, emulsificación y retención de agua. Otras semillas como cáñamo, calabaza, linaza y chía ofrecen propiedades antioxidantes, emulsificantes y gelificantes.

Los hidrocoloides, como carragenina, goma xantana, konjac y goma guar, son esenciales para mejorar la textura, retención de agua y estabilidad en los análogos cárnicos (Mazumder et al., 2023). Por su parte, los almidones vegetales (papa, maíz, trigo, maltodextrina) y pseudocereales como la quinua, amaranto o trigo sarraceno, no solo aportan textura y viscosidad, sino también proteínas, vitaminas y minerales, siendo aptos para personas con intolerancia al gluten. En cuanto a los aceites, se emplean variedades como canola, oliva, coco y salvado de arroz para mejorar jugosidad, textura, sabor y el perfil lipídico del producto, además de aportar antioxidantes y compuestos bioactivos (Sultana Sher et al., 2025).

Estudios recientes han propuesto formulaciones balanceadas. Mazumder et al. (2024) logró buenos resultados con una mezcla que incluía 20 % de *Pleurotus* en polvo, harinas de garbanzo y trigo, aislado de guisante, almidón de tapioca, konjac, condimentos y aceite de canola. Otras formulaciones incluyen proteína vegetal texturizada, extracto de levadura y jugo de remolacha. Se ha resaltado también el uso de especias como jengibre, cúrcuma o cilantro para mejorar el sabor.

Si bien la proteína de hongos superiores presenta menor contenido que aislados como el de arveja o lenteja (68,2 % de digestibilidad frente a 83–98 %), ofrece ventajas en textura y adaptabilidad tecnológica. Para compensar sus limitaciones nutricionales, se recomienda fortificar con aminoácidos limitantes o combinar con legumbres y cereales (Shaghaghian et al., 2022; Surya Ulhas et al., 2023).

Tabla 1. Contenido de aminoácidos de ingredientes protéicos para la formulación de una salchicha vegana.

Fuente	His	Ile	Leu	Lis	Met	Cys	Met + Cys	Phe	Tyr		Phe + Tyr	Thr	Trp	Val
Hongo														
<i>Pleurotus Ostreatus</i>	—	1.98	4.26	3.65	—	—	1.51	—	—	4.39	2.61	—	2.53	
Legumbres														
Frijol	3.0	4.0	7.2	6.2	0.7	0.3	—	5.4	2.7	—	2.4	—	4.3	
Lenteja	2.8	4.6	7.2	6.8	—	—	2.9	—	—	7.8	3.6	0.7	5.0	
Arveja	2.22 ± 0.12	4.23 ± 0.09	7.11 ± 0.16	6.93 ± 0.20	5.00 ± 0.06	2.01 ± 0.02	7.01	4.87 ± 0.27	2.79 ± 0.10	7.66	3.45 ± 0.03	—	4.72 ± 0.07	
Garbanzo	3.3 ± 0.1	6.0 ± 0.1	10.0 ± 0.1	8.5 ± 0.1	2.1 ± 0.2	1.6 ± 0.2	3.7	7.9 ± 0.1	4.0 ± 0.1	11.9	4.7 ± 0.1	—	5.7 ± 0.1	

Con base en la Tabla 1, se propone el uso del hongo *Pleurotus ostreatus* como ingrediente principal, complementado con una legumbre y para equilibrar el perfil de aminoácidos en la formulación de la salchicha vegana. Una combinación adecuada podría ser *Pleurotus ostreatus* con arveja (*Pisum sativum*), lo que permitiría mejorar el valor nutricional del producto final.

Procesamiento y tecnologías aplicadas

El desarrollo de salchichas veganas con *Pleurotus spp.* implica una secuencia de procesos tecnológicos diseñados para garantizar la seguridad, funcionalidad y calidad sensorial del producto final. Estos incluyen el tratamiento preliminar del hongo, su deshidratación, la producción de masa, la extrusión y el cocinado.

En la etapa preliminar, los hongos son lavados, escaldados, cortados, centrifugados y

deshidratados (por ejemplo, a 60 °C durante 10 horas), para luego ser molidos y almacenados en frío, lo que reduce la actividad de agua y mejora la vida útil. Tecnologías como la radiación infrarroja o microondas pueden optimizar este proceso, acelerando la deshidratación y reduciendo la carga microbiana (Mazumder et al., 2023; Guo et al., 2024).

La masa de salchicha se prepara mezclando el polvo de hongo con otros ingredientes funcionales en etapas de amasado a diferentes velocidades, incorporando condimentos y saborizantes. La mezcla se embute en tripas de celulosa, se cuece al vapor (100 °C por 10 minutos) y se enfría a 4–25 °C (Mazumder et al., 2023; 2024).

La extrusión térmica es clave para obtener una textura similar a la carne, reorganizando las proteínas bajo altas temperaturas (140–

180 °C) y presión para formar estructuras fibrosas, mejorando la digestibilidad y generando sabor y color a través de reacciones como Maillard (Kos et al., 2025).

Otra técnica es la producción de proteína fúngica texturizada (PFT) a partir de hongos deshidratados, que son rehidratados y combinados con ingredientes funcionales antes de extruirse en frío y hornearse. Estas PFT se pueden rehidratar y utilizar como base para productos cocidos y asados, como las salchichas tailandesas tipo Sai-awa, con buenos resultados sensoriales (Ketnawa & Rawdkuen, 2023).

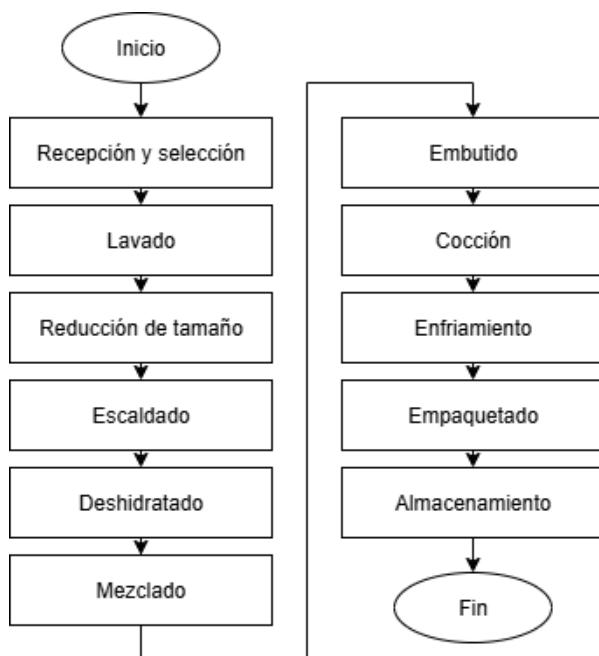


Figura 3. Diagrama de flujo análogo de salchicha a base de champiñón ostra.

Normativas y legislación aplicable

En Ecuador no existe una normativa específica para análogos cárnicos de origen vegetal, pero se pueden adaptar normativas vigentes para guiar su desarrollo. La NTE INEN 1338, aplicable a salchichas tradicionales, puede servir como base técnica. Esta norma clasifica las salchichas según tratamiento térmico (cocidas, escaldadas, crudas o maduradas) y establece requisitos de higiene, calidad del agua, inocuidad microbiológica (ausencia de *Salmonella* en 25 g y un REP ≤ 5 × 10⁵ UFC/g) y uso de aditivos (como nitrito, ácido ascórbico

y polifosfatos) que podrían adaptarse o reemplazarse por alternativas naturales en productos veganos (INEN, 1996).

La norma también limita aglutinantes al 5 %, lo que debe considerarse al usar harinas vegetales, pseudocereales o hidrocoloides en salchichas 100 % vegetales. En cuanto al etiquetado nutricional, la NTE INEN 1334-1:2011 regula los nutrientes obligatorios por porción o por 100 g, mientras que la parte 2 define los requisitos para declaraciones voluntarias como “bajo en grasa” o “fuente de proteína”, las cuales deben estar científicamente respaldadas. También se establecen márgenes de tolerancia para los valores declarados (INEN, 2011).

A nivel internacional, la Norma CXS 174-1989 del Codex Alimentarius sobre Productos Proteínicos Vegetales (PPV) es especialmente relevante. Exige un contenido mínimo de 40 % de proteína cruda en base seca, ausencia de contaminantes o antinutrientes, y etiquetado claro sobre la fuente vegetal y forma del producto (Codex Alimentarius Commission, 2022). Esta norma puede aplicarse a ingredientes como harinas de legumbres, proteínas texturizadas o concentrados vegetales.

Como referencia adicional, se pueden considerar normativas de otros países como la NMX-F-065-1984 (Méjico) o el RTCR 411:2008 (Costa Rica), que incluyen parámetros para humedad, grasa, proteína y límites microbiológicos en productos vegetales (Dirección General de Normas, 1984; Poder ejecutivo, 2009).

Patentes en el desarrollo de análogos de salchichas

Las investigaciones en análogos cárnicos han logrado desarrollar salchichas veganas con aromas y texturas similares a la carne animal, utilizando hongos como *Lentinula edodes*, *Pleurotus ostreatus* y *Coprinus comatus* en combinación con proteína de soya. Además, se han implementado tecnologías orientadas a

replicar la microestructura y consistencia de la carne real (Wang & Zhao, 2023).

Varias patentes recientes reflejan avances relevantes. La CN112401128A propone una salchicha vegetal enriquecida con hongos funcionales (*Pleurotus eryngii*, *shiitake*), vegetales frescos y ñame, que mejoran el sabor, la textura y aportan compuestos antioxidantes e inmunomoduladores. Utiliza harinas de soya, guisante y patata, junto con almidones y fibras, logrando una estructura cohesiva y jugosa, sin aditivos artificiales (Tu, 2021).

La US2025072454A1 introduce partículas de grasa vegana elaboradas con proteína de guisante, almidón de tapioca o yuca, konjac y carragenina, que se incorporan a la masa proteica para mejorar la textura, el color y la resistencia térmica. El producto final simula embutidos como pepperoni, con buena estabilidad y pH controlado (Senaratne-Lenagala, 2025).

Finalmente, la patente 202241035008 detalla una formulación con aislados proteicos de leguminosas (guisante, soya, garbanzo), carragenina, almidón de papa, seitán y harina blanca. Se incluyen opcionalmente aditivos como carboximetilcelulosa, sorbitol y glicerol para mejorar la funcionalidad tecnológica del producto (Jebitta & Devi, 2022).

CONCLUSIONES

Pleurotus ostreatus es un ingrediente funcional con propiedades nutricionales y sensoriales para análogos de salchicha veganos. Su formulación requiere complementarse con proteínas vegetales, pseudocereales, aceites y texturizantes para imitar la carne convencional. Tecnologías como la extrusión y el secado mejoran la textura y la vida útil del producto. Sin embargo, aún persisten ciertos retos tecnológicos para reproducir de forma precisa el sabor y aroma característicos de una salchicha con carne, lo que exige innovación en el uso de condimentos, compuestos volátiles y procesos

térmicos. Desde una perspectiva ambiental, los hongos pueden cultivarse sobre residuos agroindustriales, promoviendo la economía circular. Aunque en Ecuador no existen normas específicas para análogos cárnicos, los estándares internacionales ofrecen una guía válida. El desarrollo de productos con hongos responde a la demanda de dietas más saludables y sostenibles, representando una alternativa viable frente al consumo tradicional de carne y una oportunidad para la innovación alimentaria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Boro, S., Kambhampati, V., Das, S., & Saikia, D. (2025). Edible mushrooms as meat analogues: A comprehensive review of nutritional, therapeutic, and market potential. *Food Research International*, 214, 116632. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2025.116632>
2. Codex Alimentarius Commission. (2022). Norma general para los productos proteínicos vegetales (PPV) (CXS 174-1989). FAO/OMS. https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%3A%2F%2Fworkspace.fao.org%2Fsites%2Fcodex%2FStandards%2FCXS%2B174-1989%2FCXS_174s.pdf
3. Guo, Q., Zhang, M., Mujumdar, A. S., & Yu, D. (2024). Drying technologies of novel food resources for future foods: Progress, challenges and application prospects. *Food Bioscience*, 60, 104490. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2024.104490>
4. Dirección General de Normas. (1984). NMX-F-065-1984. Alimentos.-Salchichas.-Especificaciones. México: Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.
5. Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (1996). NTE INEN 1338: Carne y productos cárnicos. Salchichas. Requisitos. Quito: INEN.
6. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). NTE INEN 1334-2:2011. Rotulado de productos alimenticios para consumo humano. Parte 2. Rotulado nutricional. Requisitos. <https://www.normalizacion.gob.ec/>
7. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). NTE INEN 1334-3:2011. Rotulado de productos alimenticios para consumo humano. Parte 3. Requisitos para declaraciones nutricionales y declaraciones saludables. <https://www.normalizacion.gob.ec/>
8. Jebitta, S. R., & Devi, D. (2022). Método de preparación de salchicha vegana a base de plantas leguminosas (Patente de India No. 202241035008). Kalasalingam Academy of Research & Education.
9. Ketnawa, S., & Rawdkuen, S. (2023). Properties of Texturized Vegetable Proteins from Edible Mushrooms by Using Single-Screw Extruder. *Foods*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/foods12061269>
10. Kos, I., Širić, I., Ravlić, M., & Vnučec, I. (2025). Nutritional and technological potential of mushrooms for meat products development.
11. Lee, D. Y., Kim, J. S., Park, J., Han, D., Choi, Y., Park, J. W., Lee, J., Mariano, E., Namkung, S., & Hur, S. J. (2025). An Investigation of the Status of Commercial Meat Analogs and Their Ingredients: Worldwide and South Korea. *Food Science of Animal Resources*, 45(1), 31–61. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2024.e106>
12. Mazumder, M. A. R., Sangsomboon, M., Ketnawa, S., & Rawdkuen, S. (2024). Mushroom-based Northern Thai style sausages: Physico-chemical, nutritional profile and in vitro digestibility. *Journal of Agriculture and Food Research*, 16, 101103. <https://doi.org/10.1016/J.JAFR.2024.101103>
13. Mazumder, M. A. R., Sujintonniti, N., Chaum, P., Ketnawa, S., & Rawdkuen, S. (2023). Developments of Plant-Based Emulsion-Type Sausage by Using Grey Oyster Mushrooms and Chickpeas. *Foods*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/foods12081564>
14. Pastrana-Pastrana, Á. J., Rodríguez-Herrera, R., Solanilla-Duque, J. F., & Flores-Gallegos, A. C. (2025). Plant proteins, insects, edible mushrooms and algae: more sustainable alternatives to conventional animal protein. *Journal of Future Foods*, 5(3), 248–256. <https://doi.org/10.1016/J.JFUTFO.2024.07.004>
15. Poder Ejecutivo. (2009). *Reglamento técnico RTCR 411:2008 Productos cárnicos embutidos: Salchicha, salchichón, mortadela y chorizo. Especificaciones*. Nº Gaceta 45, 05 de marzo de 2009.
16. Rizzo, G., Goggi, S., Giampieri, F., & Baroni, L. (2021). A review of mushrooms in human nutrition

- and health. *Trends in Food Science & Technology*, 117, 60–73. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2020.12.025>
17. Senaratne-Lenagala, L. S. (2025). Partículas de grasa vegana y su uso en análogos de salchicha de origen vegetal (Patente de EE. UU. US2025072454A1). Cargill Inc.
18. Shaghaghian, S., McClements, D. J., Khalesi, M., Garcia-Vaquero, M., & Mirzapour-Kouhdasht, A. (2022). Digestibility and bioavailability of plant-based proteins intended for use in meat analogues: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 129, 646–656. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2022.11.016>
19. Sim, J. H., Moon, S., Kim, J. H., Lee, C., & Yu, D. (2025). Influence of plant-based gel binders and song-hwa mushroom crosslinking on functional properties and consumer perception of vegan mushroom sausage analogues. *Food Chemistry*, 481, 143806. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2025.143806>
20. Souza Filho, P. F. (2022). Fungal protein. *Advances in Food and Nutrition Research*, 101, 153–179. <https://doi.org/10.1016/BS.AFNR.2022.04.003>
21. Sultana Sher, A., Sri Padmanaban, V., Sudhakar, S., & Kundanati, L. (2025). Formulation of Plant-based Meat Analogues: Protein Sources, Functional Additives, and Technological Advancements. <https://doi.org/10.20944/preprints202506.1509.v1>
22. Surya Ulhas, R., Ravindran, R., Malaviya, A., Priyadarshini, A., Tiwari, B. K., & Rajauria, G. (2023). A review of alternative proteins for vegan diets: Sources, physico-chemical properties, nutritional equivalency, and consumer acceptance. *Food Research International*, 173, 113479. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2023.113479>
23. Tu, D. (2021). Salchicha vegetariana de frijol y método de preparación de la misma (Patente china No. CN112401128A). Jiangsu Jiusixiang Food Tech Co., Ltd.
24. Vignesh, K., Yadav, D. K., Wadikar, D. D., & Semwal, A. D. (2024). Exploring sustenance: cereal legume combinations for vegan meat development. *Sustainable Food Technology*, 2(1), 32–47. <https://doi.org/10.1039/D3FB00074E>
25. Wang, M., & Zhao, R. (2023). A review on nutritional advantages of edible mushrooms and its industrialization development situation in protein meat analogues. *Journal of Future Foods*, 3(1), 1–7. <https://doi.org/10.1016/J.JFUTFO.2022.09.001>
26. Zhang, Y., Wang, D., Chen, Y., Liu, T., Zhang, S., Fan, H., Liu, H., & Li, Y. (2021). Healthy function and high valued utilization of edible fungi. *Food Science and Human Wellness*, 10(4), 408–420. <https://doi.org/10.1016/J.FSHW.2021.04.003>

Citar artículo: Vásquez-Montalvo, N., Pazmiño-Arias, E., Pineda-Insuasti, J., Pineda-Soto, A., & Coello-Várgaz, M. (2025). Producción de un embutido a partir de champiñón ostra (*Pleurotus* spp.): una revisión. *Biorrefinería* 8 (1). Obtenido de <https://cebaecuador.org/publicaciones/revista-biorrefineria/>

Información de revisión por pares: Revista Biorrefinería agradece a los revisores anónimos por su contribución a la revisión por pares de este trabajo utilizando <https://reviewerlocator.webofscience.com/>.

Acceso abierto: Todos los artículos publicados por Revista Biorrefinería son accesibles en línea de forma gratuita y permanente inmediatamente después de su publicación, sin cargos de suscripción ni barreras de registro.

Nota del Editor: Revista Biorrefinería se mantiene neutral con respecto a reclamos jurisdiccionales en mapas publicados y afiliaciones institucionales.

Copyright: © 2024 por los autores. Presentado para posible publicación en acceso abierto bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

POTENCIAL DEL CHAMPIÑÓN OSTRA (*Pleurotus spp.*) EN LA PRODUCCIÓN DE GALLETAS: UNA REVISIÓN

POTENTIAL OF THE OYSTER MUSHROOM (*Pleurotus spp.*) IN COOKIE PRODUCTION: A REVIEW

Jorge Ronald Manosalvas-Paspuel¹, David Alejandro Cabezas-Orquera¹, Julio Pineda-Insuasti², Melany Coello-Vargas³, Alejandro Pineda-Soto^{1,2}

¹Universidad de Investigación de Tecnología Experimental -YACHAY. Urcuquí, Ecuador

²Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente-CEBA. Ibarra, Ecuador

³Universidad Técnica del Norte-UTN. Ibarra, Ecuador

Autor para correspondencia: jorge.manosalvas@yachaytech.edu.ec

Recibido: 13/08/2025

Aceptado: 13/09/2025

RESUMEN

El uso del hongo ostra (*Pleurotus spp.*) en productos horneados funcionales aún es limitado. Esta revisión analiza su aplicación en galletas, considerando aspectos nutricionales, tecnológicos y sensoriales. El hongo destaca por su alto contenido de proteína, fibra, minerales y compuestos bioactivos como β -glucanos, lo que mejora el valor nutricional del producto final. Además, su inclusión puede reducir el índice glucémico y aportar beneficios antioxidantes. Aunque existen estudios preliminares, hay escasez de investigaciones centradas en galletas, lo que representa una oportunidad para desarrollar productos saludables, sostenibles y adecuados para dietas veganas.

Palabras clave: Proteína vegetal, fibra, alimentos saludable y sostenible, producto vegano.

ABSTRACT

The use of oyster mushrooms (*Pleurotus spp.*) in functional baked goods is still limited. This review analyzes its application in biscuits, considering nutritional, technological, and sensory aspects. The mushroom stands out for its high content of protein, fiber, minerals, and bioactive compounds such as β -glucans, which improves the nutritional value of the final product. Furthermore, its inclusion can reduce the glycemic index and provide antioxidant benefits. Although preliminary studies exist, there is a paucity of research focused on biscuits, which represents an opportunity to develop healthy, sustainable products suitable for vegan diets.

Keywords: Vegetable protein, fiber, healthy and sustainable food, vegan product

INTRODUCCIÓN

En el contexto actual de transición hacia una economía más sostenible, la **bioeconomía con base biotecnológica** ha cobrado relevancia en sectores clave como la agricultura, los

alimentos y la salud (Royse, 2017). Esta transformación busca aprovechar recursos biológicos renovables para desarrollar productos con alto valor agregado, alineados con la seguridad alimentaria, el

aprovechamiento responsable de la biodiversidad y el bienestar del consumidor. En este marco, el uso de hongos comestibles como materia prima para la producción de alimentos funcionales representa una alternativa innovadora y prometedora.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que tanto adultos como niños limiten su ingesta de "azúcares libres" a menos del 10% de su energía total diaria. Para una dieta de 2000 kcal, este porcentaje equivale a 200 kcal o 50 gramos de azúcar. A fin de obtener mayores beneficios para la salud, el organismo sugiere idealmente una reducción por debajo del 5%, lo que corresponde a 100 kcal o 25 gramos diarios. Estas recomendaciones buscan prevenir problemas asociados al consumo excesivo, como la obesidad, la caries dental y otras enfermedades no transmisibles. (Goubgou, 2021)

Hongos ostra

El hongo ostra del género *Pleurotus* es un basidiomiceto ampliamente cultivado, destacado por su rápido crecimiento, bajos requerimientos de sustrato y un perfil nutricional notable. Dentro de este género, *Pleurotus ostreatus* es una de las especies más comunes y estudiadas, cuyas características generales como su alto contenido de proteínas, fibra y compuestos bioactivos son representativas de las cualidades atribuidas al grupo en su conjunto (Sánchez, 2021). Por lo tanto, cuando se hace referencia a "hongo ostra (*Pleurotus spp.*)", se alude a las propiedades compartidas por las distintas especies del género, entre las que *P. ostreatus* ocupa un lugar protagónico en investigación y aplicaciones alimentarias.

El hongo ostra (*Pleurotus spp.*) es un basidiomiceto ampliamente cultivado que destaca por su rápido crecimiento, bajo requerimiento de nutrientes en sustratos y notable perfil nutricional. Contiene proteínas de buena calidad, fibra dietética, minerales

esenciales y compuestos bioactivos como los β-glucanos, conocidos por sus efectos antioxidantes e inmunomoduladores. (Valverde, 2015) A pesar de estos beneficios, su aplicación en productos horneados como galletas aún es limitada, lo que representa una oportunidad para explorar nuevas formulaciones funcionales y sostenibles. (González-Palma, 2016)

Galletas

Las **galletas** son uno de los productos más populares en el mercado alimentario, pero suelen elaborarse con harinas refinadas, azúcares y grasas, lo que resulta en un bajo aporte nutricional (Yadav, 2022). Frente a este problema, el reemplazo parcial de harina de trigo por harina de hongo ostra puede mejorar el perfil nutricional del producto, reducir su índice glucémico y aportar compuestos funcionales de origen natural. Además, este tipo de formulaciones es atractivo para consumidores que siguen dietas veganas o buscan alternativas saludables.

MATERIALES Y MÉTODOS

Protocolo de revisión

Se utilizó ROSES (Reporting standards for Systematic Evidence Syntheses), formato compatible con investigaciones sobre conservación y gestión ambiental (Haddaway, 2018), temas estrechamente relacionados con la seguridad alimentaria.

Pregunta de investigación

Las galletas comunes son ricas en harinas refinadas, azúcares y grasas, pero pobres en fibra y proteína, lo que las convierte en un producto de bajo aporte nutricional. Esto limita su valor para quienes buscan opciones veganas, saludables y diferentes.

Estrategia de búsqueda

Para certificar la pertinencia de la información, se debe asegurar la importancia de la misma. En esta revisión, se estableció el uso de un criterio, cómo el intervalo de 5-6 años para la

elección de la clase de estudios, conforme al protocolo ROSES, se realizan hacen uso de bases de datos como Scopus, Science Direct, Scielo, entre otras publicaciones con indexación. y, además, literatura gris. Se emplearon denominaciones esenciales como "hongo Ostra", "galleta.", "dieta vegana", "tipos de harinas", "proteína de hongo" operadores de booleano OR, AND, NOT, destinados a y operadores de booleano OR, AND, NOT. De forma más eficiente, se puede filtrar la información para filtrar de forma más efectiva.

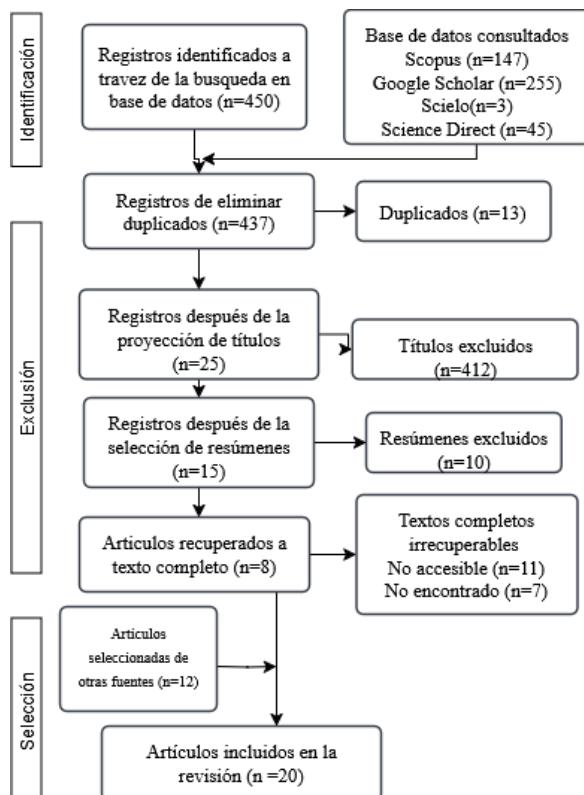


Figura 1. Diagrama sistemático del protocolo de revisión

RESULTADOS

Descripción

El hongo ostra (*Pleurotus spp.*) ha captado el interés en el sector de la alimentación debido a su perfil nutricional y funcional, lo que lo hace un componente perfecto para la elaboración de alimentos sanos y sustentables. Este hongo, abundante en proteínas de excelente calidad ayuda a potenciar el sistema inmunológico y a disminuir el peligro de padecer enfermedades

crónicas cáncer y diabetes (Girmay, 2021); (Jayachandran, 2022). Su adaptabilidad posibilita su inclusión en una variedad de productos como panes, sopas, embutidos veganos, aperitivos, hamburguesas y bebidas enriquecidas.

Las investigaciones han evidenciado que su incorporación puede incrementar la actividad antioxidante, disminuir el índice glucémico y potenciar la calidad sensorial sin alterar el gusto ni la textura del alimento (Koutrotsios, 2021).

Composición química y nutricional

La composición de los hongos del género *Pleurotus spp.* está dominada por el agua, la cual representa entre el 70% y el 95% de su peso fresco, variando según la especie y las condiciones de cultivo (Con Tzep, 2021). Su perfil nutricional se caracteriza por un contenido de lípidos generalmente bajo (0.05%-2%) y una proporción significativa de carbohidratos (43%-78%), lo que contribuye a su bajo aporte calórico.

Respecto al contenido proteico, si bien es inferior al de carnes comunes como la de bovino, cerdo o pollo, puede ser considerable, oscilando típicamente entre el 10% y el 25% del peso seco en diversas especies de *Pleurotus spp.*, e incluso alcanzando el extremo superior de este rango en algunas variedades, como el hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*), lo que lo convierte en una valiosa fuente de proteína de origen no animal (Kumar, 2021).

Los hongos poseen un alto contenido de vitaminas como el ácido ascórbico (C), el ácido nicotínico y pantoténico, la riboflavina (B2), y un contenido mineral del 2.6 al 6.5 %, compuesto por calcio, fósforo, hierro, sodio y potasio. De estos, predominan el fósforo y el potasio.

Aplicaciones en subproductos

El hongo ostra (*Pleurotus spp.*) se ha consolidado como un ingrediente funcional prometedor en la industria alimentaria, gracias a su alto contenido de proteína, fibra, minerales y compuestos bioactivos. Diversos estudios recientes han demostrado su eficacia en la mejora nutricional de productos

horneados. Por ejemplo, su incorporación en galletas y pan incrementa el contenido proteico y antioxidante sin afectar negativamente la textura ni la aceptabilidad sensorial (Kurek, 2022).

Además, el uso combinado con subproductos como el okara mejora la estabilidad en almacenamiento y potencia el valor funcional (Nwokafor, 2022). Incluso los residuos del cultivo de *Pleurotus* han sido aprovechados como insumos sostenibles para enriquecer panificados, promoviendo así la economía circular (Ahmed, 2023). Estas aplicaciones confirman el potencial del hongo ostra como base para desarrollar alimentos saludables, sostenibles e innovadores.

Según un estudio realizado por (Contreras Gutiérrez, 2015), la práctica consistió en llevar a cabo el cultivo y bioaplicaciones de *Pleurotus spp*, en el desarrollo de esta experiencia surgió la idea de aplicar estos conocimientos para unificar ambos reinos, el vegetal y fungi, para contribuir y mejorar las prácticas o manejos de la agricultura orgánica.

Harina y su clasificación

La **harina** es un polvo fino obtenido principalmente por la molienda de granos, semillas u otros materiales vegetales secos. Su uso más común proviene del trigo, pero también puede elaborarse a partir de arroz, maíz, legumbres, frutos secos u hongos. Está compuesta por almidón, proteínas, fibra, grasas y minerales en proporciones variables, y su funcionalidad depende del tipo de materia prima, el método de procesamiento y su granulometría (Flores-Fernández, 2022). La harina es la base de numerosos productos alimenticios horneados y desempeña un papel clave en la textura, estructura y valor nutricional de los alimentos.

Según (Surco Almendras, 2024) La harina de trigo – sorgo y mezclas de harinas haciendo variar los porcentajes de sorgo 5-30% para la obtención de panes comprendidos en la muestra: Humedad, cenizas, grasa cruda, proteínas totales, fibra cruda, hidratos de carbono, valor energético total, minerales, contenido de acidez referido al pH como

equivalente de ácido láctico. Los sorgos R y C contienen menos humedad que las otras variedades (Surco Almendras, 2024). El sorgo B 10,52% es el de mayor humedad. La mezcla de variedades de sorgo M 10,87% obtuvo el valor máximo. El contenido de cenizas varía entre 1,63-1,88%.

Harinas alternativas

Gluten-free: almendra, coco, avena, trigo sarraceno, arroz, garbanzo — altas en fibra, proteína y con funcionalidades específicas como capacidades de absorción de agua/oil (Ojeyinka, 2023)

Harinas de legumbres y pseudocereales: garbanzos, lentejas, amaranto, quinoa — ricas en proteínas, minerales, vitaminas B, útiles para formulaciones veganas y sin gluten. (Ojeyinka, 2023)

Galletas veganas

Elaborar galletas veganas y ricas en proteína es factible mediante la sustitución parcial de harina de trigo por fuentes vegetales proteicas como harina de legumbres, proteínas de chícharo, cáñamo o harina de hongo ostra. Por ejemplo, una formulación óptima con un 24 % de harina de frijol y una mezcla de aceites vegetales demostró buena aceptabilidad sensorial y actividad física adecuada (Alexandrino, 2023). Añadir proteínas vegetales (chícharo, cáñamo, semillas de calabaza, arroz integral) disminuyó el aporte proteico de 12,4 % a 15–20 %, mejorando el perfil aminoacídico. Además, los hongos comestibles ofrecen una fuente proteica completa y alta en aminoácidos esenciales, siendo recomendables para veganos.

Aceptabilidad de galletas con proteína

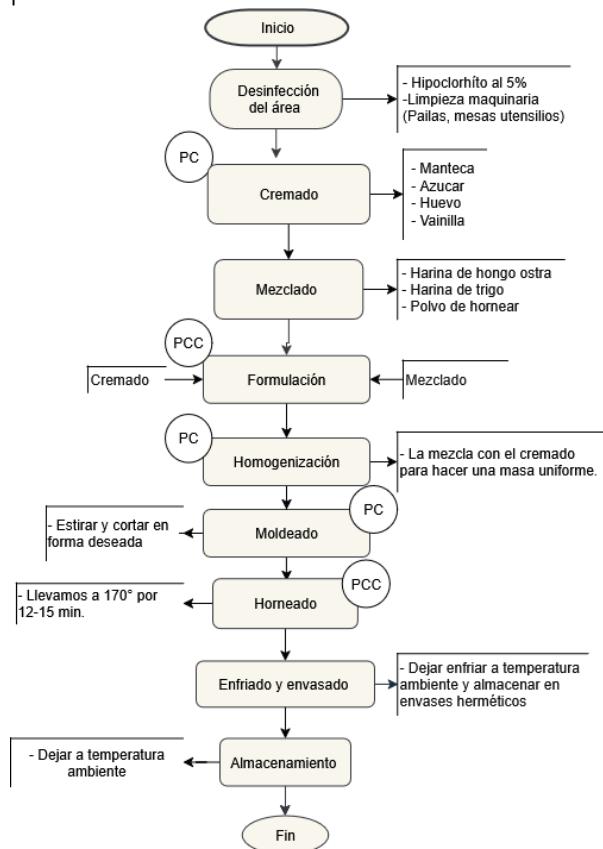
Diversos estudios recientes han evaluado la aceptabilidad sensorial de galletas formuladas con harina de *Pleurotus ostreatus*, mostrando resultados positivos. La adición de 2–4 % de este hongo en galletas tipo shortbread mejora atributos como el sabor, textura y color, superando incluso a las versiones convencionales (Kurek, 2022). Al incrementar el porcentaje hasta un 10 %, se mantiene una buena aceptación sensorial, mientras se mejora el perfil nutricional y la estabilidad

durante el almacenamiento (Nwokafor, 2022). No obstante, niveles superiores al 15 % pueden afectar negativamente la aceptabilidad debido a cambios en sabor, aroma o firmeza (Bakratsas, 2023).

Estos resultados evidencian que el hongo ostra puede incorporarse de manera funcional en productos horneados, sin comprometer la calidad sensorial, hasta niveles óptimos del 10 %.

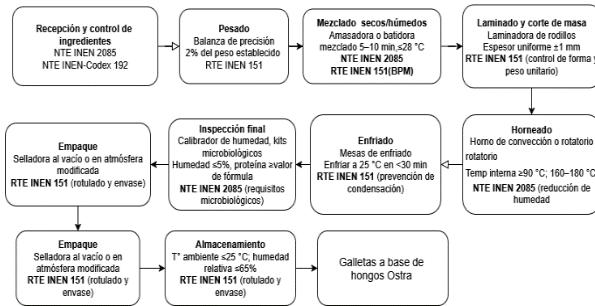
Proceso de producción de galletas

Figura 2. Diagrama sistemático del proceso de producción.



Nota: El control preciso de las etapas (detalladas en el diagrama) es crucial para preservar la calidad nutricional del ingrediente funcional añadido.

Figura 2. Diagrama del proceso, uso de normas y equipos establecidos para producción



Nota: La optimización de cada proceso es crucial para el funcionamiento óptimo de producción.

Revisión de patentes proceso de producción:

Existen 469 resultados sobre galletas en la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) pero ninguna acerca de la producción de galletas a base de hongos Ostra. En la patente 2023006965/Mx-15.12.2023, se señala un METODO PARA PRODUCIR UNA GALLETA, el mismo presenta el siguiente método: Un método para producir una galleta [100], que comprende: - preparar una primera masa para galletas: - formar con la primera masa para galletas un cuerpo (101) de galleta; - preparar una segunda masa para galletas, en donde la segunda masa para galletas es líquida: - pulverizar la segunda masa para galletas líquida en una superficie [101A] superior del cuerpo de galleta para formar una capa (102) de galleta exterior que cubre la superficie [101A] del cuerpo (101) de galleta de acuerdo con un motivo predefinido; y - hornear el cuerpo (101) de galleta y la capa (102) de galleta exterior. (Patente nº 2023006965, 2023)

DISCUSIÓN

Los resultados confirman que la incorporación de harina de hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*) en galletas mejora significativamente su perfil nutricional, aportando proteínas, fibra y compuestos bioactivos como β -glucanos. Esto coincide con estudios que reportan beneficios funcionales, incluyendo la reducción del índice glucémico y efectos antioxidantes (Kurek, 2022); (Bakratsas, 2023). Tecnológicamente, la harina de hongo contribuye a una mejor textura y estabilidad del producto,

manteniendo la aceptación sensorial óptima hasta niveles del 6–10 % (Nwokafor, 2022). Sin embargo, concentraciones mayores pueden afectar negativamente la textura y sabor, limitando su uso. Aunque la investigación sobre galletas con hongo ostra es limitada, estos hallazgos abren oportunidades para desarrollar productos veganos, saludables y sostenibles, que satisfagan demandas nutricionales y sensoriales del mercado actual.

CONCLUSIONES

Las galletas convencionales presentan un perfil nutricional limitado debido a su alto contenido de harinas refinadas, azúcares y grasas, y bajo aporte de fibra y proteína, lo que reduce su valor para consumidores veganos y saludables. La incorporación de harina de hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*) en la formulación de galletas mejora significativamente este perfil, aportando

proteínas, fibra y compuestos bioactivos, contribuyendo a un producto más nutritivo y funcional. Los resultados evidencian que niveles moderados de inclusión (hasta 10 %) mantienen la aceptabilidad sensorial, lo que permite desarrollar alternativas alimenticias sostenibles y adecuadas para dietas veganas. Sin embargo, la investigación sobre galletas enriquecidas con hongos ostra aún es limitada, lo que sugiere la necesidad de futuros estudios para optimizar formulaciones y evaluar efectos a largo plazo en la salud. Estas galletas representan una prometedora opción para diversificar el mercado de alimentos funcionales veganos.

AGRADECIMIENTO

A Universidad de Investigación y Tecnología YACHAY y a Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente -CEBA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ahmed, I. B. (2023). Application of Oyster Mushroom Cultivation Residue as an Upcycled Ingredient for Developing Bread. *Applied Sciences*, 12(21), 11067.
2. Alexandrino, T. D. (2023). Plant based proteins as an egg alternative in cookies: Using de-oiled sunflower meal and its protein isolate as an emulsifying agent. *Brazilian Journal of Food Technology*, 26.
3. ARAGONE, G. (2023). *Patente nº 2023006965*.
4. Bakratsas, G. e. (2023). Edible mushrooms: Functional foods or functional ingredients? A focus on *Pleurotus* spp. *Journal of Functional Foods*, 107, 105659.
5. Con Tzep, X. I. (2021). *DESARROLLO A NIVEL ARTESANAL DE UNA HARINA A BASE DE UN HONGO (*Pleurotus ostreatus*) PARA SU APLICABILIDAD EN UN ALIMENTO DE PANIFICACIÓN EN EL DEPARTAMENTO DE SOLOLÁ*. Guatemala.
6. Contreras Gutiérrez, I. (2015). Cultivo y bioaplicaciones del hongo *Pleurotus Ostreatus*. In *V Congreso Latinoamericano de Agroecología-SOCLA*.
7. Flores-Fernández, F. A.-M.-A.-P. (2022). Physicochemical and rheological characteristics of commercial and monovarietal wheat flours from Peru. *Foods*, 12(9), 1789.
8. Girmay, Z. G. (2021). Mushroom cultivation: A practical and potential alternative for food and nutritional security. *Applied Food Research*, , 1(1), 100008.
9. González-Palma, I. E.-B.-A.-C. (2016). Nutraceutical potential of edible mushrooms in bakery products. *Food Science and Technology*, 528–537.
10. Goubgou, M. S.-O.-S. (2021). Biscuits: a systematic review and meta-analysis of improving the nutritional quality and health benefits. *Food Production, Processing and Nutrition*, 3(1), 26.

11. Haddaway, N. R. (2018). ROSES Reporting standards for Systematic Evidence Syntheses: Pro forma, flow-diagram and descriptive summary of the plan and conduct of environmental systematic reviews and systematic maps. *Environmental Evidence*, 1-8.
12. Jayachandran, M. X. (2022). A critical review on health promoting benefits of edible mushrooms through gut microbiota. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(7), 3344. .
13. Koutrotsios, G. K. (2021). Toward an improved nutraceutical profile of agricultural by-products: Enhanced antioxidant and antiradical properties of mushrooms grown on grape marc and olive mill wastewaters. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 69(17), 5043–5054.
14. Kumar, K. M. (2021). Edible mushrooms: A comprehensive review on bioactive compounds, health benefits, and processing technologies. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 191–197. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100380>
15. Kurek, M. M. (2022). Physico-Chemical, Sensory, and Nutritional Properties of Shortbread Cookies Enriched with *Agaricus bisporus* and *Pleurotus ostreatus* Powders. *Applied Sciences*, 14(5), 1938.
16. Nwokafor, J. V. (2022). Oyster Mushroom and Okara Flour as Nutritional Enhancers in Wheat Biscuits: A Study on Storage Stability. *Foods*, 14(3), 539.
17. Ojeyinka, S. A. (2023). Composition, functionality and baking quality of flour from four brands of wheat flour. *International Journal of Food Properties*, 319–333.
18. Royse, D. J. (2017). Current overview of mushroom production and use as functional food: Introduction to the special issue. *Mushroom Biology and Mushroom Products*, 7, 1–6.
19. Sánchez, C. (2021). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and other edible mushrooms. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104(3), 1001-1015.
20. Surco Almendras, J. C. (2024). Harinas compuestas de sorgo-trigo para panificación. *Revista Boliviana de Química*, 19-28.
21. Valverde, M. E.-P.-L. (2015). Edible mushrooms: Improving human health and promoting quality life. *International Journal of Microbiology*, 1–14.
22. Yadav, M. K. (2022). Functional cookies prepared with *Pleurotus ostreatus* powder: Nutritional and sensory properties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46.

Citar artículo: Manosalvas-Paspuel, R., Cabezas-Orquera, D., Pineda-Insuasti, J., Coello-Vargas, M., Pineda-Soto, A. (2025). Potencial del champiñón ostra (*Pleurotus spp.*) En la producción de galletas: una revisión. Biorrefinería 8 (1). Obtenido de <https://cebaecuador.org/publicaciones/revista-biorrefineria/>

Información de revisión por pares: Revista Biorrefinería agradece a los revisores anónimos por su contribución a la revisión por pares de este trabajo utilizando <https://reviewerlocator.webofscience.com/>.

Acceso abierto: Todos los artículos publicados por Revista Biorrefinería son accesibles en línea de forma gratuita y permanente inmediatamente después de su publicación, sin cargos de suscripción ni barreras de registro.

Nota del Editor: Revista Biorrefinería se mantiene neutral con respecto a reclamos jurisdiccionales en mapas publicados y afiliaciones institucionales.

Copyright: © 2024 por los autores. Presentado para posible publicación en acceso abierto bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS PELETIZADOS A PARTIR DE CHAMPIÑÓN OSTRA (*Pleurotus spp.*): UNA REVISIÓN

PRODUCTION OF PELETED FOOD FROM OYSTER MUSHROOMS (*Pleurotus spp.*): A REVIEW

Rafael David Quito-Anrrango¹, Klever Mauricio Quimbiulco-Sánchez¹, Julio Pineda-Insuasti², Alejandro Pineda-Soto^{1,2}, Melany Coello-Vargas³

¹Universidad de Investigación de Tecnología Experimental -YACHAY. Urcuquí, Ecuador

²Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente-CEBA. Ibarra, Ecuador (<https://cebaecuador.org/>)

³Universidad Técnica del Norte-UTN. Ibarra, Ecuador

Autor para correspondencia: rafael.quito@yachaytech.edu.ec

Recibido: 13/08/2025

Aceptado: 13/09/2025

RESUMEN

Este trabajo explora el potencial agroindustrial de *Pleurotus ostreatus*, un hongo comestible de alto valor nutritivo y bajo costo, en el desarrollo de pellets alimenticios funcionales destinados a mejorar la seguridad alimentaria en la nutrición humana y animal. Con base en una revisión exhaustiva de literatura, se encontró que la incorporación de *Pleurotus* en formulaciones de pellets mejora el contenido proteico, la vida útil y la digestibilidad aportando compuestos bioactivos con beneficios inmunomoduladores y antioxidantes. Además, la falta de patentes para pellets de hongos de grado alimenticio destaca una clara oportunidad para la innovación. El estudio concluye que la paletización de *P. ostreatus* ofrece una estrategia sostenible, viable para reducir las pérdidas postcosecha generando productos funcionales a los desafíos actuales del sistema alimentario.

Palabras clave: Agroindustria, Hongos, Alimentos, funcionales, Pellets.

ABSTRACT

This work explores the agroindustrial potential of *Pleurotus ostreatus*, an edible mushroom of high nutritional value and low cost, in the development of functional food pellets aimed at improving food safety in human and animal nutrition. Based on a comprehensive literature review, it was found that the incorporation of *Pleurotus* in pellet formulations improves protein content, shelf life, and digestibility, providing bioactive compounds with immunomodulatory and antioxidant benefits. Furthermore, the lack of patents for food-grade mushroom pellets highlights a clear opportunity for innovation. The study concludes that *P. ostreatus* pelleting offers a sustainable, viable strategy to reduce post-harvest losses by generating functional products to meet the current challenges of the food system.

Keywords: Agroindustry, Mushrooms, Functional Foods, Pellets.

INTRODUCCIÓN Seguridad alimentaria

El cultivo de *Pleurotus ostreatus* se ha consolidado como una alternativa estratégica

para la seguridad alimentaria por su alto valor nutricional, bajo costo de producción y facilidad de cultivo, aspectos clave para poblaciones vulnerables (Sierra & Orozco, 2014). Además de aportar proteínas de calidad, fibra, minerales y compuestos inmunomoduladores que contribuye a mejorar el estado nutricional en comunidades con limitados recursos, como en la Comuna 18 de Cali (Sierra & Orozco, 2014). A nivel global, más de mil especies de hongos silvestres comestibles enriquecen las dietas y prácticas culturales, generando también ingresos económicos (Merino Galindo & Márquez Molina, 2024).

La crisis provocada por la pandemia del SARS-CoV-2 y el endurecimiento del bloqueo económico en Cuba han agravado los problemas económicos, resaltando la urgencia de alternativas sostenibles en la producción de alimentos concentrados para animales como los conejos, esenciales en la seguridad alimentaria y priorizados en el Plan Nacional de la Economía hasta 2030 (Rodríguez-Fontes et al., 2023).

Asimismo, garantizar alimentos balanceados de calidad adaptados a cada etapa productiva mediante una asesoría veterinaria (Martínez, 2021). De manera similar, en Honduras, el cultivo de *Pleurotus pulmonarius*, especie cercana a *P. ostreatus*, se ha identificado como rentable y sostenible, lo que refuerza la sostenibilidad agroalimentaria frente a los actuales desafíos económicos y alimentarios (Baptiste, 2024).

Según Duarte et al. (2018, citado en Terry et al., 2001), diversos estudios epidemiológicos han demostrado que muchos problemas de salud están vinculados a una alimentación inadecuada, los cuales pueden prevenirse con una dieta balanceada. Esto ha incentivado el desarrollo de alimentos funcionales como estrategia para mejorar la salud y prevenir enfermedades relacionadas con la nutrición.

Los hongos cumplen un papel clave en los ecosistemas, al facilitar el ciclo de nutrientes mediante la descomposición de la materia orgánica, contribuyendo a la regeneración y fertilidad del suelo (Merino Galindo & Márquez Molina, 2024).

En cuanto a la alimentación animal destinada al consumo humano, una dieta equilibrada es esencial para garantizar la calidad de los productos derivados. Los productores buscan alternativas nutricionales de buen valor y bajo costo que mejore la rentabilidad y el bienestar del consumidor mediante la producción de alimentos balanceados siendo fundamental para sostener las cadenas productivas de carnes y lácteos (Mercedes, 2025), una actividad que ha favorecido la integración eficiente en la producción animal, desde la recepción hasta el almacenamiento de insumos (Mercedes, 2025).

Características y rendimiento del producto

Hongos Ostra (Pleurotus ostreatus)

El *Pleurotus ostreatus* permite aprovechar residuos agroindustriales, aunque su cultivo a gran escala requiere controlar variables ambientales (Cruz et al., 2021). Su cultivo en mezclas de paja de arroz y bagazo de caña mejora el desarrollo del micelio y la calidad del sabor (De et al., 2023). Además, las comunidades indígenas transmiten conocimientos ancestrales sobre su recolección y aprovechamiento del hongo ostra (Merino Galindo & Molina, 2024).

En Ecuador y Latinoamérica su consumo aún es limitado, aunque algunas comunidades indígenas ya los utilizan como alimento accesible para poblaciones vulnerables (Cruz et al., 2021). Posee un contenido proteico de aproximadamente 22% en peso seco, equiparable a la proteína animal (Isidora, 2025). Este hongo es reconocido también por sus propiedades medicinales y nutracéuticas, con efectos antiinflamatorios, antioxidantes y cardioprotectores (Morris-Quevedo et al., 2021).

Tabla 1. Contenido Nutricional del *Pleurotus ostreatus* en materia seca.

Contenido Nutricional	
Carbohidratos	57% - 61%
Proteína	26%
Fibra	11,9%
Grasa a peso seco	0,9% - 1.8%
Vitaminas	Niacina
	Tiamina (B1)
	Vitamina B12
	Vitamina C
Minerales	Potasio
	Fósforo
	Calcio

Tomado de (Cruz et al., 2021).

Pellet

Los pellets son productos densificados que pueden destinarse tanto a la alimentación como a la generación de energía, siendo elaborados con residuos orgánicos y materiales alimenticios (Morales, 2019).

En México, su producción energética es aún incipiente, pero con potencial de crecimiento, especialmente para sustituir combustibles fósiles (Aguilar et al., 2022).

Los gránulos fúngicos optimizan la producción de metabolitos útiles y la eliminación de compuestos tóxicos, siendo el proceso de agitación un factor clave en su formación, según la metodología Taguchi (Hernández-Cruz et al., 2024).

Paletizar, beneficios y ventajas

La paletización y la extrusión son tecnologías que mejoran la digestibilidad de nutrientes, especialmente en la alimentación porcina, favoreciendo la palatabilidad y la eficiencia energética (Lancheros et al., 2020).

Transformar harinas en pellets permite obtener alimentos balanceados con mejor valor energético (Morales, 2019), además de ofrecer ventajas como menor desperdicio, destrucción de microorganismos, mejorar el

desempeño en animales, reducir la densidad y selección del alimento y mejorar el tiempo del alimento en el consumo (Martínez, 2021).

No obstante, su implementación implica conocer los procesos para asegurar un producto nutricional y ambientalmente responsable (Morales, 2019).

METODOLOGÍA

Protocolo de revisión

Para el desarrollo de esta revisión se aplicó una estrategia de búsqueda exhaustiva, permitió identificar estudios potencialmente relevantes. Se utilizó el protocolo ROSES (Reporting standards for Systematic Evidence Syntheses), adecuado para revisiones sistemáticas en temas de sostenibilidad alimentaria, bioeconomía y seguridad nutricional, ya que facilita una estructuración rigurosa de los criterios de calidad, pertinencia y actualidad en la selección de la información en términos de validez y confiabilidad (Bogdan Toma, 2021).

Fuentes de información

Para garantizar la **relevancia y actualidad** de la información empleada, se estableció un **rango de 5 a 6 años**, priorizando estudios revisados por pares, tesis académicas, artículos técnicos, manuales de diseño de maquinaria y patentes. La búsqueda se realizó en bases de datos científicas y repositorios académicos de acceso abierto como **Google Scholar, Redalyc, Scielo, WIPO (World Intellectual Property Organization)** y repositorios universitarios institucionales (USFQ, Zamorano, UDEC).

Se emplearon palabras clave en español e inglés, como: “*Pleurotus ostreatus*”, “functional pellets”, “alimentación animal”, “procesamiento fúngico”, “alimentos balanceados”, “alimentación humana” y “bioconversión fúngica”. Para filtrar los resultados y optimizar la búsqueda, se utilizaron operadores booleanos como AND, OR

y NOT, combinando términos según el objetivo de la revisión.

La información recopilada fue posteriormente clasificada según los siguientes ejes temáticos: (1) seguridad alimentaria y propiedades nutricionales del hongo, (2) tecnología de paletización, (3) aplicaciones en consumo animal y humano, y (4) análisis de patentes.

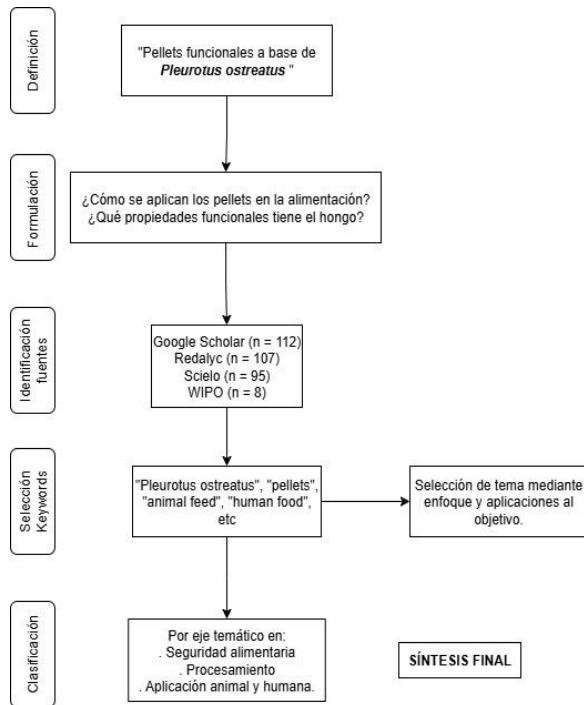


Figura 1. Diagrama sistemático de revisión

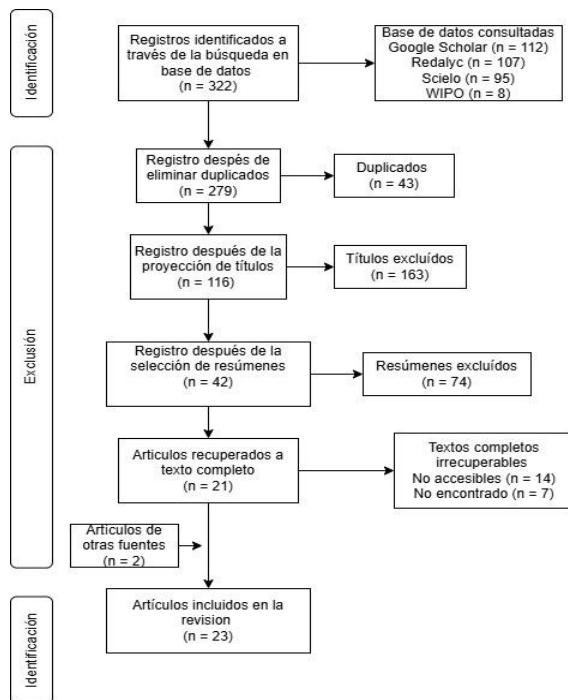


Figura 2 Diagrama sistemático desde el protocolo de revisión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Criterios de selección de máquina peletizadora

La peletizadora, también conocida como granuladora, desempeña un papel crucial en diversas industrias al transformar mezclas de materias primas en pequeñas unidades cilíndricas o esféricas, conocidas como pellets. Un proceso que se logra aplicando presión, calor o humedad, y es fundamental en sectores como la producción de alimentos, cosméticos, fertilizantes, medicamentos e incluso biocombustibles (Rodríguez-Fontes et al., 2023).

De acuerdo con Rodríguez-Fontes et al., (2023), “La calidad del pellet no solo depende de los ingredientes empleados y de la tecnología utilizada, sino también de su resistencia física frente al manejo y transporte, lo cual garantiza su funcionalidad y valor comercial”.

Existen diversos tipos de peletizadoras que varían según su principio de funcionamiento: rodillos giratorios, de disco, de contraflujo, de matriz plana y anular. Estas pueden ser móviles o fijas, eléctricas o a diésel, lo que amplía su aplicabilidad en distintos contextos productivos. Por su parte, las extrusoras, aunque también generan pellets, tienen la ventaja de modificar las propiedades físico-químicas de los ingredientes, lo que representa un beneficio clave en la industria de alimentos balanceados. Este tipo de maquinaria no solo mejora la eficiencia del procesamiento, sino que también incrementa la biodisponibilidad de los nutrientes y la calidad del producto final, aspectos altamente valorados en la producción animal moderna (Rodríguez-Fontes et al., 2023).

Pellets para consumo animal a base de *Pleurotus ostreatus*

Mascotas Domésticas

Tradicionalmente, basados en ingredientes de origen animal (pollo, res, pescado) combinados con cereales (maíz, arroz, trigo) y suplementos minerales y vitamínicos los alimentos concentrados para mascotas como perros y gatos son considerados alimentos expuestos a contaminación por hongos filamentosos como *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* y *Cladosporium*, generando micotoxinas peligrosas para la salud animal (Muñoz et al., 2015).

El *Pleurotus ostreatus* no solo aporta nutrientes, sino que también contiene compuestos bioactivos con efectos antioxidantes, inmunoestimulantes y prebióticos, beneficiosos para la salud intestinal de las mascotas. Estos efectos lo convierten en una alternativa funcional para la formulación de pellets nutritivos (Muñoz et al., 2015).

Alimentación de cuyes

Según (Miranda, 2013), el sustrato de *Pleurotus ostreatus* puede ser incorporado en pellets nutricionales como una fuente proteica y fibrosa para el consumo en cuyes donde estos pellets compactados son formulaciones sólidas que combinan ingredientes locales como melaza, afrecho de trigo, polvillo de arroz, urea y minerales con un 45% de sustrato postproducción en la dieta de cuyes mejoró los parámetros productivos como:

- Número de crías destetadas
- Ganancia de peso (0.62 kg)
- Conversión alimenticia (8.55)

Pellets para consumo humano a base de *Pleurotus ostreatus*

Panificación

En alimentos para humanos, como galletas y barritas, la harina de *Pleurotus ostreatus* ha incrementado el contenido proteico y de fibra sin comprometer la aceptabilidad sensorial con formulaciones con un 30% de sustitución de harina de trigo, se lograron aumentos del

8–12% en proteína bruta y del 1–2.7% en fibra cruda una experiencia que puede emplearse en pellets ajustando la formulación a sus requerimientos nutricionales (Escalona, 2019).

Según Morris-Quevedo et al., (2021) menciona “Hasta donde sabemos, no existen productos estándar desarrollados con el hongo *Pleurotus* en forma de galletas funcionales con un valor nutricional, perfil químico y propiedades antioxidantes mejorados.”

Hamburguesas

Su transformación en pellets (gránulos compactados) ofrece una solución innovadora que reduce pérdidas post cosecha con la estabilización del producto y un mejoramiento en la accesibilidad con limitaciones de refrigeración y la diversificación en aplicaciones culinarias (sopas, guisos, análogos cárnicos) (Vásquez & Abner, 2018).

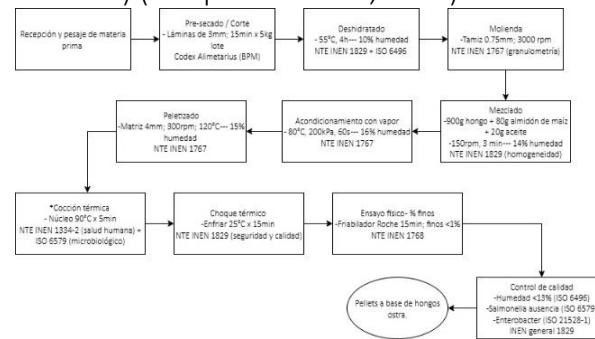


Figura 3. Diagrama de flujo proceso de elaboración de pellets a base de hongos ostra *Pleurotus Ostreatus*.

Patentes

En la base de datos [WIPO](#), no se encontraron patentes registradas generales que integren específicamente *Pleurotus ostreatus* en la elaboración de pellets funcionales para consumo humano pero si en consumo animal según [\(BHASKARRAO et al., 2017\)](#), pero solamente de un tipo de animal (avícola), lo cual puede ser un indicio para más animales lo que puede indicar un espacio poco explorado y limitado con alto potencial en la brecha de innovación tecnológica y científica.

Por otra parte, no existe patentes registradas que integren específicamente *Pleurotus ostreatus* en la elaboración de pellets funcionales para consumo humano

CONCLUSIONES

El hongo *Pleurotus ostreatus* es una opción nutritiva y versátil para elaborar pellets tanto para consumo animal como humano. Su fácil cultivo, alto contenido proteico y bajo costo lo hacen ideal para aprovechar en sistemas de alimentación más sostenibles. Además, el proceso de peletización ayuda a conservar sus propiedades y facilita su uso. Aunque ya

existen estudios y una sola patente relacionada con su uso en alimentación animal avícola, aún no hay desarrollos registrados para consumo humano, lo que muestra una oportunidad para innovar en este campo. Es recomendable seguir investigando para escalar el proceso y aplicar este producto a mayor escala.

AGRADECIMIENTO

A Universidad de Investigación de Tecnología Experimental YACHAY y a Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente (CEBA)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aguilar, P., Carrillo, N., Pérez, A., & Núñez, D. (2022, December 16). *Vista de Evaluación de los parámetros de producción de pellets de Pinus patula para una estandarización de calidad en México*. Aldeser.org. <https://aldeser.org/journals/index.php/TERYS/article/view/166/137>
2. Baptiste, K. J. (2024, August). *Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de Pleurotus pulmonarius (Ostra) en Honduras*. Bdigital.zamorano.edu. <https://bdigital.zamorano.edu/items/4be6d50b-5b61-4d23-8162-87b3ac62fd87>
3. BHASKARRAO , H., GHOLE, V., BHOSLE, S., JITENDRA , M., & BAPAT, G. (2017, December 2). *UN NUEVO ADITIVO A BASE DE HONGOS PARA AVES DE CORRAL Y ALIMENTOS ANIMALES PARA MEJORAR EL CRECIMIENTO Y LA SALUD*. Wipo.int. <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=IN211779725>
4. Bogdan Toma, R. (2021). Problemas de validez y fiabilidad en los cuestionarios ROSE: revisión sistemática de la producción española. *Revista Eureka Sobre Enseñanza Y Divulgación de Las Ciencias*, 18(3), 1–16. https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i3.3102
5. Cruz, D., Capa, D., Maza, D., Ojeda, R., & Benítez, Á. (2021, April 27). *Producción y valor proteico de Pleurotus ostreatus en la región sur de Ecuador*. Usfq.edu.ec. <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/article/view/1806/3171>
6. De, A., Deepanjan Mridha, Roychowdhury, T., Bandyopadhyay, B., & Anindya Sundar Panja. (2023). Substrate level optimization for better yield of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) production, using different ratio of rice straw and sugarcane bagasse. *World Journal of Microbiology & Biotechnology Incorporating the MIRCEN Journal of Applied Microbiology and Biotechnology/World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 39(10). <https://doi.org/10.1007/s11274-023-03714-0>
7. Duarte, A. S., Pineda, J. A., García , M., & González , C. A. (2018). *Pleurotus ostreatus: una seta con potencial*. *Pleurotus ostreatus: a mushroom with potential*. <https://cebaecuador.org/wp-content/uploads/2021/06/Biorrefineri%CC%81a-02-2019-VERSION-COMPLETA-98-119.pdf>

8. Escalona, V. L. (2019). Caracterización e implementación de harina de setas (*Pleurotus Ostreatus*). En la formulación de productos de panificación. *Uaeh.edu.mx*. <https://doi.org/10.13412/202019>
9. García, A. J., & Melgar, C. M. (2013). Seguridad alimentaria por la presencia de ¹³⁷Cs en hongos comestibles comerciales recogidos en Galicia. *Revista de Toxicología*, 30(2), 161–164. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91931189006>
10. Hernández-Cruz, T. M., Legorreta-Castañeda, A. J., García-Gutiérrez, K., Carballo-Sánchez, M. P., Guerra-Sánchez, G., & Olicón-Hernández, D. R. (2024). Fungal pellets of *Pleurotus ostreatus* and *Rhizopus stolonifer* for biotechnological applications: Characterization and production optimization using Taguchi methodology. *Current Research in Biotechnology*, 7, 100226. <https://doi.org/10.1016/j.crbiot.2024.100226>
11. Isidora, P. (2025). *Uso de Pleurotus ostreatus como potencial alimento nutracéutico en la salmonicultura*. Udec.cl. <https://repositorio.udec.cl/items/3775340a-33cc-4cb7-832e-d917fda07c14>
12. Lancheros, J. P., Espinosa, C. D., & Stein, H. H. (2020). Effects of particle size reduction, pelleting, and extrusion on the nutritional value of ingredients and diets fed to pigs: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 268, 114603. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114603>
13. Martínez, C. B. (2021, December). *Agregado de valor a la producción de commodities mediante la incorporación de un nuevo producto al mercado*. Repositorio.21.Edu.ar. <https://repositorio.21.edu.ar/items/2c6c3ba3-1356-4463-af32-dc771ed6943d>
14. Mercedes, R. (2025). Descripción de los procesos tecnológicos más utilizados en la fabricación de alimentos balanceados y su uso en producción animal. *Utb.edu.ec*. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/18072>
15. Merino Galindo, I. V., & Márquez Molina, O. (2024). Conocimiento tradicional de hongos comestibles en comunidades indígenas del mundo y límites planetarios, revisión sistemática actual. *Revista CoPaLa. Construyendo Paz Latinoamericana*, 10(21), 1–23. <https://www.redalyc.org/journal/6681/668180142014/>
16. Miranda, M. L. (2013). *ESPOCH DSpace*. Espoch.edu.ec. <https://dspace.espoch.edu.ec/items/be30fafb-bfad-4791-8f9c-2fe8f9733236>
17. Morales, R. A. (2019). *DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA MÁQUINA PELETIZADORA PARA LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTO ANIMAL*. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/ca1dc502-e835-43b9-a7a4-35fb96f60ae8/content>
18. Morris-Quevedo, H. J., Yebra-Díaz, M. I., Arce-Ferrera, J. L., Perera-Segura, E., & García-Oduardo, N. (2021). Nutritional and antioxidant properties of novel cookies enriched with oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) flour. *Revista Cubana de Química*, 33(3), 437–451. <https://www.redalyc.org/journal/4435/443569388011/>

19. Muñoz, D. J., Rodríguez, R., Mota, J. J., & Suarez, L. R. (2015). *AISLAMIENTO E IDENTIFICACIÓN DE HONGOS FILAMENTOSOS EN ALIMENTOS CONCENTRADOS PARA MASCOTAS DOMÉSTICAS (PERROS Y GATOS)*. <https://www.redalyc.org/pdf/959/95944009003.pdf>
20. Rodríguez-Fontes, Y., Vázquez-Peña, A., & Muñoz, M. del C. (2023). Evaluación de tecnología para la producción a pequeña escala de alimento peletizado, para conejos. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 32(1), -. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542023000100007&script=sci_arttext&tlang=es
21. Sierra, F., & Orozco, J. P. (2014). *Sistema de cultivo para la gestión de hongos comestibles como complemento alimenticio dirigido a los habitantes de la comuna 18 de Cali para mejorar la seguridad alimentaria causada por la inaccesibilidad*. Icesi.edu.co; Universidad Icesi. <https://repository.icesi.edu.co/items/5f9b8cea-3f05-7785-e053-2cc003c84dc5>
22. Terry, P., Giovannucci, E., Michels, K., Bergkvist, L., Hansen, H., Holmberg, L., & Wolk, A. (2001). Fruit, Vegetables, Dietary Fiber, and Risk of Colorectal Cancer. *JNCI Journal of the National Cancer Institute*, 93(7), 525–533. <https://doi.org/10.1093/jnci/93.7.525>
23. Vásquez, E., & Abner, J. (2018). “Formulación de una torta tipo hamburguesa a base de hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*) y harina de coqueta roja (*Eisenia foetida*) y comparación con las concentraciones de proteína y hierro con la carne de vacuno” - Repositorio Institucional USAC. *Usac.edu.gt*. <http://www.repository.usac.edu.gt/8294/1/22Tg%28826%29Ali.pdf>

Citar artículo: Quito-Anrrango, R., D., Quimbiulco-Sánchez, K., M., Pineda-Insuasti, J., Pineda-Soto, A., & Coello-Várgaz, M. (2025). Producción de alimentos pelletizados a partir de champiñón ostra (*Pleurotus spp.*): una revisión. *Biorrefinería* 8 (1). Obtenido de <https://cebaecuador.org/publicaciones/revista-biorrefineria/>

Información de revisión por pares: Revista Biorrefinería agradece a los revisores anónimos por su contribución a la revisión por pares de este trabajo utilizando <https://reviewerlocator.webofscience.com/>.

Acceso abierto: Todos los artículos publicados por Revista Biorrefinería son accesibles en línea de forma gratuita y permanente inmediatamente después de su publicación, sin cargos de suscripción ni barreras de registro.

Nota del Editor: Revista Biorrefinería se mantiene neutral con respecto a reclamos jurisdiccionales en mapas publicados y afiliaciones institucionales.

Copyright: © 2024 por los autores. Presentado para posible publicación en acceso abierto bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

ELABORACIÓN DE SNACKS A PARTIR DE HONGOS OSTRA (*Pleurotus spp.*): UNA REVISIÓN

DEVELOPMENT OF SNACKS FROM OYSTER MUSHROOMS (*Pleurotus spp.*): A REVIEW

Santiago Alejandro Briceño-Fiallos¹, David Alejandro Cabezas-Orquera¹, Julio Pineda-Insuasti², Alejandro Pineda-Soto^{1,2}, Melany Coello-Vargas³

¹Universidad de Investigación de Tecnología Experimental -YACHAY. Urcuquí, Ecuador

²Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente-CEBA. Ibarra, Ecuador

³Universidad Técnica del Norte-UTN. Ibarra, Ecuador

Autor para correspondencia: santiago.briceno@yachaytech.edu.ec

Recibido: 13/08/2025

Aceptado: 13/09/2025

RESUMEN

El limitado desarrollo de snacks saludables a base de hongos ostra motiva esta revisión, donde se evidencian estudios recientes sobre avances tecnológicos y aplicaciones del hongo ostra (*Pleurotus spp.*) en la elaboración de snacks a partir de este hongo como ingrediente funcional. Mediante el protocolo ROSES (RepOrting standards for Systematic Evidence Syntheses), Se identificaron tres categorías principales: snacks directos, productos horneados enriquecidos con hongos y formulaciones funcionales innovadoras. Los resultados evidencian mejoras nutricionales, buena aceptación sensorial y ventajas tecnológicas. Además, se propone un proceso a escala de laboratorio que integra los hallazgos más prometedores. Esta revisión respalda el uso de *Pleurotus spp.* Como alternativa sostenible y saludable para la industria de snacks funcionales.

Palabras clave: agroindustria, *Pleurotus spp.*, alimentos funcionales, snacks saludables, hongos comestibles, sostenibilidad.

ABSTRACT

The limited development of healthy oyster mushroom-based snacks motivated this review, which analyzed recent studies on technological advances and applications of oyster mushrooms (*Pleurotus spp.*) in the production of snacks based on this fungus as a functional ingredient. Using the ROSES protocol, three main categories were identified: direct snacks, enriched baked goods, and innovative functional formulations. The results demonstrate nutritional improvements, good sensory acceptance, and technological advantages. Furthermore, a laboratory-scale process is proposed that integrates the most promising findings. This review supports the use of *Pleurotus spp.* as a sustainable and healthy alternative for the functional snack industry.

Keywords: agribusiness, *Pleurotus spp.*, functional foods, healthy snacks, edible mushrooms, sustainability.

INTRODUCCIÓN

Los residuos de alimentos se generan a nivel local y global en grandes cantidades, y su

eliminación conlleva gastos. Además, tienen un valor nutricional y casi ninguno tóxico. Por esta razón se puede usar el cultivo de hongos

para la circulación de residuos alimentarios para así lograr un ciclo de cero emisiones (Barua et al., 2024).

Además, tanto los países subdesarrollados como los países en desarrollo se enfrentan a graves problemas de desnutrición, pobreza e inseguridad alimentaria. El consumo y la producción de alimentos altamente funcionales como los hongos, ricos en nutrientes como proteína, bajo aporte calórico, y fibra, además de compuestos bioactivos que ofrecen protección contra diversas enfermedades, es un paso hacia la solución de estos problemas alimentarios. Los compuestos bioactivos presentes en los hongos los hacen muy convenientes para su consumo a través de diversas fuentes como: alimentos nutraceuticos y/o medicamentos. Incorporar hongos a la dieta diaria aumenta la ingesta de nutrientes al proporcionar macronutrientes y micronutrientes esenciales, así como compuestos bioactivos que no se encuentran en las comidas habituales (Singh et al., 2025).

Por este motivo los hongos comestibles “con su tolerancia a la temperatura y la capacidad de crecer en varios sustratos, *Pleurotus* emerge como el cultivo agrícola económico y de relevancia nutricional. Puede ser adoptado como una industria casera, ofreciendo oportunidades de autoempleo sin requerir una inversión de capital sustancial” (Ghafoor y Niazi, 2024).

Hoy en día, a con la globalización, las tendencias mundiales y el conocimiento de la gente se han transformado los hábitos de consumo de snacks y los consumidores se han vuelto más conscientes de su salud, ha surgido la necesidad de incorporar snacks más saludables en las dietas. Si bien no existe una definición consensuada de “snacks saludables”, las guías dietéticas se refieren a snacks con alto valor nutricional y biológico. (Amerikanou et al., 2023).

Las potencialidades de utilización de *Pleurotus* en la alimentación humana y pecuaria son cada vez más conocidas y fundamentadas científicamente, transformándose en una de las mejores opciones para abordar el tema de la producción sostenible de alimentos, medicamentos y productos biotecnológicos. (Contreras Moreno et al. 2021)

METODOLOGÍA

Protocolo de revisión

Se utilizó ROSES (Reporting standards for Systematic Evidence Synthesizes), formato compatible con investigaciones sobre conservación y gestión ambiental (Haddaway et al., 2018), temas estrechamente relacionados con la seguridad alimentaria.

Pregunta de investigación

¿Puede el hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*) ser una alternativa nutritiva en el desarrollo de snacks funcionales, con alta aceptabilidad sensorial y mejor perfil nutricional?

Estrategia de búsqueda

Siguiendo el protocolo ROSES, se utilizaron bases de datos como Scopus, Science Direct, Scielo, Latindex, otras revistas indexadas y adicionalmente literatura gris. Se usaron palabras clave como “Oyster Mushroom Snack”, “*Pleurotus* Snack”, “Oyster Snack” y operadores boléanos OR, AND, NOT.

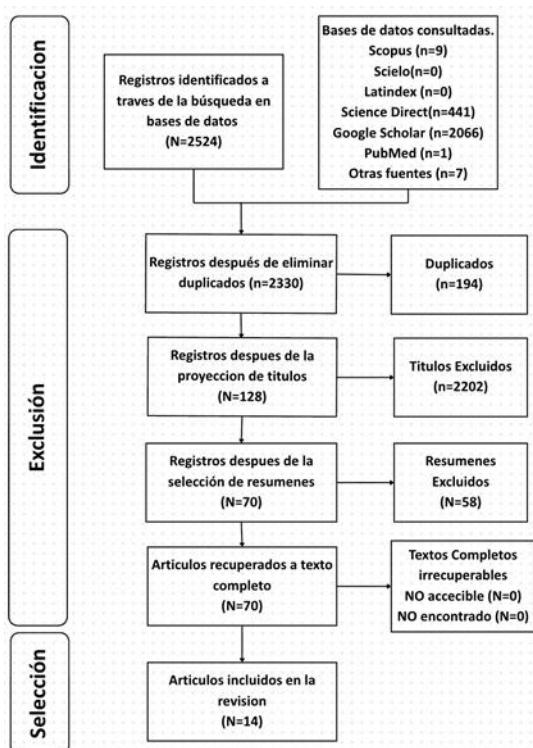


Figura 2. Diagrama sistemático protocolo revisión.

RESULTADOS

La revisión permitió identificar múltiples aplicaciones del hongo ostra (*Pleurotus spp.*) en el desarrollo de snacks funcionales, divididas en tres categorías: snacks directos, productos enriquecidos y formulaciones alternativas y funcionales, según el tipo de tecnología empleada, la matriz utilizada y los beneficios observados.

Snacks directos a base de hongo ostra

Varios estudios exploraron el uso del hongo ostra como base para snacks de consumo directo, empleando diversas técnicas de procesamiento:

Osmodeshidratación: Las muestras se impregnaron con soluciones hipertónicas que incluían agua residual de rosa, glicerol, sal y cloruro de calcio, y se deshidrataron al aire a 40, 55 y 70 °C. Las muestras pretratadas alcanzaron valores más bajos de actividad de agua y mantuvieron mejor su color (mejora del 25 % al 50 %) (Stavropoulou, Lazou & Giannakourou, 2023)

Chips horneados: Puntuación media de 7,1 en una escala hedónica de nueve puntos de 80 personas que participaron en el análisis de evaluación sensorial. Contiene un 32 % de fibra dietética, un 30 % de proteína sin almidón. Contiene entre un 30 % y un 35 % menos de calorías en comparación con los snacks comerciales más populares del mercado (Balan et al., 2021).

Fritura profunda: “tienen un ROI o Retorno de la inversión del 68,42%, el producto genera gran beneficio a la producción y comercialización.” (Petallo, 2024).

Fritura al vacío: “chips con un contenido de agua muy bajo, inferior al 1 %, con un 80 % de agua evaporada” (Nabillah, Yuliati, & Zamhari, 2022).

Productos horneados enriquecidos

El hongo ostra se utilizó como ingrediente funcional para enriquecer productos de panadería, demostrando mejoras nutricionales y aceptabilidad sensorial:

Galletas enriquecidas: La incorporación de polvo de hongo ostra (OMP) redujo los valores de trabajo de cizallamiento o corte, mientras que incrementó los parámetros de pegajosidad y trabajo de adhesión. La adición de OMP mejoró significativamente las características fisicoquímicas de las galletas, aumentando su contenido de cenizas, volumen, actividad de agua, proteínas y fracturabilidad. Comparadas con el control, las formulaciones con OMP produjeron galletas con coloración más oscura. El tratamiento con 10% de OMP demostró las propiedades sensoriales óptimas, alcanzando los mayores niveles de aceptabilidad general y los mejores puntajes promedio en todas las dimensiones evaluadas. Adicionalmente, los análisis revelaron una intensificación de las bandas proteicas, atribuible al elevado contenido proteico del OMP (Baltacioglu et al., 2020).

Pan enriquecido: La adición de polvo de hongos contribuyó a un aumento de la dureza, la masticabilidad y la elasticidad del pan de hongos. Cierta reducción de volumen. Presentó menor cohesión y suavidad. El pan de hongos también fue más oscuro que el pan de control (Abdul Wahab, Darus, & Mohd Daud, 2022).

Cupcakes: Los cupcakes formulados con mezclas de harinas (S1, S2, S3) presentaron un mayor contenido de proteínas, fibra cruda, y cenizas en comparación con la muestra control. Las harinas compuestas (S1-S3) demostraron una mayor capacidad de hinchamiento que la harina de trigo convencional. Entre las formulaciones evaluadas, los cupcakes S3 –elaborados con un 15% de harina de champiñones y un 15% de harina de FOSF- destacaron por su elevado contenido de compuestos fenólicos totales y vitamina A, junto con una calidad sensorial significativamente superior frente a S1, S2 y el control. Se evidencia el potencial de las harinas de hongos y camote arbustivo (CAF) para enriquecer nutricionalmente productos de repostería, mejorando su perfil de antioxidantes sin comprometer la aceptabilidad. Los resultados proporcionan bases técnicas para el desarrollo de cupcakes funcionales con propiedades nutricionales mejoradas (Babarinde & Adeola, 2022).

Formulaciones funcionales innovadoras

Los estudios también identificaron aplicaciones novedosas del hongo ostra en productos funcionales más allá de los snacks tradicionales.

Barras energéticas: Se evaluaron doce formulaciones de barras energéticas con variaciones en polvo de hongos (0%-30%), edulcorantes (30%-50%) y cereales (20%-45%). Los análisis revelaron que mayores proporciones de polvo de hongo incrementaron significativamente el contenido de vitamina D, proteína, fibra cruda, cenizas y actividad antioxidante.

La formulación con 20% de polvo de hongo, 40% de edulcorante y 25% de cereales mostró la mejor aceptabilidad sensorial y un perfil nutricional óptimo: 423.99UI/100g de vitamina D, 15.18g/100g de proteína y 78.52% de actividad antioxidante. Una porción de 50g de esta barra proporciona el 53% de ingesta diaria recomendada (DR) de vitamina D y el 12.7% de IDR de proteínas para adultos (Srivastava et al., 2023).

Cereales de desayuno: Se evaluó las características fisicoquímicas, capacidad antioxidante y aceptación sensorial de 559 formulaciones de cereales para desayuno elaborados con harinas no convencionales de aga (*Digitaria exilis*), fandul (*Cajanus cajan*) y hongo ostra (*Pleurotus ostrearus*). Los análisis revelaron que las formulaciones que incorporaron estos ingredientes mostraron un perfil nutricional significativamente superior al control (100A:0P:0M), particularmente en la formulación 65A:20P:15M, que presentó los mayores contenidos de proteína (26.37%), fibra dietética (10.23%) y minerales (4.61% cenizas), junto con una reducción notable en carbohidratos (53.00%) y valor calórico (320.99 kcal/100g) comparado con el control (7.45% proteína, 4.50% fibra, 80.14% carbohidratos y 359.36 kcal/100g).

La incorporación de hongo ostra demostró un efecto positivo en la composición de compuestos bioactivos, incremento significativamente ($p < 0.05$) el contenido de flavonoides, fenoles totales, ácido ascórbico y β -caroteno. Asimismo, se observaron mejoras en las propiedades funcionales, con valores de densidad aparente (0.80-1.27 g/ml), capacidad de hinchamiento (1.20-2.72 ml), y capacidades de absorción de agua (1.03-1.10 ml/g) y aceite (0.57-0.70 ml/g) superiores a las del control. Las pruebas sensoriales confirmaron una mayor aceptación de las formulaciones enriquecidas frente al cereal convencional (Nwankwegu, Ibeogu, & Mbaeyi-Nwaoha, 2024).

Mortadela vegetal: Se demostró que la adición de tallos fúngicos incrementó significativamente el contenido proteico y disminuyó los niveles residuales de nitritos en los productos cárnicos, indicando mejoras tanto en aspectos nutricionales como de inocuidad alimentaria. Particularmente, la harina obtenida de tallos de *P. ostreatus* mostró capacidad para compensar los efectos tecnológicos adversos asociados a la concentración de sodio en matrices cárnicas. Las evaluaciones sensoriales confirmaron que las muestras reformuladas mantuvieron una percepción de salinidad equivalente entre los panelistas, respaldando el uso de estos subproductos fúngicos como sustitutos efectivos de sodio. Estos hallazgos sugieren que la sustitución combinada de sodio y almidón por harinas de tallos de hongos podría optimizar simultáneamente las propiedades tecno funcionales y el valor nutricional de productos como la mortadela, ofreciendo a la industria cárnea una alternativa más saludable y sostenible (Bermúdez-Gómez et al., 2025).

Snacks tipo papel comestible: Los alimentos con textura de papel han ganado popularidad por su conveniencia, aceptación sensorial y estabilidad durante el almacenamiento. Este estudio desarrolló un innovador proceso que integra técnicas de fabricación de papel con tecnología alimentaria para producir láminas comestibles a partir de *Pleurotus eryngii*, conservando las propiedades nutricionales y organolépticas tanto del micelio como de los cuerpos fructíferos. El análisis exhaustivo de las características fisicoquímicas, microestructurales y sensoriales reveló que estos productos presentaban altos contenidos de polisacáridos y proteínas (22.39% en promedio para ambos componentes).

Se observaron diferencias significativas en las propiedades organolépticas según la materia prima utilizada: las láminas elaboradas con cuerpos fructíferos (PSP) mostraron mejor

textura (superficie más uniforme, mayor crocancia), resistencia a la humedad y estabilidad térmica en comparación con las de micelio (PMP). En las evaluaciones sensoriales, ambos productos alcanzaron puntuaciones elevadas (PMP: 7.43/9; PSP: 7.52/9), demostrando su alta aceptabilidad entre los consumidores.

No solo propone un método innovador para el procesamiento de hongos comestibles, sino que también establece bases teóricas para el desarrollo de plantas productivas especializadas. No obstante, los autores señalan la necesidad de futuras investigaciones para evaluar el efecto de aditivos como gomas alimentarias y coadyuvantes de filtración en las características del producto final (Lv et al., 2022).

Gomas funcionales impresas 3D: A pesar del valor nutricional de *Pleurotus eryngii*, su alto contenido de fibra dietética ha limitado su aplicación en impresión 3D de alimentos. Para superar este desafío, se evaluó el efecto de seis gomas alimentarias (gellan, pectina, guar, algarrobo, alginato de sodio y metilcelulosa) como aditivos para mejorar las propiedades de impresión. Se empleó mezclas de polvo liofilizado de *P. eryngii* con estas gomas como tintas, analizando sus características reológicas, texturales, microestructurales y de impresión.

Los resultados demostraron que la goma de algarrobo superó a las demás, produciendo impresiones con mayor precisión y calidad visual. Esta goma incrementó significativamente la dureza (42.7%), viscosidad (33.1%) y módulo de almacenamiento (105.2%) de la tinta base. Los análisis de microscopía electrónica revelaron que la goma de algarrobo generó una microestructura más densa y homogénea. Esta investigación proporciona fundamentos teóricos clave para el desarrollo de sistemas de

impresión 3D basados en hongos comestibles (He et al., 2023).

La composición nutricional de *Pleurotus ostreatus* reveló un perfil equilibrado de macronutrientes, destacando un 43.42% de carbohidratos, 23.63% de fibra cruda, 17.06% de proteína cruda y 8.22% de contenido mineral (cenizas), con bajo contenido lipídico (1.21%). Los valores de humedad variaron significativamente entre muestras frescas (91.01%) y deshidratadas (6.46%). La caracterización de azúcares identificó glucosa (55.08 g/100 g) como principal monosacárido, seguida de fructosa (19.70 g/100 g) y galactosa (17.47 g/100 g), junto con disacáridos relevantes como sacarosa (51.60 g/100 g) y maltosa (29.21 g/100 g). En el perfil mineral sobresalieron potasio (12.25 mg), hierro (9.66 mg) y magnesio (7.00 mg). La evaluación vitamínica mostró presencia significativa de vitamina E (21.50 mg/100 g) y C (16.46 mg/100 g), con predominio de riboflavina (92.97 mg/kg) entre las vitaminas B. El análisis de aminoácidos indicó mayor concentración de no esenciales (564.17 mg/100 g) frente a esenciales (67.83 mg/100 g), siendo el ácido aspártico (492.12 mg/100 g) y la lisina (23.18 mg/100 g) los más abundantes en cada categoría, respectivamente. Esta distribución mostró predominio de aminoácidos ácidos (77.87%) sobre neutros (16.88%) y básicos (3.67%) (Effiong et al., 2024).

DISCUSIÓN

“Las especies de *Pleurotus*, *P. columbinus*, *P. sajor-caju*, *P. ostreatus* y *P. sapidus* son hongos extremadamente potentes y nutritivos. Debido a que contienen un alto porcentaje de macromoléculas, pueden consumirse como un alimento económico y nutritivo” (Irshad et al., 2023).

Los estudios demuestran que los hongos pueden mejorar la nutrición y el bienestar, convirtiéndolos en una opción versátil para snacks más saludables. Investigaciones continuas sugieren que los snacks listos para

comer (RTE) que incorporan hongos pueden adaptarse a las preferencias dietéticas cambiantes y promover una mejor salud. Estos avances posicionan a la industria para ofrecer diversas ofertas que satisfagan las necesidades dinámicas de los consumidores modernos (Vattapparambil et al., 2024).

Sin embargo, es importante señalar que, si bien la mayoría de los estudios reportan resultados positivos en cuanto a aceptabilidad sensorial y valor nutricional, existen variaciones importantes dependiendo del tipo de hongo, tratamiento tecnológico y matriz utilizada. Por tanto, se requiere mayor estandarización en los métodos de procesamiento y evaluación, así como estudios de vida útil, biodisponibilidad de nutrientes y aceptación del consumidor a nivel de mercado.

CONCLUSIONES

Esta revisión confirma que el hongo ostra (*Pleurotus spp.*) posee características únicas para revolucionar el mercado de snacks, ofreciendo alternativas nutricionalmente superiores a los productos tradicionales. Su perfil nutricional rico en proteínas (17.06%), fibra dietética (23.63) y compuestos bioactivos lo convierte en una materia prima ideal para el desarrollo de snacks funcionales. Las diversas técnicas evaluadas – desde horneado y fritura hasta innovaciones como fritura al vacío, osmodeshidratación, impresión 3D hasta snacks tipo papel- permiten obtener productos con texturas atractivas y mejor perfil nutricional, destacándose por su menor contenido calórico (hasta 35% menos que snacks convencionales) y mayor densidad de nutrientes.

Los estudios analizados revelan que los snacks a base de *Pleurotus* no solo cumplen con los requisitos nutricionales, sino que también alcanzan una alta aceptabilidad sensorial, con puntuaciones superiores a 7/9 en pruebas hedónicas. Particularmente, formatos como chips, galletas y barras energéticas muestran el mayor potencial comercial. Sin embargo, la

verdadera revolución tecnológica en este campo viene de los snacks tipo papel comestible, que combina las ventajas nutricionales del hongo con una presentación innovadora y propiedades únicas de textura. Estos productos, desarrollados mediante técnicas adaptadas de la industria papelera, presentan un contenido proteico del 22,39% excelente estabilidad y una experiencia de consumo novedosa, posicionándose como la próxima generación de snacks funcionales.

El desarrollo de estos alimentos innovadores requiere optimizar los procesos de escalado industrial, pero presentan una oportunidad sin precedentes para combinar salud, sostenibilidad y experiencia sensorial. Los snacks tipo papel a base de *Pleurotus* podrían redefinir el concepto mismo de snack saludable, ofreciendo formatos completamente nuevos que aprovechan al máximo las propiedades únicas de este hongo.

El valor nutricional, la actividad antioxidante y la presencia de diversos compuestos beneficiosos para la salud en los *Pleurotus* convierten a estos hongos en alimentos realmente funcionales. Todas estas propiedades, junto con su sabor y textura, han atraído recientemente la atención de la industria alimentaria hacia el uso de los hongos ostra como un valioso ingrediente o sustituto en diversas formulaciones alimentarias, además de satisfacer la creciente demanda de alimentos más saludables y sostenibles por parte de los consumidores (Ritota & Manzi, 2023).

AGRADECIMIENTO

A Universidad de Investigación de Tecnología Experimental YACHAY y Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente CEBA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abdul Wahab, N. B., Darus, N. A., & Mohd Daud, S. A. (2022). Incorporación de polvo de champiñones al pan. Actas del Congreso Nacional de Investigación Tecnológica en Ingeniería, Diseño y Ciencias Sociales (nTrends'22). <https://www.researchgate.net/publication/382251182> INCORPORATION OF MUSHROOM POWDER IN BREAD
2. Amerikanou, C., Tagkouli, D., Tsiafa, T., Lantzouraki, D. Z., Karavoltsos, S., Sakellari, A., Kleftaki, S.-A., Koutrotsios, G., Giannou, V., Zervakis, G. I., Zoumpoulakis, P., Kalogeropoulos, N. & Kaliora, A. C. (2023). Chips de *Pleurotus eryngii*: caracterización química y valor nutricional de un refrigerio saludable e innovador. Alimentos, 12(2), 353. <https://doi.org/10.3390/foods12020353>
3. Babarinde, G. O., & Adeola, L. T. (2022). Functional and nutritional characterization of cupcakes produced from blends of mushroom, orange-fleshed sweet potato and wheat flour. Polish Journal of Natural Sciences, 37(3), 391–405.
4. <https://czasopisma.uwm.edu.pl/index.php/pjns/article/view/8475/6803>
5. Balan, V., Novak, D., Knudson, W. et al. Crisp proteico nutritivo de champiñones: una alternativa saludable a los snacks con almidón. *Food Prod Process and Nutr* 3, 33 (2021). <https://doi.org/10.1186/s43014-021-00077-7>
6. Baltacıoğlu, C., Baltacıoğlu, H., Seyhan, R., Uğur, Ö., & Avcu, O. (2020). Investigación del efecto del polvo de hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*) en la producción de galletas y su efecto en los criterios de calidad mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(12), e15174. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15174>
7. Barua, BS, Nigaki, A. y Kataoka, R. (2024). Un nuevo método de reciclaje mediante el cultivo de hongos con residuos alimentarios: Optimización del sustrato de cultivo de hongos con residuos alimentarios y uso agrícola de sustratos de hongos usados. *Reciclaje* , 9 (4), 58. <https://doi.org/10.3390/recycling9040058>
8. Bermúdez-Gómez, P., Muñoz-Tébar, N., Martínez-Navarrete, G., Lucas-González, R., Pérez-Clavijo, M., Fernández, E., Fernández-López, J., & Viuda-Martos, M. (2025). Efecto de la reducción de sodio y almidón sobre las propiedades nutricionales, fisicoquímicas y sensoriales de la mortadela adicionada con subproductos de *Agaricus bisporus* y *Pleurotus ostreatus*. *Meat Science*, 204, 109888. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2025.109888>
9. Contreras-Moreno, N., Del Olmo-Ruiz, M., García-Sandoval, R., & Vidal-Gaona, G. (2022). *Pleurotus spp.*, producción, cultivo y propiedades. En *Potencialidades de la ovicultura y los hongos comestibles (*Pleurotus spp.*) en la seguridad alimentaria y el desarrollo rural*. Laberinto Ediciones. <https://www.researchgate.net/publication/361472726> Pleurotus spp producción cultivo y propiedades
10. Effiong, M. E., Umeokwochi, C. P., Afolabi, I. S., & Chinedu, S. N. (2024). Evaluación de la calidad nutricional de *Pleurotus ostreatus* (hongo ostra). *Frontiers in Nutrition*, 10, Artículo 1279208. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1279208>

11. Ghafoor, A. & Niazi, A. R. (2024). *Pleurotus spp*: una solución definitiva a las calamidades emergentes del mundo. <https://doi.org/10.1080/0028825X.2024.2387185>
12. He, A., Xu, J., Hu, Q., Zhao, L., Ma, G., & Zhong, L. (2023). Efectos de las encías en el rendimiento de la impresión 3D del polvo de *Pleurotus eryngii*. *Journal of Food Engineering*, 355, 111514. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111514>
13. Irshad, A., Tahir, A., Sharif, S., Khalid, A., Ali, S., Naz, A., Sadia, H., & Ameen, A. (2023). Determinación de la composición nutricional y bioquímica de especies seleccionadas de *Pleurotus spp*. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 2023, Article ID 8150909. <https://doi.org/10.1155/2023/8150909>
14. Nabillah, A., Yuliati, S., & Zamhari, M. (2022). Prototype of vacuum frying oyster mushroom chips. *Jurnal Neutrino: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 15(1), 38–44. <https://doi.org/10.18860/neu.v15i1.13479>
15. Nwankwegu, Rita Ogodo e Ibeogu, Isaiah Henry e Mbaeyi-nwaoha, Ifeoma. Evaluación fisicoquímica, antioxidante y sensorial de cereales para el desayuno elaborados con mezclas de harinas de acha (*Digitaria exilis*), gandul (*Cajanus cajan*) y hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*). <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5087146>
16. Lv, S., Zhu, X., Liu, Z., Hu, L., Xu, D., Chitrakar, B., Mo, H., & Li, H. (2022). Alimento comestible parecido al papel de *Pleurotus eryngii* preparado mediante el proceso de fabricación de papel. *Foods*, 11(21), 3514. <https://doi.org/10.3390/foods11213514>
17. Petallo, D. (2024). Desarrollo y evaluación de chips de hongo ostra mediante el método de fritura profunda. *Revista Internacional de Toda la Educación en Investigación y Métodos Científicos*, 12(12), 2455–6211. <https://www.researchgate.net/publication/387961383 Development and Evaluation of Oyster Mushroom Chips Using Deep Frying Method>
18. Ritota, M., & Manzi, P. (2023). Hongos comestibles: ¿Alimentos o ingredientes funcionales? Un enfoque en *Pleurotus spp*. *AIMS Agriculture and Food*, 8(2), 391–439. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2023022>
19. Singh, A., Saini, R. K., Kumar, A., Chawla, P. & Kaushik, R. (2025). Hongos como potencias nutricionales: un análisis de sus compuestos bioactivos, beneficios para la salud y productos de valor añadido. *Alimentos*, 14(5), 741. <https://doi.org/10.3390/foods14050741>
20. Srivastava, A., Attri, B. L., Arora, B., Kamal, S., & Sharma, V. P. (2023). Desarrollo de una barrita energética rica en vitamina D y proteínas con champiñones. *Revista Asiática de Investigación en Lácteos y Alimentos*, 42(1), 103–109. <https://doi.org/10.18805/ajdfr.DR-1817>
21. Stavropoulou, NA, Lazou, AE, y Giannakourou, MC (2025). Cinética de la degradación de la calidad y la eliminación de agua durante el secado al aire de hongos ostra osmodeshidratados impregnados con subproductos de la destilación de *Rosa damascena*. *Foods*, 14 (9), 1543. <https://doi.org/10.3390/foods14091543>

22. Vattapparambil, A., Ajithkumar, A. P., Dubey, P. K., & Kumar, S. (2024). Explorando el potencial de los hongos en formulaciones de snacks listos para comer. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, 59(12), 9562–9570. <https://doi.org/10.1111/ijfs.17302>

Citar artículo: Briceño-Fiallos, S. A., Cabezas-Orquera, D. A., Pineda-Insuasti, J., Pineda-Soto, A., & Coello-Várgaz, M. (2025). Elaboración de snacks a partir de hongos ostra (*Pleurotus spp.*): una revisión. *Biorrefinería* 8 (1). Obtenido de <https://cebaecuador.org/publicaciones/revista-biorrefineria/>

Información de revisión por pares: Revista Biorrefinería agradece a los revisores anónimos por su contribución a la revisión por pares de este trabajo utilizando <https://reviewerlocator.webofscience.com/>.

Acceso abierto: Todos los artículos publicados por Revista Biorrefinería son accesibles en línea de forma gratuita y permanente inmediatamente después de su publicación, sin cargos de suscripción ni barreras de registro.

Nota del Editor: Revista Biorrefinería se mantiene neutral con respecto a reclamos jurisdiccionales en mapas publicados y afiliaciones institucionales.

Copyright: © 2024 por los autores. Presentado para posible publicación en acceso abierto bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



PRODUCCIÓN DE YOGUR FUNCIONAL CON CHAMPIÑÓN OSTRA (*Pleurotus spp.*): UNA REVISIÓN

PRODUCTION OF FUNCTIONAL YOGURT WITH OYSTER MUSHROOMS (*Pleurotus spp.*): A REVIEW

Dilan Reinoso-Saltos¹, Miguel Ángel Toro-Jarrín¹, Julio Pineda-Insuasti², Alejandro Pineda-Soto^{1,2}, Melany Coello-Vargas³

¹Universidad de Investigación de Tecnología Experimental -YACHAY. Urcuquí, Ecuador

²Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente-CEBA. Ibarra, Ecuador

³Universidad Técnica del Norte-UTN. Ibarra, Ecuador

Autor para correspondencia: dilan.reinoso@yachaytech.edu.ec

Recibido: 13/08/2025

Aceptado: 13/09/2025

RESUMEN

La reciente tendencia de los consumidores a buscar alimentos que aporten un valor nutricional adicional y beneficios para la salud ha impulsado a la industria a desarrollar productos funcionales. A pesar de revisiones previas que abordan el uso de hongos comestibles o medicinales en la fortificación de productos lácteos, la presente revisión de la literatura se diferencia al evaluar la viabilidad tecnológica de desarrollar una matriz láctea con Champiñón Ostra. Con base en este contexto, en nuestra revisión de la literatura se analiza la bibliografía sobre la factibilidad de desarrollar un yogurt funcional basado en Champiñón Ostra, su perfil nutricional y bioactivo, los procedimientos de pretratamiento, como la deshidratación, y cómo estos impactan sus características. Se analiza cómo la adición de *P. ostreatus* pulverizado y de extractos (β -glucanos, polisacáridos) afectaría la fermentación, las propiedades fisicoquímicas (pH, sinéresis, viscosidad, textura, color), el potencial antioxidante y las características sensoriales del yogurt. La revisión concluye que la incorporación de *P. ostreatus* no afecta al agente fermentativo del yogur (bacterias ácido-lácticas). Por otro lado, se ha identificado que las propiedades

fisicoquímicas y sensoriales, como el pH, la separación de fases, el color y el sabor del yogur, sí se ven afectadas por la adición de *P. ostreatus*, lo cual es importante para la aceptación final del consumidor.

Palabras clave: yogurt funcional, *P. ostreatus*, champiñón ostra, prebiótico, β -glucanos, tecnología de alimentos, revisión bibliográfica.

ABSTRACT

Recent consumer trends toward foods that provide additional nutritional value and health benefits have led the industry to develop functional products. Despite previous reviews addressing the use of edible or medicinal mushrooms in the fortification of dairy products, the present literature review distinguishes itself by evaluating the technological feasibility of developing a dairy matrix with Oyster Mushroom. In this context, our literature review analyzes the feasibility of developing a functional yogurt from oyster mushrooms, their nutritional and bioactive profiles, and pretreatment procedures, such as dehydration, and how these procedures affect their characteristics. We analyze how the addition of powdered *Pleurotus ostreatus* and extracts (β -glucans, polysaccharides) affects the fermentation, physicochemical properties (pH, syneresis, viscosity, texture, color),

antioxidant potential, and sensory characteristics of yogurt. The review concludes that incorporating *Pleurotus ostreatus* does not affect the yogurt's fermentation agent (lactic acid bacteria). On the other hand, it has been identified that the physicochemical and sensory properties of yogurt, such as pH,

phase separation, color, and flavor, are indeed affected by the addition of *P. ostreatus*, which is essential for final consumer acceptance.

Keywords: Functional yogurt, *P. ostreatus*, oyster mushroom, prebiotic, β -glucans, food technology, literature review

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, los alimentos capaces de promover la salud y aportar valor nutricional a los productos de consumo humano se han definido como alimentos funcionales (Butnariu & Sarac, 2019), que han generado un creciente interés y demanda por parte de los consumidores (Baker et al., 2022). En consecuencia, la búsqueda de alimentos funcionales ha crecido; como respuesta, la industria alimenticia y la comunidad científica han impulsado el enriquecimiento de alimentos de primera necesidad con ingredientes poco comunes, relevantes para mejorar la salud y el bienestar, y para reducir el riesgo de enfermedades (Martirosyan et al., 2021; Temple, 2022).

El mercado de alimentos funcionales, particularmente los productos de consumo masivo, entre ellos el mercado lácteo, se expande con rapidez. El yogurt, al ser un alimento con una buena reputación por sus grandes beneficios (probióticos, prebióticos y vitaminas), es un excelente candidato que tanto la industria como la comunidad científica han aprovechado para mejorar el perfil funcional de los alimentos de alto consumo (Chandan, 2017; Butnariu & Sarac, 2019).

El champiñón ostra (*P. ostreatus*) es destacable por su alto contenido nutricional, su contenido de macronutrientes y sus agentes bioactivos y funcionales, entre los cuales destacan los β -glucanos (Zhang et al., 2023), lo que hace del *P. ostreatus* una excelente opción con la cual innovar en la búsqueda de alimentos funcionales. Sin embargo, incorporar nuevos componentes a

una matriz láctea, como el yogurt, presenta ciertos desafíos tecnológicos, entre ellos el pretratamiento, ya sea escaldado o de deshidratación, que es crucial para asegurar la preservación de los agentes bioactivos del champiñón (Özcan & Aydoğdu, 2022; Piska et al., 2022). En adición, el uso de extractos de champiñón podría afectar las propiedades fisicoquímicas, fermentativas y sensoriales, lo que influiría significativamente en el nivel de aceptación del consumidor (Vital et al., 2015; Baker et al., 2022).

METODOLOGÍA

La revisión de la literatura es sistemática y se centra en trabajos publicados en Scopus, SciELO y Google Patents hasta octubre de 2025. Las palabras clave usadas fueron: "Pleurotus ostreatus properties", "yogurt production", "yogurt AND pleurotus spp." y "functional food AND dairy products". El objetivo principal de esta revisión de la literatura es identificar oportunidades y desafíos tecnológicos para producir un yogur funcional mediante la adición de *P. ostreatus*.

Esta revisión se adhiere a las recomendaciones de la Declaración PRISMA.

Definición de criterios

Problema: desarrollo de yogur funcional.

Intervención: uso de *P. ostreatus* como ingrediente activo.

Comparador: yogurt natural tradicional (control).

Resultados de Interés: Efectos en la fermentación y en las propiedades sensoriales, nutricionales y bioactivas.

Tipos de estudio: artículos de investigación, bibliografía gris y patentes.

Selección de Estudios

En la búsqueda inicial se obtuvieron 8734 registros. Tras eliminar duplicados (n=1953) y aplicar los criterios de exclusión durante el cribado de títulos y resúmenes, se evaluaron 42 artículos a texto completo. De estos, se incluyeron 19 estudios (18 artículos científicos, 1 libro y 1 patente) en la síntesis narrativa final; la metodología utilizada en la revisión de la literatura se detalla en la Figura 1.

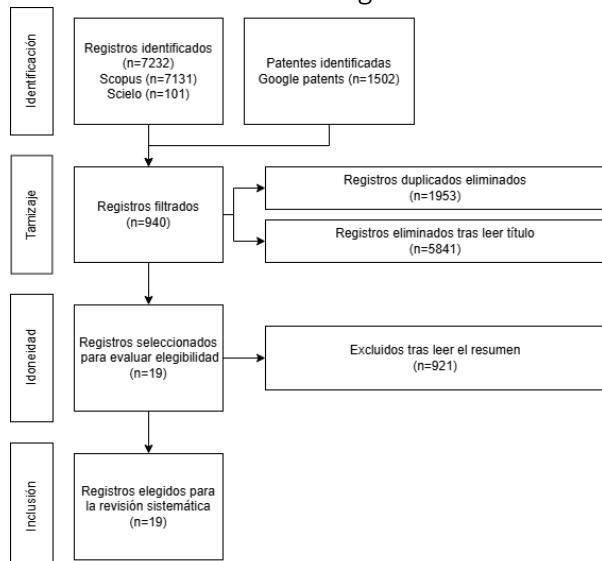


Figura 1. Diagrama sistemático de revisión

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después del análisis de la revisión realizada, categorizó y sintetizó 4 temas principales que determinan la viabilidad tecnológica de la matriz alimenticia. Las secciones se dividen en: (i) el perfil nutricional y los compuestos bioactivos intrínsecos de *Pleurotus ostreatus*; (ii) los protocolos de pretratamiento necesarios para adecuar el hongo como ingrediente; (iii) la interacción del ingrediente con la fermentación láctica; y (iv) el impacto tecnológico en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de la matriz láctea.

Perfil Nutricional y Compuestos Bioactivos de *Pleurotus ostreatus*

El champiñón ostra, en su rol como ingrediente funcional, se fundamenta en su perfil nutricional, según el estudio de Zhang. (2023)

donde se confirmó que *P. ostreatus* es una fuente de proteína de alta calidad, con un perfil balanceado de aminoácidos esenciales. La literatura reporta la presencia de β -glucanos, los principales responsables de muchos de sus efectos biológicos (Synytsya, 2019). Adicionalmente, el *P. ostreatus* contiene compuestos fenólicos con alta capacidad antioxidante (Vital et al., 2015; Zhang et al., 2023). Todas estas características hacen del *P. ostreatus* un insumo con el que trabajar en alimentos funcionales.

Pretratamiento del hongo para su aplicación como ingrediente

Para que el champiñón pueda usarse como aditivo o ingrediente en la industria alimentaria, debe constatar su seguridad y estabilidad, por lo que un pretratamiento térmico inicial resulta clave. En la investigación realizada por Özcan y Aydoğdu (2022) se determinó que el escaldado resulta útil para la inactivación enzimática, la reducción de la carga microbiana, el ablandamiento de la estructura del tejido y la facilitación de la eliminación de agua.

Si se quiere obtener un polvo estable del hongo, se pueden aplicar diversas técnicas. Una alternativa eficaz es someter al champiñón a un secado controlado en horno a 55-60 °C para la producción de polvo de champiñón, preservando las propiedades de interés (Piska et al., 2022).

Viabilidad de la fermentación de yogur con champiñón Ostra

Estudios como el de Astuti. (2017) y Synytsya. (2019) demostraron que la fermentación ácido-láctica del yogur no se vio afectada por la adición de *P. ostreatus*; por el contrario, en el primer estudio se observó que el polvo de champiñón favoreció el descenso de pH, debido a un posible efecto prebiótico del champiñón, que sirvió como sustrato para los cultivos de *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus bulgaricus*. De forma similar, en el segundo estudio se usaron β -glucanos de *P. ostreatus* como fortificante y tampoco se

observó reacción adversa durante el proceso de fermentación.

Impacto en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del yogur

La incorporación de un agente bioactivo, como el *P. ostreatus*, en una matriz alimenticia, como el yogur, provoca cambios estructurales y sensoriales en el producto final (Baker et al., 2022).

La producción del yogur se basa en un cambio fisicoquímico de la leche por influencia de las bacterias ácido-lácticas en la estructura de la agregación inducida por el ácido de las micelas de caseína, dado que el pH desciende al punto isoeléctrico de la caseína de 6.6-4.6, provocando que las micelas pierdan carga neta, se agreguen y se forme una red de proteína tridimensional, este proceso es responsable de la textura, viscosidad y capacidad de retención de agua del yogur. (Gaucheron, 2005; Chandan, 2017).

En los estudios de Vital et al. (2015) y Sakul et al. (2021) se reportaron resultados positivos, al observar una sinéresis menor en yogures con extracto de *P. ostreatus* que en el control experimental. Por otro lado, Vital et al. (2015) realizaron un análisis de perfil de textura, en el que concluyeron que el yogur que contenía *P. ostreatus* tenía una menor firmeza y una mayor adhesividad, elasticidad y cohesividad, lo cual se debía a una red de caseínas con mayor capacidad de retención de agua.

En la patente de Li. (2023) Se encontró que la adición de polisacáridos crudos de *P. ostreatus* tuvo un impacto positivo en las propiedades antioxidantes del yogur. A pesar de esto, el yogur presentó un aumento de la sinéresis (separación de suero), posiblemente provocado por un descenso rápido del pH que no permitió que la red de caseínas se estableciera.

Los análisis reológicos de Synytsya. (2019) demostraron que los β-glucanos incrementaba la viscosidad y en cuanto al perfil sensorial los

panelistas describieron un ligero sabor a "seta" o "caldo", resultados similares a los de Liu (2013) en su patente donde se describe el aroma del producto final con un "ligero perfume a champiñón", siendo este un punto en el que se puede trabajar en cuanto a optimización.

Los análisis reológicos de Synytsya. (2019) demostraron que los β-glucanos incrementaba la viscosidad y en cuanto al perfil sensorial los panelistas describieron un ligero sabor a "seta" o "caldo", resultados similares a los de Liu (2013) en su patente donde se describe el aroma del producto final con un "ligero perfume a champiñón", siendo este un punto en el que se puede trabajar en cuanto a optimización.

Proceso de producción

Con base en la revisión bibliográfica y sus resultados, se diseñó un fluograma para el acondicionamiento del champiñón ostra.

El proceso inicia con la recepción de *P. ostreatus*, seguido de una selección, limpieza y corte de 3-5 mm de grosor (tamaño que facilitará el proceso de deshidratación). A continuación, se escala a 90-95 °C durante 2 minutos y, en consecuencia, se realiza un choque térmico a 4 °C. En esta etapa se busca la inactivación de las enzimas y la reducción de la carga microbiana (Özcan & Aydoğdu, 2022). Luego del choque térmico, el hongo se somete a un proceso de escurrido y, posteriormente, a deshidratación a 55-60 °C hasta alcanzar una humedad inferior al 11%. Permitiendo la conservación de los compuestos bioactivos del hongo (Piska et al., 2022). Finalmente, el producto seco se somete a pulverización y tamizado para estandarizar el tamaño de partícula y almacenarlo herméticamente para protegerlo de la humedad y la oxidación.

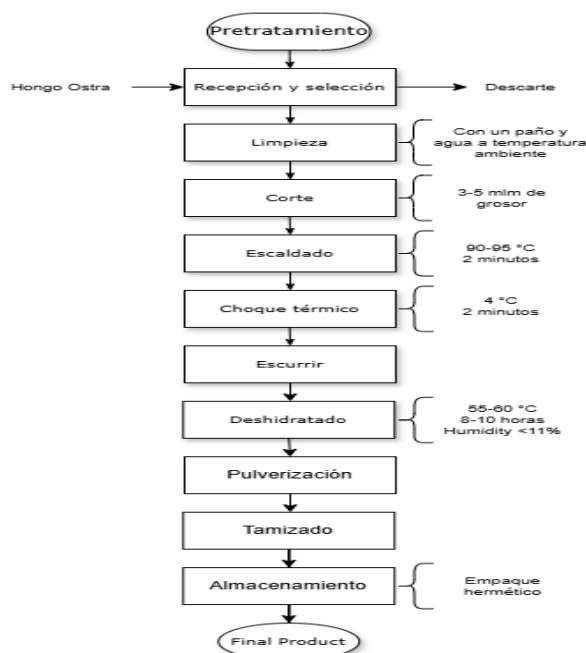


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de pretratamiento del champiñón ostra para la obtención de polvo funcional, basado en los métodos de Özcan & Aydoğdu y Piska

CONCLUSIONES

La evidencia consolidada establece que la producción de un yogur funcional a partir del champiñón ostra (*P. ostreatus*) es una propuesta sólida y factible, en términos científicos y tecnológicos. La investigación demuestra que el uso de un aditivo en polvo a base de este tipo de hongo es compatible con el ecosistema microbiano del yogur, puede

potenciarlo y ejerce un efecto prebiótico que favorece la fermentación.

El verdadero valor de la búsqueda de un producto enriquecido con este tipo de hongos radica en su capacidad para transformar un alimento de consumo masivo, como el yogur, en un producto funcional. La adición de ostra aporta al producto final proteínas de alta calidad, fibra dietética y compuestos bioactivos, como los β -glucanos y antioxidantes, y constituye una respuesta a la tendencia de los consumidores hacia alimentos que ofrezcan beneficios tangibles para la salud.

Por último, para materializar el potencial de este innovador producto, la investigación futura debe estar orientada al consumidor. Es imperativo realizar estudios sistemáticos para optimizar la formulación, enlazando análisis instrumentales de textura con paneles sensoriales que guíen la investigación a partir de los resultados. Se deben llevar a cabo evaluaciones de vida útil para garantizar la estabilidad del producto y, finalmente, realizar pruebas de aceptabilidad ante el público objetivo en Ecuador.

AGRADECIMIENTO

A Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente -CEBA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Astuti, R. M., Khasanah, U., y Marsono, Y. (2017). The effect of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) powder as a prebiotic agent on yoghurt quality. AIP Conference Proceedings, 2002(1), 030006. <https://doi.org/10.1063/1.4983433>
2. Baker, M. T., Lu, P., Parrella, J. A., y Leggette, H. R. (2022). Consumer Acceptance toward Functional Foods: A Scoping Review. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(3), 1217. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031217>
3. Butnariu, M., y Sarac, I. (2019). Functional Food. International Journal of Nutrition, 3(3), 7-16. <https://doi.org/10.14302/issn.2379-7835.ijn-19-2615>

4. Chandan, R. C. (2017). An Overview of Yogurt Production and Composition. En R. C. Chandan y A. Kilara (Eds.), *Manufacturing Yogurt and Fermented Milks* (2.ª ed., pp. 31-46). John Wiley & Sons.
5. Gaucheron, F. (2005). The minerals of milk. *Reproduction Nutrition Development*, 45(4), 473–483. <https://doi.org/10.1051/rnd:2005020>
6. Huang, L., Bai, L., Zhang, X., y Gong, S. (2019). Re-understanding the antecedents of functional foods purchase: Mediating effect of purchase attitude and moderating effect of food neophobia. *Food Quality and Preference*, 73, 266–275. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.11.008>
7. Li, W., Li, S., Wang, T., Cui, Y., Liu, T., y Wang, Q. (2023). Properties of yogurts enriched with crude polysaccharides extracted from *Pleurotus ostreatus* cultivated mushrooms. *Foods*, 12(21), 4033. <https://doi.org/10.3390/foods12214033>
8. Liu, X. (2013). Oyster mushroom yogurt and preparation method thereof (Patente N.º CN103027108A). Google Patents.
9. Marette, S., Roosen, J., Blanchemanche, S., y Feinblatt-Mélèze, E. (2010). Functional food, uncertainty, and consumers' choices: A lab experiment with enriched yoghurts for lowering cholesterol. *Food Policy*, 35(5), 419–428. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2010.04.001>
10. Martirosyan, D., Kanya, H., y Nadalet, C. (2021). Can functional foods reduce the risk of disease? Advancement of functional food definition and steps to create functional food products. *Functional Foods in Health and Disease*, 11(5), 213-221. <https://doi.org/10.31989/ffhd.v11i5.788>
11. Özcan, M. M., y Aydoğdu, A. (2022). Investigating the impact of blanching and salt treatment on the drying kinetics of oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*). *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(12), e17145. <https://doi.org/10.1111/jfpp.17145>
12. Piska, K., Sułkowska-Ziaja, K., y Muszyńska, B. (2022). The Effect of Drying and Freezing on the Content of Bioactive Compounds in Oyster Mushroom (*Pleurotus ostreatus* L.). *Biomolecules*, 12(10), 1361. <https://doi.org/10.3390/biom12101361>
13. Sakul, S. E., Rosyidi, D., Radiati, L. E., Purwadi, y Evanuarini, H. (2021). Effect of *Pleurotus ostreatus* aqueous extract on physicochemical properties, protein profile, and total lactic acid bacteria of yogurt fortified with *Lactobacillus acidophilus*. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 10(6), e2551. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2551>
14. Synytsya, A., Lelinovská, G., Šimáčková, M., Synytsya, A., Čopíková, J., y Mráz, J. (2019). Fortification of yogurt with β-glucans from oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *Annals of Microbiology*, 69(12), 1251–1262. <https://doi.org/10.1007/s13213-019-01511-9>
15. Temple, N. J. (2022). A rational definition for functional foods: A perspective. *Frontiers in Nutrition*, 9, 957516. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.957516>
16. Van Kleef, E., van Trijp, H. C. M., y Luning, P. (2005). Functional foods: health claim–food product compatibility and the impact of health claim framing on consumer evaluation. *Appetite*, 44(3), 299–308. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2005.01.009>

17. Verbeke, W. (2006). Functional foods: Consumer willingness to compromise on taste for health? *Food Quality and Preference*, 17(1–2), 126–131. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2005.04.007>
18. Vital, A. C. P., Goto, P. A., Hanai, L. N., Gomes-da-Costa, S. M., de Abreu Filho, B. A., Nakamura, C. V., y Matumoto-Pintro, P. T. (2015). Microbiological, functional, and rheological properties of low-fat yogurt supplemented with *Pleurotus ostreatus* aqueous extract. *LWT - Food Science and Technology*, 64(2), 1028–1035. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.07.003>
19. Zhang, R., Niu, G., Nik-Ghazali, N., y Sun, P. (2023). Assessing the nutritional quality of *Pleurotus ostreatus* (oyster mushroom). *Frontiers in Nutrition*, 10, 1279208. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1279208>

Citar artículo: Reinoso-Saltos, D., Toro-Jarrín, M. Á., Pineda-Insuasti, J., Pineda-Soto, A., & Coello-Vargas, M. (2025). Producción de yogur funcional con champiñón ostra (*Pleurotus spp.*): una revisión. Obtenido de <https://cebaecuador.org/publicaciones/revista-biorrefineria/>

Información de revisión por pares: Revista Biorrefinería agradece a los revisores anónimos por su contribución a la revisión por pares de este trabajo, realizada mediante <https://reviewerlocator.webofscience.com/>.

Acceso abierto: Todos los artículos publicados por Revista Biorrefinería son accesibles en línea de forma gratuita y permanente inmediatamente después de su publicación, sin cargos de suscripción ni barreras de registro.

Nota del editor: Revista Biorrefinería se mantiene neutral con respecto a reclamos jurisdiccionales sobre mapas publicados y afiliaciones institucionales.

Copyright: © 2024 por los autores. Presentado para posible publicación en acceso abierto bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



COLA DE PAVO (*Trametes versicolor*)

- **DIGESTIÓN Y MICROBIOMA**
- Salud microbioma intestinal.
- Salud digestiva y gastrointestinal.
- Salud inmunitaria

CONTACTO: DR. JULIO PINEDA INSUASTI, PHD.
info.biodiversity@gmail.com
Cel. +593 99 758 9267, Ibarra-Ecuador

SCIENTIFIC PARTNERS:
<https://cebaecuador.org/>



PRODUCCIÓN DE PROTEÍNA FÚNGICA A PARTIR DE BIOMASA DE BANANO (*Musa spp.*): UNA REVISIÓN

PRODUCTION OF FUNGAL PROTEIN FROM BIOMASS OF BANANA (*Musa spp.*): A REVIEW

Selena Evelyn Basantes-Flores¹, Pedro Miguel Barba-Estrella¹, Julio Pineda-Insuasti², Alejandro Pineda-Soto^{2,3}.

¹Universidad Técnica del Norte -UTN. Ibarra, Ecuador

²Centro Ecuatoriano de Biotecnología y Ambiente-CEBA. Ibarra, Ecuador

³Universidad de Investigación de Tecnología Experimental-YACHAY). Urcuquí, Ecuador.

Autor para correspondencia: sebasantesf@utn.edu.ec

Recibido: 13/09/2025

Aceptado: 13/10/2025

RESUMEN

El incremento de residuos agroindustriales derivados del banano representa una oportunidad para su aprovechamiento en bioprocесos sostenibles. Esta revisión analiza el potencial de la biomasa lignocelulósica del banano como sustrato en la producción de proteína fúngica mediante fermentación en estado sólido. Se recopilaron y evaluaron estudios recientes sobre composición química, pretratamientos y cepas fúngicas, destacando el género *Pleurotus* por su rápido crecimiento y elevado contenido proteico. Los resultados evidencian que los residuos del banano pueden ser valorizados en la obtención de ingredientes proteicos alternativos, contribuyendo a la economía circular y a la sostenibilidad alimentaria. Se recomienda profundizar en estudios experimentales que optimicen las condiciones de cultivo y extracción de proteína.

Palabras clave: biomasa lignocelulósica, *Pleurotus*, proteína fúngica, residuos agroindustriales, plátano.

ABSTRACT

The increase in agro-industrial banana residues represents an opportunity for their use in sustainable bioprocesses. This review analyzes the potential of banana lignocellulosic biomass as a substrate for fungal protein production through solid-state fermentation. Recent studies on chemical composition, pretreatment methods, and fungal strains were reviewed, highlighting the *Pleurotus* genus for its rapid growth and high protein content. The findings demonstrate that banana residues can be valorized for the production of alternative protein ingredients, contributing to circular economy strategies and food sustainability. Further experimental studies are recommended to optimize cultivation and protein extraction conditions.

Keywords: lignocellulosic biomass, *Pleurotus*, fungal protein, agro-industrial residues, plantain

INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), señala que el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con la inseguridad

alimentaria y la malnutrición continúa siendo un desafío a nivel mundial. Siendo aun millones de personas las que no tienen acceso a alimentos nutritivos, inocuos y suficientes (FAO et al., 2024).

Paralelamente, el sector agrícola e industrias alimentarias han dado lugar a la generación de una gran cantidad de residuos sólidos, lo que puede provocar importantes problemas ambientales si no se hace una gestión adecuada (Wang et al., 2023; Kumla et al., 2020). Una de las que genera una gran cantidad de residuos de biomasa es la industria platanera, dado que luego de aprovechar el fruto, las demás partes de la planta se consideran desechos que con frecuencia se queman o se acumulan en los centros de acopio, campos agrícolas o a lo largo de carreteras y vías férreas (Mohd et al., 2023; Caicedo et al., 2020; Kumar et al., 2022).

Por otro parte, a pesar de que la proteína es un nutriente esencial para mantener las actividades fisiológicas y la homeostasis metabólica en el cuerpo humano, la producción de proteína de carne supone una carga para el medio ambiente y el clima, ya que el ganado ocupa actualmente el 77% de las tierras agrícolas del mundo. Y aunque se han desarrollado proteínas derivadas de plantas, estas no cubren todos los requerimientos nutricionales al ser deficientes en uno o más aminoácidos esenciales y su disponibilidad puede estar limitada (Wang et al., 2023).

En este contexto, los hongos comestibles surgen como una fuente alternativa prometedora a la proteína carnica, debido a que existen cepas no patógenas y no tóxicas, con altas tasas de crecimiento, con bajos requerimientos nutricionales, sistemas de procesamiento simples y buen valor biológico. Estas características permiten el aprovechamiento de los residuos agroindustriales compuestos principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina, en conjunto definidos como materiales lignocelulósicos como sustrato adecuado en el proceso de fermentación en estado sólido para la producción de proteína fúngica (Kumla et al., 2020).

Además, estas proteínas fúngicas presentan una alta calidad nutricional, elevada eficiencia

de producción independiente de las condiciones climáticas y agricultura convencional. También, contribuye al mejoramiento del ciclo del nitrógeno en los ecosistemas, tiene una baja huella ecológica y de carbono (Wang et al., 2023; González et al., 2021).

En consecuencia, se plantea a los residuos agroindustriales del banano como una alternativa viable y sostenible para la formulación de sustratos destinados a la producción de proteína fúngica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Protocolo de revisión

Para esta revisión se utilizó “los formularios y diagramas de flujo ROSES (RepOrting standards for Systematic Evidence Syntheses), diseñados específicamente para revisiones sistemáticas y mapas en el campo de la conservación y la gestión ambiental” (ROSES, 2017).

Se utilizaron bases de datos como Scopus, Science Direct, Scielo, revistas indexadas y adicionalmente literatura gris. Además, se utilizaron filtros de búsqueda como año de publicación, pertenecer a los últimos 5 años; se usaron palabras claves como “biomasa lignocelulósica”, “proteína fúngica”, “biomasa banano”, “*Musa spp.*”, “residuos banano”.

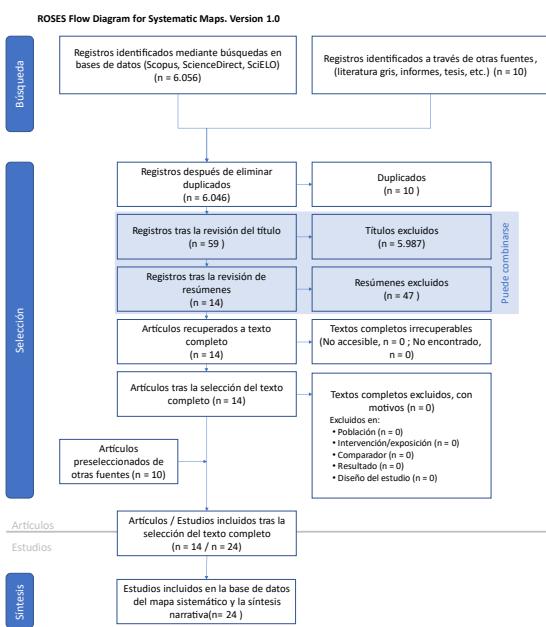


Figura 1. Diagrama de flujo de revisión sistemática ROSES

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Generalidades del banano

El banano (*Musa* spp, familia *Musaceae*) es una gran hierba perenne, monocotiledónea, originaria del sudeste asiático. Crece entre las latitudes 30° N y S del ecuador y a hasta 1500 m de altitud. Se cultiva en unos 135 países, llegando a producirse 162,92 millones de toneladas anuales (Kumar et al., 2022).

Tiene un sistema radicular carnoso y fasciculado, sin una raíz principal definida, y su pseudotallo cilíndrico está compuesto por pecíolos de hojas dispuestas en forma de espiral (Ramírez 2020). Cada unidad de producción de plátano produce una sola inflorescencia que contiene varios frutos alargados y curvados, recubiertos por una piel gruesa. Se reproduce por medio de rizomas o hijuelos que crecen en la base de la planta madre, los cuales se pueden separar y replantar para obtener nuevas plantas (Reina et al. 2023).

Las principales variedades comerciales como Gros Michel, Cavendish y Williams, clasificadas como *Musa* AAA son ampliamente cultivadas debido a su gran calidad (Guanuchi Castro,

2024). La taxonomía de *Musa acuminata* (AAA) se divide en: Dominio Eukaryota; Reino Plantae; Filo Magnoliophyta; Clase Liliopsida; Orden Zingiberales; Familia Musaceae; Género *Musa* (FCD, 2024).

Industria bananera en Ecuador

El Ecuador se posiciona como uno de los mayores productores y exportadores de banano del mundo, alcanzando en el año 2024 un nivel alto de exportaciones de 5.659.715 toneladas métricas y una entrada de dinero de \$3.308 millones de dólares, convirtiendo al banano en el segundo producto con más aporte a la economía del país (León et al., 2020; MPCEIP, 2025). La variedad Cavendish es la más cultivada a nivel nacional, se destaca por su gran resistencia al transporte y su gran atractivo en los mercados internacionales (Guanichi, 2024).

Durante 2023, la superficie total cosechada de banano en Ecuador alcanzó 175,18 mil hectáreas, concentrándose en las provincias de Los Ríos con 66,12 mil ha y Guayas con 54,38 mil ha, que juntas representaron el 69% de la superficie nacional. Otras provincias como El Oro, Cañar, Cotopaxi sumaron superficies menores (CFN, 2024).

Este elevado nivel de producción implica una generación masiva de residuos agrícolas, cuya gestión representa un desafío ambiental significativo.

Biomasa lignocelulósica de banano

La biomasa lignocelulósica del banano representa un recurso subutilizado con alto potencial para su valorización. Debido a que la planta da fruto una vez durante su ciclo de vida se aproxima que se genera un 70% de biomasa lignocelulósica residual, destacándose el pseudotallo (50-60 %), la flor masculina (5 %) y el rizoma (10-12 %) (Kumar et al., 2022; Mohd et al., 2023). De acuerdo con Mohd et al. (2023), esta biomasa presenta una composición rica en celulosa, hemicelulosa y lignina, componentes que la convierten en una fuente adecuada de carbono para el crecimiento de microorganismos ligninolíticos.

La Tabla 1 resume la composición química de las principales fracciones residuales del banano, evidenciando su aptitud para procesos de bioconversión.

Tabla 1. Composición química biomasa residual del banano.

Biomasa	Hojas	Pelar	Raquis	Pseudotallo
Fracciones lignocelulósicas, %				
Hemicelulosa	34.34	2.5	9.8	4.5
Celulosa	43.34	12.2	26.2	29.5
Lignina	15.0	18.4	8.6	7.4
Composición química, %				
Proteína bruta	17	5.5–7.87	5.29	10
Lípido	12.7	2.24–11.6	0.99	5
Ceniza	12.4	9–11	9.95	20.5
Carbohidrato	–	59.51–76.58	35.89	46.58
Fibra dietética	–	47–53	56	61.14

Fuente: Mohd et al., (2023)

En el contexto ecuatoriano, la producción de este tipo de residuos adquiere especial relevancia ya que empresas como Musatec Ecuador Cultivos Agrícolas Cía. Ltda. (Musatec) genera anualmente alrededor de 1.396 toneladas de residuos orgánicos, compuestos principalmente por raquis y frutos descartados (Caputi y Samaniego, 2023). Esta disponibilidad constante de biomasa residual posiciona al cultivo de banano como una fuente significativa de materia prima para el desarrollo de bioproductos y procesos sostenibles, incluyendo la producción de proteína fúngica.

Aplicaciones alimentarias

En los últimos años, se ha observado un creciente interés por el desarrollo de productos a partir de los desechos del banano, impulsado por el rápido crecimiento de la población y el enfoque de respeto hacia al medio ambiente. Zaini et al. (2022), es su trabajo presentan diversos productos a base

de cáscara de banano como salchichas y empanadas de pollo, que usan cáscara de *Musa balbisiana* y *M. paradisiaca* para incrementar el contenido de fibra dietética, la capacidad de retención de agua y las cenizas, retardar la oxidación lipídica y potenciar la actividad antioxidante durante el almacenamiento. En productos de panificación como pan balady, chapatti y galletas, se usó harina de cáscara de banano para elevar los niveles de proteínas, grasas, cenizas y compuestos fenólicos. En adición, la cascara ha sido utilizada en la elaboración de envoltorios comestibles y películas bioplásticas biodegradables en menos de 45 días.

Proteína fúngica

Los hongos conforman uno de los grupos más grandes de eucariotas, incluyen una amplia variedad de eucariotas que van desde levaduras unicelulares microscópicas hasta hongos multicelulares macroscópicos. Desempeñan un papel importante en la salud humana y animal, en los ciclos biogeoquímicos del carbono, nitrógeno y fósforo (Naranjo-Ortiz y Gabaldón, 2019). Debido al alto contenido, calidad y disponibilidad de proteínas contenidas en los hongos, se considera que tienen un gran potencial en la industria alimentaria ([Souza Filho, 2022](#)).

Los macro hongos son hongos ricos en proteínas, con alrededor del 19-40% del peso seco y una digestibilidad proteica real (DPT) del 72% al 83%, siendo incluso más alto que el de las verduras comunes, la carne de cerdo, res y otros productos ganaderos, y cercano al contenido proteico de la soja (González et al., 2020; Dabbour y Takruri, 2002). Además, muchas proteínas de hongos comestibles tienen gran potencial para producción a escala industrial, debido a que tienen una fuerte estabilidad térmica y del pH.

El género *Pleurotus* ha sido uno de los más cultivado y estudiado debido a sus grandiosas propiedades nutricionales y rápido crecimiento. *Pleurotus ostreatus* ha demostrado crecimiento eficiente en sustratos

formulados con una combinación de residuos de procesamiento de fruto de palma aceitera y grano de cacao (Da Silva et al., 2020). En desechos de banano, *P. ostreatus* mostró una tasa de crecimiento micelial de 1,08 cm·día⁻¹ (Carvalho et al., 2013). De manera similar, *P. florida* y *P. flabellatus* desarrollaron cuerpos fructíferos entre los 20 y 30 días al ser cultivados en residuos de biomasa digerida anaeróbicamente, incluyendo hojas de banano (Chanakya et al., 2015).

Productos comerciales de proteína fúngica

El creciente interés por alternativas a la proteína cárnea ha impulsado el desarrollo de productos basados en biomasa fúngica a escala industrial. Wang et al., (2023) exponen empresas como PrimeRoots que emplean *Aspergillus oryzae* (koji) para producir alternativas al tocino y mariscos libres de antibióticos, hormonas y colesterol, mientras que Quorn utiliza *Fusarium venenatum* para obtener proteína en polvo con bajo contenido de grasas saturadas y alto nivel de fibra.

Otras compañías, como Micorena, Emery-Meati y Suficiente aprovechan el micelio fúngico para desarrollar ingredientes de comida rápida, snacks, bebidas con texturas versátiles y alto valor nutritivo. La empresa Atlast—MyEats utiliza micelio de *Pleurotus*

eryngii para la elaboración de alternativas al tocino, desarrollando un alimento integral con textura fibrosa natural, alto contenido proteico y excelente versatilidad culinaria. Mientras que Más Carne y BioPhero-Yummowia se centran en brindar una alternativa a la carne con el uso de *Fusarium* y *Yarrowia lipolytica* respectivamente.

CONCLUSIONES

La biomasa lignocelulósica del banano constituye una materia prima abundante y con alto potencial para la producción de proteína fúngica, debido a su composición química y amplia disponibilidad, especialmente en países productores como Ecuador. La literatura revisada brinda antecedentes prometedores donde se utilizan residuos similares. No obstante, se requiere el desarrollo de investigaciones experimentales que evalúen de manera integral el aprovechamiento de los residuos del banano, para establecer conclusiones más precisas sobre la viabilidad técnica, nutricional y ambiental de la producción.

AGRADECIMIENTO

A Universidad Técnica del Norte y al Centro ecuatoriano de Biotecnología del ambiente-CEBA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bziejie Wang, Ying Shi, Hongyun Lu, Qihe Chen. (2023). A critical review of fungal proteins: Emerging preparation technology, active efficacy and food application, *Trends in Food Science & Technology*, Volume 141,104178, ISSN 0924-2244, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104178>.
2. Caicedo, Willan, Viáfara, Derwin, Pérez, Manuel, Alves Ferreira, Felipe Norberto, Rubio, Gabriel, Yanza, Reinaldo, Caicedo, María, Caicedo, Luis, Valle, Segundo, & Motta Ferreira, Walter. (2020). Características químicas del ensilado de raquis de plátano (*Musa paradisiaca*) y banano orito (*Musa acuminata AA*) tratado con suero de leche y urea. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 31(4), e19035. <https://doi.org/10.15381/rivep.v31i4.19035>
3. Canché-Escamilla, G., De los Santos-Hernández, J.M., Andrade-Canto, S., & Gómez-Cruz, R.. (2005). Obtención de Celulosa a Partir de los Desechos Agrícolas del Banano. *Información tecnológica*, 16(1), 83-88. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642005000100012>
4. Caputi, A. Samaniego, A. (2023). Plan de negocios para la producción de compost a base de desechos orgánicos derivados de la plantación de banano. Resolución No. ESPAE-CD-109-2021 (Doctoral dissertation, ESPAEESPOL).

5. Carvalho, C. S., Sales-Campos, C., & Andrade, M. C. N. (2013). Mycelial growth of *Pleurotus ostreatus* in different agroindustrial residues. *Brazilian Journal of Microbiology*, 44(2), 543–548.
6. CFN (Corporación Financiera Nacional). (2024). AGRICULTURA E INDUSTRIA MANUFACTURERA, CULTIVO DE BANANOS Y PLÁTANOS. <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/2024/10/Ficha-Sectorial-Banano.pdf>
7. Chanakya, H. N., Malayil, S., & Vijayalakshmi, C. (2015). Cultivation of *Pleurotus* spp. on anaerobically digested biomass substrates. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 4(1), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s40093-014-0085-1>
8. Da Silva, R. M., do Carmo, C. O., Santos de Oliveira, T. A., de Figueirêdo, V. R., Alves Duarte, E. A., & Fermino Soares, A. C. (2020). Biological efficiency and nutritional value of *Pleurotus ostreatus* cultivated in agroindustrial wastes of palm oil fruits and cocoa almonds. *Arquivos do Instituto Biológico*, 87, e0852018. <https://doi.org/10.1590/1808-1657000852018>
9. Espinosa-Negrín, Ana María, López-González, Lisbet Mailin, & Casdelo-Gutiérrez, Neybis Lourdes. (2022). Pretratamientos aplicados a biomasas lignocelulósicas: una revisión de los principales métodos analíticos utilizados para su evaluación. *Revista Cubana de Química*, 34(1), 87-110. Epub 18 de febrero de 2022. Recuperado en 24 de junio de 2025, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212022000100087&lng=es&tLng=es.
10. FAO, FIDA, OMS, PMA y UNICEF. 2024. *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2024: Financiación para acabar con el hambre, la inseguridad alimentaria y la malnutrición en todas sus formas*. Roma. <https://doi.org/10.4060/cd1254es>
11. FCD. (2024). Musa × paradisiaca L. Fundación Charles Darwin (en línea, sitio web). <https://datazone.darwinfoundation.org/es/checklist/?species=15746>.
12. González, A., Nobre, C., Simões, L. S., Cruz, M., Loredo, A., Rodríguez-Jasso, R. M., Contreras, J., Texeira, J., & Belmares, R. (2021). Evaluation of functional and nutritional potential of a protein concentrate from *Pleurotus ostreatus* mushroom. *Food Chemistry*, 346, 128884. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2020.128884>
13. Guanuchi Castro, A. O. (2024). "Descripción de daños causado por *Erwinia carotovora* en el racimo de Banano (Musa AAA)" (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2024).
14. Hana Mohd Zaini, Jumardi Roslan, Suryani Saallah, Elisha Munsu, Nurul Shaeera Sulaiman, Wolyna Pindi. (2022). Banana peels as a bioactive ingredient and its potential application in the food industry. *Journal of Functional Foods*. Volume 92. ISSN 1756-4646, <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105054>
15. Hana Mohd Zaini, Suryani Saallah, Jumardi Roslan, Nurul Shaeera Sulaiman, Elisha Munsu, Noorakmar A. Wahab, Wolyna Pindi. (2023). Banana biomass waste: A prospective nanocellulose source and its potential application in food industry – A review, *Helijon*, Volume 9, Issue 8, ISSN 2405-8440, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18734>.
16. HM Zaini , J. Roslan , S. Saallah , E. Munsu , NS Sulaiman , W. Pindi. (2022). Cáscaras de plátano como ingrediente bioactivo y su potencial aplicación en la industria alimentaria. *J. Funct.Foods*, Artículo 105054. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105054>
<https://doi.org/10.1590/S1517-83822013000200036>
17. INIAP. (N.d.). Banano, plátano y otras musáceas. *Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias*. <https://www.iniap.gob.ec/banano-platano-y-otras-musaceas/>
18. León Serrano, L., Arcaya Sisalima, M., Barbotó Velásquez, N. & Bermeo Pineda, Y. (2020). Ecuador: Análisis comparativo de las Exportaciones de banano orgánico y convencional e incidencia en la Balanza Comercial, 2018. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 7(2), 38-46, <https://doi.org/10.26423/rctu.v7i2.521>

19. Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca. (2025). *BOLETÍN DE CIFRAS Comercio Exterior ENERO 2025.* <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2025/01/VFBoletinComercioExteriorENE2025.pdf>
20. Paramasivam Kumar, Subramaniyan Pushpavalli, David Keran, Thayumanavan Shuprajhaa, Chinnathambi Sivananth, Rajendran Renganathan, Jeyabaskaran Kandallu Jayaraman, Padmanaban Balakrishnan, Subbaraya Uma. (2022). Deciphering functional characteristics and in-vitro bioactive properties of banana central core stem powder. *Food Chemistry.* Volume 397, ISSN 0308-8146, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133828>.
21. Punniamoorthy Thiviya, Ashoka Gamage, Ranganathan Kapilan, Othmane Merah y Terrence Madhujith. (2022). Producción de proteínas unicelulares a partir de diferentes residuos de frutas: una revisión. *MDPI.* 9 (7), 178. <https://doi.org/10.3390/separations9070178>
22. Ramirez, G. 2020. DESCRIPCIÓN DE LOS FACTORES DE IMPACTO AMBIENTAL GENERADOS POR EL MONOCULTIVO DE BANANO (*Musa acuminata* AAA) (en línea). EL TRIUNFO – ECUADOR, UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/RAMIREZ%20ASTUDILLO%20GENESIS%20DALIL A.pdf>.
23. Reina, Y; Aguilar, J; Chacón, A. 2023. Análisis de la merma del banano a partir del software Agrosft. Baba- Los Ríos -Ecuador, s.e., vol.Vol.4.
24. *Systematic Review Reporting Standards / ROSES.* (2017). Roses. <https://www.roses-reporting.com/>

Como citar: Basantes-Flores, S. E., Barba-Estrella, P. M., Pineda-Insuasti, J. y Pineda-Soto, A., (2025). Producción de proteína fúngica a partir de biomasa de banano (*Musa* spp.): una revisión. Biorrefinería, 8 (1). Obtenido de <https://cebaecuador.org/publicaciones/revista-biorrefineria/>

Información de revisión por pares: Revista Biorrefinería agradece a los revisores anónimos por su contribución a la revisión por pares de este trabajo utilizando <https://reviewerlocator.webofscience.com/>.

Acceso abierto: Todos los artículos publicados por Revista Biorrefinería son accesibles en línea de forma gratuita y permanente inmediatamente después de su publicación, sin cargos de suscripción ni barreras de registro.

Nota del Editor: Revista Biorrefinería se mantiene neutral con respecto a reclamos jurisdiccionales en mapas publicados y afiliaciones institucionales.

Copyright: © 2024 por los autores. Presentado para posible publicación en acceso abierto bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

REVISIÓN SISTEMÁTICA DE PROCESOS DE EXTRACCIÓN DE B-GLUCANO A PARTIR DE *Pleurotus spp.*

SYSTEMATIC REVIEW OF B-GLUCAN EXTRACTION PROCESSES FROM *Pleurotus spp.*

Nathalia Marquez-Zambrano¹, Julio Pineda-Insuasti², Alejandro Pineda-Soto^{1,2}, Melany Coello-Vargas³

¹Universidad de Investigación de Tecnología Experimental -YACHAY. Urcuquí, Ecuador

²Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente-CEBA. Ibarra, Ecuador

³Universidad Técnica del Norte-UTN. Ibarra, Ecuador

Autor para correspondencia: nathalia.marquez@yachaytech.edu.ec

Recibido: 30/08/2025

Aceptado: 30/09/2025

RESUMEN

La extracción de β -glucanos de *Pleurotus spp.* enfrenta un gran desafío debido a la falta de información comparativa sobre los métodos de extracción que determinan su pureza y funcionalidad. Este estudio realizó una revisión sistemática siguiendo los lineamientos de la declaración PRISMA, utilizando bases de datos como PubMed, Scopus y Scielo. Los hallazgos revelaron que la extracción de β -glucano requiere atención especial en su estructura y conformación, dado que estas propiedades biológicas y su funcionalidad están fuertemente ligadas a los métodos de extracción. También se observó influencia entre las propiedades bioactivas de los β -glucanos y sus aplicaciones industriales, biomédicas y farmacéuticas.

Palabras clave: Betaglucano, Beta-glucano, Pleuran, Extracción, *Pleurotus*

ABSTRACT

The extraction of β -glucans from *Pleurotus spp.* presents a challenge due to the lack of comparative information on the extraction methods that determine their purity and functionality. This study conducted a systematic review following the PRISMA guidelines, using databases such as PubMed, Scopus, and Scielo. The findings revealed that the extraction of β -glucan requires special attention to its structure and conformation, as these biological properties and their functionality are closely linked to the extraction methods. An influence was also observed between the bioactive properties of β -glucans and their industrial, biomedical, and pharmaceutical applications.

Keywords: Beta-glucan, Pleuran, Extraction, *Pleurotus*.

INTRODUCCIÓN

Definición de β -glucanos

Los β -glucanos son carbohidratos (azúcares) que se encuentran en las paredes celulares de hongos, bacterias, levaduras, algas, líquenes y plantas como la avena y la cebada. Se dividen en varios grupos según su estructura; es decir, el grado de ramificación de la cadena y el tipo

de enlaces glucosídicos que conectan los monómeros de glucosa. Por ejemplo, los β -1,3-1,6-D-glucanos se hallan principalmente en levaduras y macro hongos, los β -1,3-glucanos se encuentran prevalentemente en bacterias y los β -1,3-1,4-D-glucanos mayormente en granos de cereales y algas marinas (Mirończuk-Chodakowska et al., 2021).

Estructura del β -glucano

Gracias a la difracción de rayos X se ha podido determinar que la configuración de los glucanos es una triple hélice (la cual tiene su origen en el citoplasma con ayuda del complejo enzimático “glucano sintasa”). La diversidad de estos polisacáridos se debe a la existencia de estereoisómeros (configuraciones α : un grupo OH apuntando hacia abajo y β : un grupo OH apuntando hacia arriba) y al enlace, la linealidad o la ramificación de la cadena (Vetter, 2023).

Estos glucanos también pueden adoptar diferentes conformaciones de cadena según el solvente. Sin embargo, los beta-1,3-glucanos forman una estructura de triple hélice en su forma natural y en soluciones acuosas, lo que determina sus propiedades inmunomoduladoras y anticancerígenas (Mirończuk-Chodakowska et al., 2021).

Propiedades biológicas

La actividad biológica de los polisacáridos fúngicos puede variar en función de factores como el tipo de monómeros, el tamaño molecular o la solubilidad en agua (Mirończuk-Chodakowska et al., 2021).

Inmunomodulación: A diferencia de los β -glucanos de otras fuentes, los de los hongos se caracterizan por ser β -1,3-glucanos con ramificaciones cortas de β -1,6. Debido a esto, esta estructura es reconocida por receptores de las células inmunitarias y, por lo tanto, los β -glucanos de hongos tienen propiedades inmunomoduladoras específicas, obteniendo el estatus de BRM (modificador de la respuesta biológica) (Mirończuk-Chodakowska et al., 2021). Así, la interacción entre los β -glucanos y estos receptores desencadena una transducción de señales que estimula una respuesta inmunitaria específica (Caseiro et al., 2022). Cabe destacar que la eficacia farmacológica de los productos aislados de micelios de fermentación es comparable a la de los extraídos de materiales fúngicos (Murphy et al., 2023).

Anticancerígena y antitumoral: Algunos estudios han demostrado la actividad anticancerígena de los β -glucanos contra cánceres de pulmón, mama y gastrointestinales (Caseiro et al., 2022). Actualmente, los polisacáridos más conocidos con esta actividad son el lentinan, el esquizofilano y la krestina, propuestos como terapia complementaria (Mirończuk-Chodakowska et al., 2021). No obstante, las respuestas antitumorales parecen variar dependiendo del origen y la estructura del β -glucano (Caseiro et al., 2022).

El mecanismo anticancerígeno de los betaglucanos muestra efectos sinérgicos con los anticuerpos monoclonales y se ha encontrado esta propiedad en polisacáridos de hongos como *Agaricus*, *Ganoderma* y *Pleurotus* contra diversos tipos de cáncer (Mirończuk-Chodakowska et al., 2021).

Antiinfecciosa: Varios estudios sugieren que la suplementación con β -glucano mejora la inmunidad de la mucosa y reduce la incidencia de infecciones respiratorias (Caseiro et al., 2022). Asimismo, los polisacáridos, principalmente los β -glucanos, son responsables de sus propiedades inhibidoras microbianas, cuyo mecanismo implica la activación de la fagocitosis (Mirończuk-Chodakowska et al., 2021).

Antioxidante: La oxidación se debe a los radicales libres (RL) y las especies reactivas de oxígeno (ROS), las cuales juegan un papel clave en el daño celular. En condiciones patológicas, se recomienda una dieta con compuestos antioxidantes (una sustancia que retrasa o evita la oxidación) para reducir el riesgo de enfermedades crónicas (Sánchez & Royse, 2017). En este sentido, los betaglucanos de hongos *Pleurotus* poseen efectos antioxidantes notables por su alto contenido en proteínas y vitaminas, (Mirończuk-Chodakowska et al., 2021), y se ha demostrado que protegen el hígado contra el estrés oxidativo (Uscanga et al., 2020).

Cicatrizante: Los β -glucanos impulsan la reparación de heridas al aumentar la infiltración de macrófagos. Estudios clínicos en humanos han evidenciado que pueden acelerar la curación de heridas crónicas, como lo demuestra la aplicación de una crema con curdlan y la administración de β -1,3-glucano de levadura soluble (Caseiro et al., 2022).

Metabólica: Los β -glucanos presentan efectos metabólicos importantes, como la reducción de colesterol. Por esto, se estudian como terapias para el síndrome metabólico y la obesidad (Caseiro et al., 2022).

Modulación de microbiota intestinal: La suplementación dietética con β -glucanos es eficaz para modular la composición de microbiota intestinal, ya que su degradación por bacterias puede crear condiciones para un aumento significativo en la abundancia bacteriana (De Lima et al., 2024).

Nutricional: Según Nehmi-Filho et al. (2023b), el desarrollo de nuevos productos que actúan sinérgicamente (como los suplementos que combinan β -glucano de levadura, prebióticos y minerales -los cuales muestran mejoras en la modulación de biomarcadores asociados con la obesidad-) tienen un gran potencial nutracéutico, es decir, un efecto favorable sobre la salud (Mastranzo-Pérez et al., 2025).

Aplicaciones Industriales: Pese a que todas las macromoléculas son imprescindibles para el desarrollo de los seres vivos, se ha revisado que la producción anual de hidratos de carbono supera ampliamente al resto en una gran proporción, con alrededor de 75% de la producción total anual de biomasa. Del total de la producción anual de carbohidratos, solo el 3,5% (6.000 millones de toneladas) es utilizado por el ser humano, del cual el 62% principalmente como alimento, 33% para papel y construcción, y el 5% restante para ropa, productos químicos, entre otros (Ruiz-Herrera & Ortiz-Castellanos, 2019). Dentro de este marco, el β -glucano ha encontrado

aplicaciones potenciales en una extensa variedad de sectores industriales, como la agronomía, la cosmética, la farmacéutica y la alimentaria. En la industria alimentaria, los β -glucanos son agentes espesantes muy populares, pero también se pueden utilizar con muchos otros fines, tales como: aditivo, texturizador, retenedor de forma, reductor de lixiviación, ablandador, sustituto nutricional, gelificante y alimento bajo en calorías (Caseiro et al., 2022).

Biotecnológicas y Biomédicas: Adicionalmente, los β -glucanos también han sido explorados en el desarrollo de nuevas soluciones biotecnológicas. En particular, hay una serie de estudios recientes que exploran el potencial de los β -glucanos para el cultivo celular y construcción de ingeniería tisular 3D, aplicable para medicina regenerativa (Caseiro et al., 2022).

Farmacéuticas: Del mismo modo, se investigan sistemas de administración de fármacos basados en β -glucano, ya sea como hidrogeles o para la encapsulación de agentes biológicos terapéuticos (Caseiro et al., 2022). La eficiencia de encapsulación y el uso del glucano como portador de fármacos tiene como finalidad lograr un índice terapéutico similar al fármaco puro con toxicidad reducida (Venkatachalam et al., 2019).

Seguridad Alimentaria: La FDA señaló que algunas propiedades de los β -glucanos de avena están vinculados con la reducción de enfermedad coronaria (Caseiro et al., 2022). De igual manera, un dictamen del ESFA respaldó que una dosis de 3 g/día de β -glucano de avena disminuye notablemente el colesterol (European Food Safety Authority, 2010). Dado que el este comparte mecanismos fisiológicos similares al proveniente de hongos como *Pleurotus ostreatus*, se resalta su potencial para su uso nutracéutico seguro.

MATERIALES Y MÉTODOS

En esta revisión de tipo sistemática se llevó a cabo una evaluación de literatura científica

relacionada con la optimización de extracción de β -glucano a partir de *Pleurotus spp*. Con el objeto de realizar una estrategia metodológica rigurosa y orientada, se siguieron los lineamientos de la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), garantizando transparencia, reproducibilidad y trazabilidad en cada proceso.

La búsqueda se realizó en las bases de datos multidisciplinarias PubMed, Scopus, Scielo, WIPO y ESFA, combinando los términos “Extract”, “Extraction”, “Betaglucan”, “Beta-glucan”, “Pleuran” y “Pleurotus”, además se emplearon operadores booleanos “AND” y “OR” dependiendo la combinación que maximice la obtención de resultados. Estas búsquedas se limitaron a través de filtros en cada base de datos para asegurar una alta especificidad.

Para esto también fue necesario definir los siguientes criterios de inclusión y exclusión aplicados en cada base de datos, a excepción de patentes registradas en WIPO y opiniones emitidas por ESFA, siempre que traten acerca de aspectos relacionados con β -glucano, su seguridad alimentaria o aplicaciones funcionales:

Criterios de inclusión

Se consideró apta toda la literatura que cumpla con al menos una de las siguientes características:

- Escritos de libre acceso publicados entre 2015 y 2025.
- Estudios que describen la estructura, conformación y propiedades del β -glucano.
- Trabajos que aborden la presencia de polisacáridos o porcentaje de β -glucano en la composición de *Pleurotus spp*.
- Artículos que incluyen comparaciones entre métodos de extracción de polisacáridos, incluyendo β -glucano o Pleuran.

Criterios de exclusión

Se excluyeron aquellos escritos que coincidían con al menos uno de los siguientes puntos:

- Documentos que aborden estructura y conformación del Beta-glucano con origen que no fuese del género *Pleurotus*.
- Textos que no realizasen una comparación entre varios métodos de extracción.
- Estudios que correspondiesen a literatura gris (tesis, informes técnicos no publicados, etc.)
- Duplicados eliminados mediante el uso de Mendeley Reference Manager y su extensión para navegador.

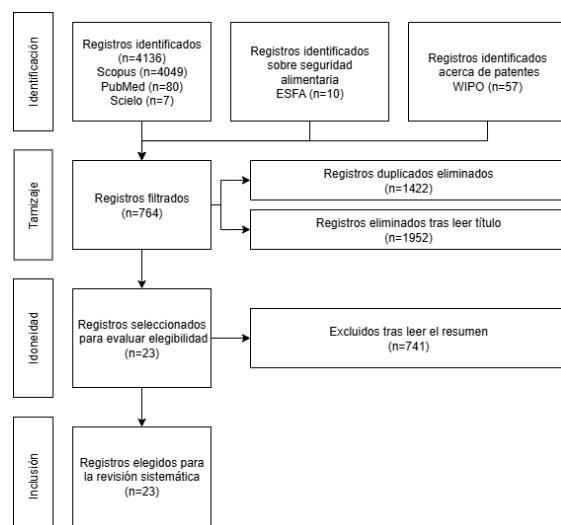


Figura 1. Diagrama sistemático de revisión

Tomando en cuenta todo lo mencionado anteriormente, se realizó una identificación inicial que arrojó 4049 registros en la Plataforma de Scopus, 80 en PubMed y 7 en Scielo. Adicionalmente se incluyeron 67 trabajos complementarios provenientes de WIPO y ESFA. Tras la eliminación de duplicados y la lectura de títulos se descartaron en total 3374 estudios sin relevancia para la revisión. De los 764 registros restantes se excluyeron 741 después de evaluar el resumen junto con los criterios ya definidos. Finalmente se incluyeron 23 registros en la revisión sistemática, los cuales fueron considerados aptos para abordar correctamente la optimización de extracción de Betaglucano a partir de *Pleurotus*.

RESULTADOS

El Género *Pleurotus* y sus Betaglucanos

El género *Pleurotus* presenta una diversidad de especies multivariada debido a su capacidad

para crecer en diferentes sustratos y ambientes (Mastranzo-Pérez et al., 2025). Además de su valor nutricional, a estos hongos se les atribuye una amplia gama de propiedades beneficiosas para la salud (Mirończuk-Chodakowska et al., 2021).

Composición

Los carbohidratos son el componente más grande de los hongos, ya que representan desde la mitad hasta las tres cuartas partes de su peso seco. Dentro de este grupo, se puede encontrar una gran variedad de compuestos, desde azúcares simples hasta polisacáridos complejos de alto peso molecular.

Específicamente, el género *Pleurotus* posee un contenido de carbohidratos de alrededor del 51.9 - 85.2 % de materia seca (Vetter, 2023). Además, varios estudios han demostrado que las diferentes cepas de *Pleurotus ostreatus* tienen distintos contenidos de glucano en las diferentes partes del hongo (Golian et al., 2022).

El estípite (pie) posee mayor contenido de glucano en comparación con el sombrero. En el caso de los α -glucanos hay un 57% de concentración a favor del pie y para los β -glucanos hay un 33% de concentración superior en comparación con la del sombrero (Golian et al., 2022).

Contenido de β -glucano

Debido a su diversidad estructural, los polisacáridos de los hongos se agrupan como alfa glucanos, beta glucanos y heteroglicanos. Estos son un grupo muy diverso de macromoléculas que generalmente están compuestos de glucosa, galactosa y manosa (en el caso de pleurán de *Pleurotus ostreatus*, galactosa y manosa). En resumen, los glucanos de los hongos son polisacáridos que tienen dos formas anoméricas (α y β) y pesos moleculares que suelen oscilar entre 10^4 y 10^6 Da (Vetter, 2023).

Métodos de extracción

Los polisacáridos fúngicos comestibles (PFC) son uno de los compuestos más comunes en el micelio, cuerpo fructífero y caldo de fermentación del hongo. Existen numerosos PFC, incluidos heteropolisacáridos, glucanos y polisacáridos estructurales (Sun et al., 2022).

De acuerdo con la distribución y localización celular de los polisacáridos fúngicos, se dividen principalmente en polisacáridos intracelulares y extracelulares. Generalmente, los polisacáridos extracelulares crudos se extraen de los medios de fermentación fúngica, mientras que los polisacáridos fúngicos intracelulares se extraen del cuerpo fructífero o el micelio de los hongos (Wang et al., 2022).

Para extraer polisacáridos de manera eficiente, los cuerpos fructíferos o micelio se aíslan y purifican. La fase de extracción es la más importante, ya que controla la tasa de recuperación, la composición de los monosacáridos, el peso molecular, la estructura, la configuración espacial y la bioactividad del polisacárido aislado. La mayoría de los polisacáridos son solubles en agua y pueden extraerse mediante métodos asistidos físicamente. No obstante, algunos polisacáridos insolubles necesitan tiempos, temperaturas o presiones específicas (Sun et al., 2022).

Extracción con Agua Caliente (HWE): Una de las técnicas más clásicas es la HWE, que consiste en someter el material fúngico pretratado a temperaturas de 60-100 °C durante 2 a 4 horas. Su principal ventaja es que no utiliza solventes tóxicos y requiere equipamiento básico, lo que la hace adecuada para la producción a escala industrial por su simplicidad y bajo costo.

No obstante, esta técnica presenta desventajas importantes, como su limitada eficiencia de extracción y un rendimiento bajo, que oscila entre el 2 % y el 10 %. Los largos tiempos y altas temperaturas no solo implican un gran consumo energético, sino que también pueden afectar la integridad de los

polisacáridos sensibles y degradar la estructura de los β -glucanos (Sun et al., 2022).

Estos procesos también favorecen la liberación de compuestos no deseados, lo que aumenta los costos de purificación. A pesar de su alta sostenibilidad al usar solo agua, su control de calidad depende de una buena purificación y análisis posteriores (W. Wang et al., 2022).

Extracción Asistida por Ultrasonido (UAE): La UAE emplea ondas ultrasónicas que, mediante cavitación, rompen las paredes celulares y facilitan la liberación de los polisacáridos. Entre sus ventajas, la UAE reduce el tiempo de extracción, mejora la eficiencia (alcanzando hasta un 20.52 % en especies como *Flammulina velutipes*) y conserva la bioactividad de los compuestos. El uso de baja frecuencia (20–100 kHz) permite disminuir la necesidad de solventes y evita el deterioro térmico (Sun et al., 2022).

Como desventajas, las vibraciones pueden afectar enlaces sensibles si no se controlan adecuadamente (W. Wang et al., 2022). Además la intensidad ultrasónica puede reducir el peso molecular de los extractos (Sun et al., 2022).

Extracción Asistida por Microondas (MAE): La MAE utiliza un calentamiento rápido que rompe estructuras celulares. El calor se genera por conducción iónica y vibraciones moleculares que aumentan la presión interna de las células hasta su ruptura (Sun et al., 2022). Aunque esta es una técnica rápida (con tiempos de extracción inferiores a 5 minutos) y su rendimiento es en torno al 4.71 % y al 12 %, sus desventajas incluyen un calentamiento no uniforme, que puede provocar degradación térmica y alterar estructuras bioactivas (W. Wang et al., 2022).

Extracción Asistida por Enzimas (EAE): La EAE emplea enzimas para degradar selectivamente la pared celular del hongo (W. Wang et al., 2022). Esta técnica libera los compuestos bioactivos sin alterar su estructura funcional.

Las ventajas de la EAE incluyen alta especificidad, operación sencilla y bajo consumo energético. Su rendimiento llega al 15.65 % en *Lentinula edodes*, produciendo polisacáridos puros y bioactivos (Sun et al., 2022).

Sus principales desventajas son el elevado costo de las enzimas y la necesidad de un control preciso de parámetros como pH, temperatura y dosis enzimática (W. Wang et al., 2022).

Otras Técnicas de Extracción

Además de los métodos ya mencionados, existen otras tecnologías innovadoras para la extracción de polisacáridos fúngicos:

Extracción asistida por ultra-alta presión (UHPAE): Aplica presiones de hasta 460 MPa para romper las células. Su principal ventaja es que preserva la integridad molecular sin necesidad de calor, alcanzando un buen rendimiento de hasta 12.01 %. Sin embargo, requiere equipos sofisticados y no está validada a escala industrial (W. Wang et al., 2022).

Extracción sinérgica ultrasonido-microondas (UMSE): Combina la cavitación del ultrasonido con el calentamiento del microondas para maximizar la eficiencia. Sus ventajas son una eficiencia sobresaliente y tiempos de extracción reducidos, con un rendimiento de hasta 35.41 %. Su mayor desventaja es la complejidad técnica para evitar la degradación del producto (W. Wang et al., 2022).

Extracción con sistema bifásico acuoso (ATPS): Utiliza una mezcla de polímeros y sales para separar los polisacáridos en dos fases líquidas. Es un método de alta sostenibilidad y selectividad molecular, que no emplea solventes orgánicos. Su principal desventaja es que requiere una optimización precisa (W. Wang et al., 2022).

Extracción por partición trifásica (TPP): Separa los componentes usando agua, etanol y sales

según su afinidad y peso molecular. Permite un fraccionamiento preciso de polisacáridos bioactivos, sin embargo, ha sido poco estudiado a escala industrial (W. Wang et al., 2022).

Extracción asistida por álcalis/ácidos (AAE): Este método utiliza compuestos como NaOH o HCl para romper la pared celular y suele aplicarse después de la HWE para maximizar la recuperación de polisacáridos, transformando componentes insolubles en solubles. Aunque la AAE mejora el rendimiento, con aumentos de hasta siete veces en comparación con la HWE, su uso en altas concentraciones puede degradar la estructura de los polisacáridos (Sun et al., 2022).

Protocolos Secuenciales

Más allá de los métodos básicos, existen protocolos secuenciales que combinan diferentes técnicas para optimizar la extracción. Un ejemplo es la extracción con agua caliente presurizada, aplicada en *Lentinus sajor-caju* con un rendimiento óptimo de 3.20 g por 100 g de hongo, alta concentración de β -glucanos y notable actividad antioxidante. Sus limitaciones incluyen la posible degradación térmica y la necesidad de equipamiento especializado (Sakdasri et al., 2022).

Un caso adicional son las extracciones sucesivas con agua fría, agua caliente y autoclave, aplicado en *Pleurotus eryngii*. Cada etapa permite recuperar fracciones con diferentes rendimientos, perfiles moleculares, eficiencia, complejidad estructural y potencial bioactivo. Entre sus limitaciones se encuentra una larga duración y bajo rendimiento en algunas fracciones (Abreu et al., 2020).

Otro protocolo secuencial es el de cinco etapas de fraccionamiento con extracciones acuosas y alcalinas suaves (aplicado en *Grifola frondosa*, *Lentinula edodes* y *Pleurotus ostreatus*). Este método fracciona β -glucanos según su solubilidad y es especialmente efectivo en especies como *Pleurotus ostreatus*. Su mayor

desventaja es que requiere múltiples etapas (Pérez-Bassart et al., 2022).

Por último, el procedimiento de extracción alcalina secuencial incluye incubaciones con NaOH, centrifugación y purificación. Tiene un rendimiento aproximado de 6.3 % con una pureza de 80 % de β -glucano (Uscanga et al., 2020b).

Determinación de Glucanos

Una vez extraídos los polisacáridos, su determinación es crucial. Los dos métodos principales utilizados son el método enzimático y el método del Rojo Congo. El método del Rojo Congo reacciona con la estructura de triple hélice de los β -glucanos, cuyo nivel de integridad es proporcional a su efecto biológico, reflejando así su valor funcional (Vetter, 2023).

Nuevo proceso

El objetivo del planteamiento de este proceso es mejorar el aprovechamiento del hongo *Pleurotus spp* en la extracción de β -glucano garantizando sus aplicaciones industriales.

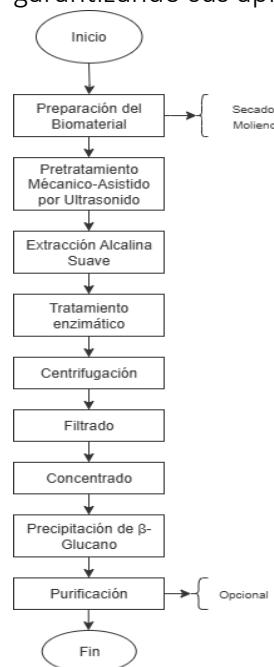


Figura 2. Diagrama de flujo del nuevo proceso.

Preparación del Biomaterial: se deshidrata el cuerpo fructífero de *Pleurotus* a baja temperatura con la finalidad de preservar sus compuestos activos, posteriormente se

pulveriza a un tamaño de partícula menor a 0.5 mm para aumentar la superficie de extracción.

Pretratamiento Mecánico-Asistido por Ultrasonido (UMA): se realiza una suspensión del polvo en agua destilada y un tratamiento con ultrasonido de 40 kHz a 60 °C y por 30 min para la disruptión física de la pared celular para mejorar la liberación de polisacáridos sin dañar los β -glucanos.

Extracción Alcalina Suave: se utiliza una solución de NaOH 1% a 80 °C durante 1 hora con agitación constante para solubilizar β -glucanos sin degradarlos y romper enlaces entre polisacáridos y proteínas.

Tratamiento Enzimático Controlado: para eliminar proteínas residuales y otros polisacáridos sin degradar β -glucanos se emplean celulosas y proteasas (que pueden ser de origen fúngico), a un pH de 5, temperatura de 50 °C durante 2 horas

Filtración y Concentración: Se realiza un concentrado centrifugado a 10,000 rpm durante 15 minutos para remover residuos sólidos y se pasa por un filtro de 0.45 μm para reducir volumen.

Precipitación de β -Glucanos: para obtener β -glucano crudo se añade etanol 95% en relación 1:4, se deja reposar 24 horas a 4°C y posteriormente se centrifuga el precipitado.

Para evaluar la calidad del β -glucano extraído se puede emplear espectroscopía FTIR la cual permite identificar los grupos funcionales del polisacárido y confirmar su integridad estructural

Tabla 1: Bibliografía con alta relevancia

Fuente	Enfoque	Relevancia
Abreu, H. et al. (2020).	El estudio se enfoca en metodologías de extracción selectiva de polisacáridos de <i>Pleurotus eryngii</i> y sus efectos biológicos.	aborda directamente la optimización de los métodos de extracción y la relación entre el método y las propiedades del producto final.
Caseiro, C. et al. (2022).	Es una revisión sobre la estructura molecular y las aplicaciones de los β -glucanos y las β -glucanas en diversas industrias.	Proporciona un entendimiento crucial de la estructura molecular del β -glucano
Golian, M. et al. (2022).	Analiza la variabilidad bioquímica y genética de diferentes cepas de <i>Pleurotus ostreatus</i> .	Es relevante para comprender que la variación en la materia prima (<i>Pleurotus</i>) puede influir en la cantidad y la estructura del β -glucano extraído
Mastranzo-Pérez, L. A. et al.	Es una revisión sobre la importancia biotecnológica general del género <i>Pleurotus</i> .	Incluye información general sobre la estructura del hongo.
Murphy, E. J. et al. (2023)	Revisión sobre la producción sostenible y aplicaciones farmacéuticas de los β -glucanos	Discute la producción sostenible de β -glucanos
Pérez-Bassart, Z. et al	Compara las diferencias de composición en extractos de hongos obtenidos mediante un protocolo de extracción secuencial.	Compara métodos de extracción y la composición de los extractos
Ruiz-Herrera, J. & Ortiz-Castellanos, L. (2019).	Revisión sobre los glucanos de la pared celular de los hongos, su estructura, biosíntesis y función.	Proporciona información fundamental sobre la estructura del β -glucano fúngico y cómo se integra en la pared celular del hongo
Sakdasri, W. et al. (2022)	Investiga un método específico de extracción con agua caliente a presión de β -glucano de la seta ostra	Es un estudio de caso directo de una metodología de extracción de β -glucano de un tipo de <i>Pleurotus</i>
Sánchez, E. & Royse, J. (Eds.). (2017).	Libro sobre la biología, el cultivo y las propiedades de las setas del género <i>Pleurotus</i> .	Ofrece un conocimiento de base sobre el hongo en sí, incluyendo su biología y composición
Sun, Y. et al. (2022).	Revisión sobre los polisacáridos de hongos, cubriendo extracción, y	Proporciona una visión general relevante de las técnicas de extracción y las

CONCLUSIONES

El objetivo de esta revisión fue comprender y optimizar la extracción de β -glucanos a partir de *Pleurotus spp*, tomando en cuenta que no hay suficiente información que compare sus métodos de extracción. Los resultados demostraron que la extracción de β -glucano a partir de *Pleurotus* es un proceso que debe considerar la estructura y conformación del β -glucano para conservar sus propiedades y funcionalidades tras el tratamiento. Esto significa que los métodos de extracción deben ser diseñados para romper la estructura de la pared celular del hongo y liberar los β -glucanos sin degradar su conformación. Por lo tanto, este enfoque no solo busca maximizar la cantidad extraída, sino también preservar las propiedades físicas y químicas de la molécula, asegurando que el proceso sea sostenible y genere un producto de alta calidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abreu, H., Zavadinack, M., Smiderle, F. R., Cipriani, T. R., Cordeiro, L. M., & Iacomini, M. (2020). Polysaccharides from *Pleurotus eryngii*: Selective extraction methodologies and their modulatory

- effects on THP-1 macrophages. *Carbohydrate Polymers*, 252, 117177. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117177>
2. Caseiro, C., Dias, J. N. R., De Andrade Fontes, C. M. G., & Bule, P. (2022). From Cancer Therapy to Winemaking: The Molecular Structure and Applications of β -Glucans and β -1, 3-Glucanases. *International Journal Of Molecular Sciences*, 23(6), 3156. <https://doi.org/10.3390/ijms23063156>
3. De Lima, E. C., De Souza, F. P., Furlan-Murari, P. J., Pandolfi, V. C. F., Leite, N. G., Mainardi, R. M., Chideroli, R. T., Pereira, U. P., Araújo, E. J. A., Pupim, A. C. E., Koch, J. F. A., & Lopera-Barrero, N. M. (2024). Effects of dietary β -glucans on the productive performance, blood parameters, and intestinal microbiota of angelfish (*Pterophyllum scalare*) juveniles. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 96(1). <https://doi.org/10.1590/0001-3765202420231006>
4. European Food Safety Authority. (2010, 8 diciembre). *Oat beta glucan and lowering blood cholesterol*. <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/1885>
5. Golian, M., Chlebová, Z., Žiarovská, J., Benzová, L., Urbanová, L., Hovaňáková, L., Chlebo, P., & Urminská, D. (2022). Analysis of Biochemical and Genetic Variability of *Pleurotus ostreatus* Based on the β -Glucans and CDDP Markers. *Journal Of Fungi*, 8(6), 563. <https://doi.org/10.3390/jof8060563>
6. Mastranzo-Pérez, L. A., Hernández-Domínguez, E. M., Falcón-León, M. P., & Álvarez-Cervantes, J. (2025). *Pleurotus* spp: A cosmopolitan fungi of biotechnological importance. *Scientia Agropecuaria*, 16(1), 79-91. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2025.008>
7. Mirończuk-Chodakowska, I., Kujawowicz, K., & Witkowska, A. M. (2021). Beta-Glucans from Fungi: Biological and Health-Promoting Potential in the COVID-19 Pandemic Era. *Nutrients*, 13(11), 3960. <https://doi.org/10.3390/nu13113960>
8. Murphy, E. J., Rezoagli, E., Collins, C., Saha, S. K., Major, I., & Murray, P. (2023). Sustainable production and pharmaceutical applications of β -glucan from microbial sources. *Microbiological Research*, 274, 127424. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2023.127424>
9. Murphy, E. J., Rezoagli, E., Major, I., Rowan, N. J., & Laffey, J. G. (2020). β -Glucan Metabolic and Immunomodulatory Properties and Potential for Clinical Application. *Journal Of Fungi*, 6(4), 356. <https://doi.org/10.3390/jof6040356>
10. Nehmi-Filho, V., Santamarina, A. B., De Freitas, J. A., Trarbach, E. B., De Oliveira, D. R., Palace-Berl, F., De Souza, E., De Miranda, D. A., Escamilla-Garcia, A., Otoch, J. P., & Pessoa, A. F. M. (2023). Novel nutraceutical supplements with yeast β -glucan, prebiotics, minerals, and *Silybum marianum* (silymarin) ameliorate obesity-related metabolic and clinical parameters: A double-blind randomized trial. *Frontiers In Endocrinology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.1089938>
11. Pérez-Bassart, Z., Fabra, M. J., Martínez-Abad, A., & López-Rubio, A. (2022). Compositional differences of β -glucan-rich extracts from three relevant mushrooms obtained through a sequential extraction protocol. *Food Chemistry*, 402, 134207. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134207>
12. Ruiz-Herrera, J., & Ortiz-Castellanos, L. (2019). Cell wall glucans of fungi. A review. *The Cell Surface*, 5, 100022. <https://doi.org/10.1016/j.tcs.2019.100022>
13. Sakdasri, W., Arnutpongchai, P., Phonsavat, S., Bumrungthaichaichan, E., & Sawangkeaw, R. (2022). Pressurized hot water extraction of crude polysaccharides, β -glucan, and phenolic compounds from dried gray oyster mushroom. *LWT*, 168, 113895. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113895>
14. Sánchez, E., & Royse, J. (Eds.). (2017). *La biología, el cultivo y las propiedades nutricionales medicinales de las setas *Pleurotus* spp* (1.^a ed.) [PDF]. ECOSUR. <https://bibliotecasibe.ecosur.mx/sibe/book/000042177>
15. Singh, R. P., & Bhardwaj, A. (2023). β -glucans: a potential source for maintaining gut microbiota and the immune system. *Frontiers In Nutrition*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1143682>

16. Sun, Y., He, H., Wang, Q., Yang, X., Jiang, S., & Wang, D. (2022). A Review of Development and Utilization for Edible Fungal Polysaccharides: Extraction, Chemical Characteristics, and Bioactivities. *Polymers*, 14(20), 4454. <https://doi.org/10.3390/polym14204454>
17. Uscanga, B. R. A., Garduño, A. C., Pacheco, J. R. S., Garcia, F. S., Hernández, R. E. N., & Niño, J. S. (2020a). In-vivo assessment of the protection of β -glucans of *Pleurotus ostreatus* against oxidative stress caused by acrylamide intake (part II). *Nutrición Hospitalaria*. <https://doi.org/10.20960/nh.03117>
18. Uscanga, B. R. A., Garduño, A. C., Pacheco, J. R. S., Garcia, F. S., Hernández, R. E. N., & Niño, J. S. (2020b). In-vivo assessment of the protection of β -glucans of *Pleurotus ostreatus* against oxidative stress caused by acrylamide intake (part II). *Nutrición Hospitalaria*. <https://doi.org/10.20960/nh.03117>
19. Venkatachalam, G., Venkatesan, N., Suresh, G., & Doble, M. (2019). Cyclic β -(1, 2)-glucan blended poly DL lactic co glycolic acid (PLGA 10:90) nanoparticles for drug delivery. *Helijon*, 5(9), e02289. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02289>
20. Vetter, J. (2023). The Mushroom Glucans: Molecules of High Biological and Medicinal Importance. *Foods*, 12(5), 1009. <https://doi.org/10.3390/foods12051009>
21. Wang, Q., Sheng, X., Shi, A., Hu, H., Yang, Y., Liu, L., Fei, L., & Liu, H. (2017). β -Glucans: Relationships between Modification, Conformation and Functional Activities. *Molecules*, 22(2), 257. <https://doi.org/10.3390/molecules22020257>
22. Wang, W., Tan, J., Nima, L., Sang, Y., Cai, X., & Xue, H. (2022). Polysaccharides from fungi: A review on their extraction, purification, structural features, and biological activities. *Food Chemistry X*, 15, 100414. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100414>
23. WIPO - Search International and National Patent Collections. (s. f.). https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=MY447655137&_cid=P10-MESVE4-10835-1

Citar artículo: Marquez-Zambrano, N., Pineda-Insuasti, J., Pineda-Soto, A. Coello-Vargas, M. (2025). Revisión sistemática de procesos de extracción de b-glucano a partir de *Pleurotus spp*. Biorrefinería 8 (1). Obtenido de <https://cebaecuador.org/publicaciones/revista-biorrefineria/>

Información de revisión por pares: Revista Biorrefinería agradece a los revisores anónimos por su contribución a la revisión por pares de este trabajo utilizando <https://reviewerlocator.webofscience.com/>.

Acceso abierto: Todos los artículos publicados por Revista Biorrefinería son accesibles en línea de forma gratuita y permanente inmediatamente después de su publicación, sin cargos de suscripción ni barreras de registro.

Nota del Editor: Revista Biorrefinería se mantiene neutral con respecto a reclamos jurisdiccionales en mapas publicados y afiliaciones institucionales.

Copyright: © 2024 por los autores. Presentado para posible publicación en acceso abierto bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

DESARROLLO DE UN PROCESO A ESCALA DE LABORATORIO PARA LA PRODUCCIÓN DE PAPEL A PARTIR DEL HONGO REISHI (*Ganoderma spp.*)

DEVELOPMENT OF A LABORATORY-SCALE PROCESS FOR PAPER PRODUCTION FROM REISHI MUSHROOM (*Ganoderma spp.*)

Henry Sebastián Viveros-Mina¹, Angie Juliet Pantoja-Guzmán¹, Mauricio Lara-Arellano¹, Melany Coello-Vargas², Karen Carrera-Farinango³, Julio Pineda-Insuasti³, Alejandro Pineda-Soto^{3,4}.

¹Instituto Tecnológico Superior 17 de Julio. Urcuqui, Ecuador.

²Universidad Técnica Del Norte -UTN. Ibarra, Ecuador.

³Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente -CEBA. Ibarra, Ecuador.

⁴Universidad de Investigación de Tecnología Experimental- YACHAY. Urcuqui, Ecuador.

Autor para correspondencia: sebasjere501@gmail.co

Recibido: 10/12/25

Aceptado: 20/12/25

RESUMEN

La creciente demanda mundial de papel y la presión ambiental asociada a la deforestación han impulsado la búsqueda de materias primas alternativas y sostenibles. En este estudio se desarrolló un proceso a escala de laboratorio para la producción de papel a partir del hongo Reishi (*Ganoderma spp.*), combinando biomasa fúngica con celulosa microcristalina. Se aplicó un diseño experimental factorial 2² completamente aleatorizado, evaluando concentraciones de celulosa y Reishi de 0,5 y 1,0 %. La variable de respuesta fue el peso del papel obtenido. El análisis de varianza mostró efectos estadísticamente significativos ($p < 0,05$) de ambos factores. El modelo empírico permitió determinar condiciones óptimas, obteniéndose un peso máximo del papel de 0,6 g con concentraciones del 1 % de celulosa y 1 % de Reishi, demostrando la viabilidad del proceso propuesto.

Palabras clave: biomateriales, economía circular, micelio, papel alternativo, Reishi.

ABSTRACT

The growing global demand for paper and the environmental pressure associated with deforestation have driven the search for alternative and sustainable raw materials. This study developed a laboratory-scale process for paper production using Reishi mushroom (*Ganoderma spp.*) combined with microcrystalline cellulose. A completely randomized 2² factorial experimental design was applied, evaluating cellulose and Reishi concentrations of 0.5 and 1.0 %. Paper weight was selected as the response variable. Analysis of variance showed statistically significant effects ($p < 0.05$) for both factors. The empirical model enabled the determination of optimal conditions, achieving a maximum paper weight of 0.6 g at 1 % cellulose and 1 % Reishi, demonstrating the technical feasibility of the proposed bioprocess.

Keywords: alternative paper, biomaterials, circular economy, mycelium, Reishi.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento sostenido de la demanda mundial de papel y materiales celulósicos ha

generado una presión significativa sobre los recursos forestales, incentivando la búsqueda de alternativas que reduzcan la dependencia

de la madera y mitiguen los impactos ambientales asociados a la industria papelera convencional. En este contexto, el desarrollo de biomateriales renovables y procesos alineados con los principios de la economía circular se ha convertido en una prioridad dentro de la investigación en materiales sostenibles (Grimm & Wösten, 2018; Attias et al., 2020).

El micelio fúngico ha emergido como un material bio-basado de alto interés debido a su capacidad de crecimiento autoorganizado, su estructura tridimensional y su habilidad para unir partículas lignocelulósicas sin requerir aglutinantes sintéticos. Estas características han sido ampliamente documentadas en el desarrollo de biocompuestos con aplicaciones estructurales, aislantes y funcionales, destacándose su bajo impacto ambiental y su versatilidad en términos de diseño y procesamiento (Haneef et al., 2017; Jones et al., 2017; Manan et al., 2021).

Desde el punto de vista mecánico y morfológico, diversos estudios han demostrado que las propiedades finales de los materiales a base de micelio dependen de factores como la especie fúngica, el sustrato utilizado, las condiciones de crecimiento y los parámetros de procesamiento posteriores al cultivo. Islam et al. (2017) analizaron la relación entre la morfología del micelio y su comportamiento mecánico, mientras que Jones et al. (2020) y Girometta et al. (2019) realizaron revisiones críticas sobre las propiedades físico-mecánicas y térmicas de biocompuestos miceliales producidos a partir de diferentes residuos lignocelulósicos.

La integración del micelio con fibras celulósicas ha demostrado ser una estrategia efectiva para mejorar la cohesión y estabilidad estructural de los biocompuestos. Sun et al. (2019) reportaron la fabricación de materiales híbridos completamente bio-basados combinando micelio fúngico, madera y nanofibrillas de celulosa, evidenciando mejoras significativas en resistencia mecánica

y uniformidad estructural. De manera complementaria, Appels et al. (2019) demostraron que variables de fabricación como el contenido de humedad, el secado y la compactación influyen de forma determinante en las propiedades mecánicas y de absorción de agua de los materiales miceliales.

En términos de sostenibilidad, el uso de micelio como materia prima permite valorizar biomasa renovable y residuos agrícolas, contribuyendo a sistemas productivos más eficientes y de menor huella ambiental. Grimm y Wösten (2018) destacan el papel de los hongos dentro de la economía circular, tanto por su capacidad de degradar sustratos lignocelulósicos como por su potencial para generar nuevos materiales funcionales. Asimismo, Bruscato et al. (2019) y Attias et al. (2020) subrayan el interés creciente de estos biomateriales en sectores industriales y de diseño debido a su carácter biodegradable y renovable.

Recientemente, la investigación en materiales miceliales se ha extendido hacia la producción de estructuras delgadas tipo papel y láminas funcionales. Lv et al. (2022) demostraron la viabilidad de producir materiales con textura y estructura similares al papel a partir de biomasa fúngica, preservando propiedades físicas, funcionales y sensoriales. Estos avances sugieren que los procesos tradicionales de fabricación de papel pueden adaptarse para incorporar biomasa fúngica como componente estructural, ampliando el espectro de aplicaciones de los materiales miceliales (Sun et al., 2019; Manan et al., 2021).

No obstante, a pesar de los avances reportados, la aplicación específica de *Ganoderma spp.* (Reishi) en la producción de papel a escala de laboratorio ha sido escasamente documentada. La mayor parte de los estudios se concentran en otras especies fúngicas o en aplicaciones estructurales generales, existiendo un vacío en el análisis experimental del Reishi como biomaterial para

la elaboración de papel. Considerando que este hongo presenta una biomasa rica en polisacáridos y una red micelial robusta, su exploración como materia prima alternativa resulta pertinente desde el punto de vista técnico y ambiental (Girometta et al., 2019; Jones et al., 2020).

En este marco, la presente investigación tiene como objetivo desarrollar y evaluar un proceso a escala de laboratorio para la producción de papel a partir del hongo Reishi (*Ganoderma spp.*), mediante el análisis experimental de la influencia de la concentración de biomasa fúngica y celulosa sobre el material obtenido, aportando evidencia científica para el desarrollo de biomateriales sostenibles y alineados con los principios de la economía circular.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se estudió a escala de laboratorio un proceso para la producción de papel con el hongo Reishi. El trabajo experimental se realizó en el laboratorio de procesos químicos del Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente (CEBA), localizado en la ciudad de Ibarra, Ecuador a 2200 metros sobre el nivel del mar y con una temperatura promedio de 18 °C.

Materias primas

Celulosa. La celulosa es un polisacárido fundamental en la naturaleza, el componente principal de las paredes celulares vegetales, un biopolímero orgánico abundante, fuerte y biodegradable, que sirve como estructura en plantas y se usa para fabricar papel, textiles, explosivos, y como fibra dietética en alimentos y medicina. Se compone de unidades de glucosa ($C_6H_{10}O_5$) n , ofreciendo resistencia y versatilidad para múltiples aplicaciones industriales y sostenibles.

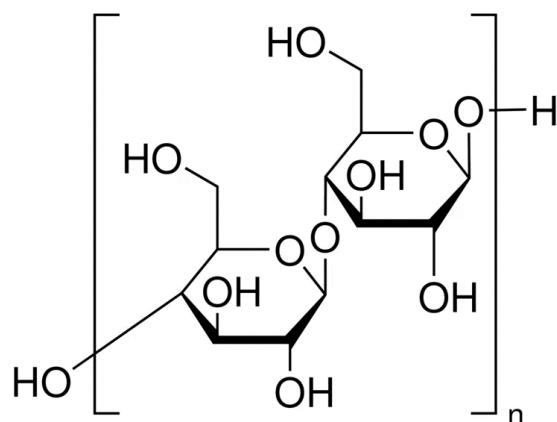


Figura 1. Estructura celulosa

Como materia prima se utilizó celulosa microcristalina de marca BIODIVERSITY®, identificada con Número CAS: 9004-34-6, Número CE: 232-674-9 (Figura 2).

Hongo Reishi (*Ganoderma spp.*). De igual forma se utilizó el hongo reishi de marca BIODIVERSITY®.



Figura 2. Alpha celulosa y Hongo Reishi

Diseño experimental y análisis estadístico

Como unidad experimental se estableció una muestra de 1000 ml de pulpa de celulosa con reishi, como factores de estudio se seleccionó la concentración de celulosa en los niveles de 0,5 % y 1 % y la concentración del hongo reishi en los niveles de 0,5 % y 1 %. Como parámetros de operación se estableció el volumen de pulpa utilizado 10 ml en un área de molde de 6 cm de diámetro ($28,27 \text{ cm}^2$), pH 6, temperatura 20 °C y presión atmosférica. La variable de respuesta seleccionada fue el peso del papel. Como factores de ruido se identifica

la cantidad de luz, la temperatura del ambiente y el clima.

Se utilizó el software estadístico STATGRAPHICS, para planificar un diseño experimental factorial multinivel estándar 22, con tres replicas, completamente aleatorio, con un total de 12 tratamientos. El diseño se ejecutó en 3 bloques y el orden de los experimentos ha sido completamente aleatorizado para aportar protección contra el efecto de variables ocultas.

Diseño Factorial Multinivel

Se ha creado un diseño factorial multinivel que consiste en 12 corridas. El diseño deberá ser ejecutado en 3 bloques. El orden de los experimentos ha sido completamente aleatorizado. Esto aportará protección contra el efecto de variables ocultas.

- Clase de diseño: Factorial Multinivel
- Número de factores experimentales: 2
- Número de bloques: 3
- Número de respuestas: 1
- Número de corridas: 12
- Grados de libertad para el error: 6
- Aleatorizar: Sí

Factores	Bajo	Alto	Niveles	Unidades
Celulosa	0,5	1,0	2	(%)
Reishi	0,5	1,0	2	(%)

Respuestas	Unidades
Peso	(g)

Procedimiento Experimental

En la figura 3, se presenta el diagrama de flujo del proceso experimental.



Figura 3. Diagrama de flujo elaboración papel

Se procedió a la recepción y pesaje de la materia prima en balanza digital marca TRUPER (figura 4).



Figura 4. Recepción y pesaje materia prima.

La selección y clasificación del hongo reishi se realizó utilizando la norma general del Codex Alimentarius para los hongos comestibles y sus productos CXS 38-1981 (figura 5).



Figura 5. Selección y clasificación

Los hongos frescos se secaron en horno a 50 ° (figura 6).



Figura 6. Secado de los hongos

Los hongos secos se sometieron a un proceso de molido en mortero (figura 7).



Figura 7. Molido de hongos

Las muestras de celulosa y hongo reishi molido se mezclaron con agua destilada en un frasco de vidrio de 250 ml, con un volumen útil de 200 ml. La solución fue mezclada en licuadora doméstica (figura 8).



Figura 8. Mezclado de la solución

Para la formación del papel, las muestras de solución mezclada se filtró través de un papel de filtro de celulosa gruesa de 0,3 micras con

la ayuda de una bomba de vacío marca QUALITY QVP-500 (figura 9).



Figura 9. Filtrado de pulpa y desmoldeo papel

El papel fue retirado del filtro y secada en horno a 60 °C por un tiempo de 30 minutos (figura 10).



Figura 10. Secado del papel

Por último, las muestras de papel fueron pesadas y empacadas en bolsa plástica de polietileno (figura 11).



Figura 11. Pesado del papel seco

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1, se presenta la matriz de resultados experimentales, como se puede observar se logra un máximo peso del papel de 0,6 g cuando se trabaja con 1 % de celulosa y 1 % de reishi y un mínimo de 0,1g cuando se trabaja con 0,5 % celulosa y 0,5 % reishi.

Tabla 1. Matriz de resultados experimentales

BLOQUE	Celulosa (%)	Reishi (%)	Peso (g)
1	1	1	0,4
1	1	0,5	0,4
1	0,5	1	0,5
1	0,5	0,5	0,1
2	1	0,5	0,3
2	1	1	0,6
2	0,5	1	0,5
2	0,5	0,5	0,1
3	1	1	0,6
3	0,5	1	0,2
3	0,5	0,5	0,1
3	1	0,5	0,3

Fuente: Elaboración autor.

Análisis de Varianza para Peso

En la tabla 2, se presenta el análisis de varianza para peso, el ANOVA partitiona la variabilidad de Peso en piezas separadas para cada uno de los efectos. Entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 2 efectos tienen una valor-P menor que 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla 2. Análisis de Varianza para Peso

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Celulosa	0,100833	1	0,100833	7,41	0,0346
B: Reishi	0,1875	1	0,1875	13,78	0,0100
AB	0,0075	1	0,0075	0,55	0,4859
bloques	0,0116667	2	0,00583333	0,43	0,6699
Error total	0,0816667	6	0,0136111		
Total (corr.)	0,389167	11			

Coeficiente de regresión para Peso

En la tabla 3, se presenta el coeficiente regresión para peso,

Tabla 3. Coeficiente de regresión para Peso

Coeficiente	Estimado
constante	-0,533333
A: Celulosa	0,666667
B: Reishi	0,8
AB	-0,4

Fuente: elaboración propia

Ecuación de regresión del modelo ajustado

$$\text{Peso} = -0,533333 + 0,666667 * \text{Celulosa} + 0,8 * \text{Reishi} - 0,4 * \text{Celulosa} * \text{Reishi}$$

Optimización de la Respuesta

La tabla 4, muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza Peso sobre la región indicada. Puede establecer el valor de uno o más factores a una constante, estableciendo los límites alto y bajo en ese valor.

Meta: maximizar Peso

Valor óptimo = 0,533333

Tabla 4. Optimización

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Celulosa	0,5	1,0	1,0
Reishi	0,5	1,0	1,0

Fuente: Elaboración autor-

En la figura 12, se presenta el Diagrama de Pareto Estandarizada para peso, como se puede observar, el porcento de celulosa y de reishi son significativos, por lo cual dichos factores deben conservarse en el modelo matemático empírico.

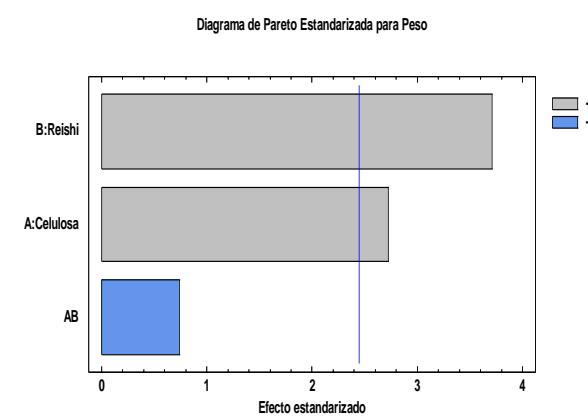


Figura 12. Pareto Estandarizada para Peso

En la figura 13, se presenta la Superficie de Respuesta Estimada para peso, en la cual se puede observar que el punto máximo logrado de peso equivalente a 0,6 g se logra con 1 % de celulosa y 1 % de reishi.

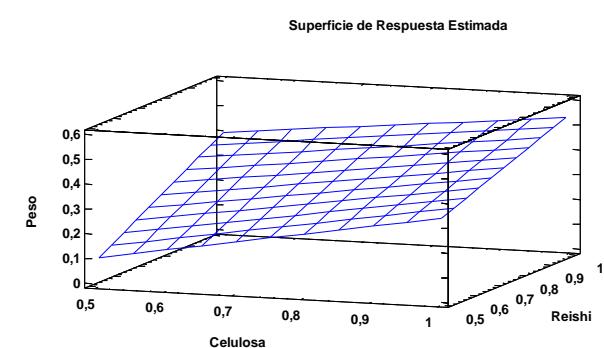


Figura 13. Superficie de respuesta estimada

Discusión

Los resultados obtenidos evidencian que tanto la concentración de celulosa como la proporción de biomasa de Reishi (*Ganoderma spp.*) influyen de manera significativa en la formación y masa final del papel producido a escala de laboratorio. El análisis estadístico confirmó que ambos factores presentan efectos principales estadísticamente significativos ($p < 0,05$), mientras que la interacción entre ellos no mostró un efecto relevante, lo que sugiere que cada componente contribuye de forma independiente al incremento del peso del material obtenido.

El efecto positivo de la celulosa sobre el peso del papel concuerda con lo reportado en estudios previos sobre biocompuestos miceliales, donde las fibras celulósicas actúan como refuerzo estructural y aportan estabilidad dimensional al material final (Sun et al., 2019; Appels et al., 2019). En este sentido, el incremento del contenido de celulosa favorece la retención de sólidos durante el proceso de formación de la hoja, lo que se refleja en mayores valores de peso, comportamiento también observado en otros sistemas híbridos micelio–celulosa (Jones et al., 2020; Girometta et al., 2019).

Por su parte, el efecto significativo de la concentración de Reishi indica que la biomasa fúngica cumple un rol activo en la cohesión del material, funcionando como una matriz de unión natural entre las partículas de celulosa. Este comportamiento es consistente con la literatura que describe al micelio como un aglutinante biológico capaz de generar redes tridimensionales continuas, responsables de la integridad estructural de los biocompuestos miceliales (Haneef et al., 2017; Manan et al., 2021). El mayor peso registrado en los tratamientos con 1 % de Reishi puede asociarse a una mayor densidad de hifas presentes en la matriz, lo que incrementa la cantidad de material retenido tras el filtrado y secado.

La ausencia de un efecto significativo de la interacción celulosa–Reishi sugiere que, dentro del rango de concentraciones evaluado, no se produce una sinergia negativa o limitante entre ambos componentes. Este resultado contrasta con algunos estudios donde se han observado interacciones dependientes del tipo de sustrato o del método de compactación (Islam et al., 2017; Attias et al., 2020). No obstante, también se alinea con investigaciones que indican que, a bajas concentraciones, el micelio y las fibras celulósicas pueden coexistir sin interferir mutuamente en la formación del material (Jones et al., 2017; Girometta et al., 2019).

El valor máximo de peso experimental (0,6 g), alcanzado con 1 % de celulosa y 1 % de Reishi, confirma la viabilidad del uso de *Ganoderma spp.* como componente estructural en materiales tipo papel. Resultados similares han sido reportados en estudios sobre papeles y láminas delgadas basadas en biomasa fúngica, donde el incremento del contenido de micelio se traduce en materiales más densos y estables (Sun et al., 2019; Lv et al., 2022). Sin embargo, a diferencia de trabajos centrados en otras especies fúngicas, el presente estudio aporta evidencia experimental específica para Reishi, especie escasamente explorada en este tipo de aplicaciones.

Desde una perspectiva de sostenibilidad, los resultados respaldan el potencial del papel a base de Reishi como una alternativa alineada con los principios de la economía circular. El uso de biomasa fúngica y celulosa como materias primas renovables se ajusta a los enfoques propuestos para el desarrollo de materiales de bajo impacto ambiental y alto valor agregado (Grimm & Wösten, 2018; Attias et al., 2020). No obstante, es importante señalar que el peso del papel, aunque adecuado como variable inicial de evaluación, no permite por sí solo caracterizar el desempeño funcional del material, siendo necesario incorporar en estudios futuros ensayos mecánicos, de absorción de humedad

y durabilidad, tal como recomiendan Girometta et al. (2019) y Jones et al. (2020).

En conjunto, los resultados obtenidos demuestran que el proceso desarrollado es técnicamente viable a escala de laboratorio y que la combinación de celulosa y biomasa de Reishi permite la formación de un material tipo papel con características reproducibles. Estos hallazgos contribuyen a ampliar el conocimiento sobre aplicaciones no convencionales de *Ganoderma spp.* y sientan las bases para futuras investigaciones orientadas al escalado del proceso y a la evaluación integral de las propiedades del material obtenido.

CONCLUSIONES

El desarrollo experimental permitió establecer un proceso técnicamente viable a escala de laboratorio para la elaboración de papel a partir del hongo Reishi (*Ganoderma spp.*), empleando celulosa microcristalina como material de soporte. El enfoque factorial aplicado evidenció que tanto la concentración de celulosa como la de biomasa fúngica influyen de manera significativa en la formación del material, confirmando la relevancia de ambos componentes en la obtención de un producto con características reproducibles.

El análisis estadístico y la optimización de la respuesta permitieron identificar condiciones operativas óptimas, alcanzándose un valor máximo estimado de peso del papel de 0,533333 g cuando se trabajó con concentraciones del 1 % de celulosa y 1 % de Reishi. Este resultado demuestra que la biomasa de *Ganoderma spp.* puede actuar eficazmente como matriz de unión en sistemas tipo papel, aportando cohesión estructural sin necesidad de aditivos sintéticos.

Asimismo, los resultados obtenidos confirman el potencial del Reishi como materia prima alternativa para el desarrollo de biomateriales, ampliando su espectro de aplicaciones más allá de los usos tradicionales en los ámbitos

nutracéutico y funcional. El proceso propuesto contribuye a la generación de conocimiento técnico sobre el uso de micelio fúngico en la fabricación de materiales sostenibles y se alinea con los principios de economía circular y valorización de biomasa renovable.

RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos, se recomienda avanzar hacia el escalado del proceso a nivel de banco y piloto, a fin de evaluar su reproducibilidad en condiciones operativas más cercanas a un entorno preindustrial. Este escalado permitiría analizar aspectos clave como la eficiencia del proceso, la uniformidad del material, el consumo energético y la estabilidad del papel obtenido.

Se sugiere complementar el estudio incorporando la caracterización física-mecánica del papel producido, incluyendo ensayos de resistencia a la tracción, flexión, absorción de humedad y estabilidad dimensional, con el fin de determinar su desempeño funcional frente a materiales convencionales. De igual manera, resulta pertinente evaluar la influencia de otros parámetros de proceso, como el método de secado, el grado de compactación y la granulometría de la biomasa fúngica.

Finalmente, se recomienda explorar el potencial del papel a base de Reishi en aplicaciones **funcionales y nutracéuticas**, considerando su posible uso en alimentos innovadores, envases biodegradables o productos con valor agregado para la salud. Estas líneas de investigación permitirían fortalecer la transferencia tecnológica del proceso desarrollado y ampliar su impacto en sectores productivos alineados con la sostenibilidad.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente, por su cooperación en la realización de esta investigación

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Appels, F. V. W., Camere, S., Montalti, M., Karana, E., Jansen, K. M. B., Dijksterhuis, J., Krijgsheld, P., & Wösten, H. A. B. (2019). Fabrication factors influencing mechanical, moisture- and water-related properties of mycelium-based composites. *Materials & Design*, 161, 64–71. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.11.027>
2. Attias, N., Danai, O., Abitbol, T., Tarazi, E., & Ezra, O. (2020). Mycelium bio-composites in industrial design and architecture: Comparative review and experimental analysis. *Journal of Cleaner Production*, 246, 119037. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119037>
3. Bruscato, C., Rosa, L., Vimercati, L., Cattaneo, L., Savoldelli, C., & Girometta, C. E. (2019). Production of mycelium-based biofoams using agro-industrial residues as substrates. *Journal of Cleaner Production*, 221, 599–607. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.256>
4. Girometta, C., Picco, A. M., Baiguera, R. M., Dondi, D., Babbini, S., Cartabia, M., Pellegrini, M., & Savino, E. (2019). Physico-mechanical and thermodynamic properties of mycelium-based biocomposites: A review. *Sustainability*, 11(1), 281. <https://doi.org/10.3390/su11010281>
5. Grimm, D., & Wösten, H. A. B. (2018). Mushroom cultivation in the circular economy. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(18), 7795–7803. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9226-8>
6. Haneef, M., Ceseracciu, L., Canale, C., Bayer, I. S., Heredia-Guerrero, J. A., & Athanassiou, A. (2017). Advanced materials from fungal mycelium: Fabrication and tuning of physical properties. *Scientific Reports*, 7, 41292. <https://doi.org/10.1038/srep41292>
7. Islam, M. R., Tudry, G., Bucinell, R., Schadler, L., & Picu, R. C. (2017). Morphology and mechanics of fungal mycelium. *Scientific Reports*, 7, 13070. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13295-2>
8. Jones, M., Bismarck, A., John, S., & Mautner, A. (2017). Mycelium composites: A review of engineering characteristics and growth kinetics. *Journal of Bionanoscience*, 11(4), 241–257. <https://doi.org/10.1166/jbns.2017.1440>
9. Jones, M., Mautner, A., Luenco, S., Bismarck, A., & John, S. (2020). Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review. *Materials & Design*, 187, 108397. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108397>
10. Lv, S., Yu, H., Li, F., Sun, Y., & Chen, G. (2022). Edible *Pleurotus eryngii* papery food prepared by papermaking process. *Foods*, 11(21), 3514. <https://doi.org/10.3390/foods11213514>
11. Manan, S., Ullah, M. W., Ul-Islam, M., Atta, O. M., & Yang, G. (2021). Synthesis and applications of fungal mycelium-based functional materials. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 6(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2021.01.001>
12. Sun, W., Tajvidi, M., Hunt, C. G., McIntyre, G., & Gardner, D. J. (2019). Fully bio-based hybrid composites made of wood, fungal mycelium and cellulose nanofibrils. *Scientific Reports*, 9, 3766. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40442-8>.

Citar artículo: Viveros-Mina, H. S., Pantoja-Guzmán, A. J., Lara-Arellano, M., Coello-Vargas, M., Carrera-Farinango, K., Pineda-Insuasti, J., Pineda-Soto, A. (2025). Desarrollo de un proceso a escala de laboratorio para la producción de papel a partir del hongo reishi (*Ganoderma spp.*). Biorrefinería 8 (1). Obtenido de <https://cebaecuador.org/publicaciones/revista-biorrefineria/>

Información de revisión por pares: Revista Biorrefinería agradece a los revisores anónimos por su contribución a la revisión por pares de este trabajo utilizando <https://reviewerlocator.webofscience.com/>.

Acceso abierto: Todos los artículos publicados por Revista Biorrefinería son accesibles en línea de forma gratuita y permanente inmediatamente después de su publicación, sin cargos de suscripción ni barreras de registro.

Nota del Editor: Revista Biorrefinería se mantiene neutral con respecto a reclamos jurisdiccionales en mapas publicados y afiliaciones institucionales.

Copyright: © 2024 por los autores. Presentado para posible publicación en acceso abierto bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



• CORAZÓN Y PIEL

- Salud cardiovascular.
- Salud ósea
- Salud inmunitaria

CONTACTO:

DR. JULIO PINEDA INSUASTI, PHD.
info.biodiversity@gmail.com,
Cel. +593 99 758 9267, Ibarra-Ecuador

SCIENTIFIC PARTNERS:

<https://cebaecuador.org/>

31/12/2025



PRODUCCIÓN IN VITRO DE MORTIÑO (*Vaccinium meridionale*): UNA REVISIÓN IN VITRO PRODUCTION OF MORTIÑO (*Vaccinium meridionale*): A REVIEW

Karen Nohemí Carrera-Farinango¹, Verónica Marisol Moreta-Méndez¹, Julio Pineda-Insuasti³, Alejandro Pineda-Soto^{2,3}, Melany Coello-Vargas⁴

¹Instituto Tecnológico Superior 17 de Julio, Urcuquí, Ecuador.

²Universidad de Investigación de Tecnología Experimental-YACHAY). Urcuquí, Ecuador.

³Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente-CEBA. Ibarra, Ecuador.

⁴Universidad Técnica del Norte-UTN. Ibarra, Ecuador.

Correo correspondencia: Karen.carrera305@ist17dejulio.edu.ec

Recibido: 01/12/2025

Aceptado: 20/12/2025

RESUMEN

La inseguridad alimentaria en la región andina sugiere el aprovechamiento biotecnológico de especies nativas como el mortiño (*Vaccinium meridionale* Swartz), reconocido por su excepcional valor nutricional. Esta investigación analiza, mediante una revisión sistemática, los protocolos de micropropagación *in vitro* como estrategia de conservación y producción masiva. Los resultados identifican medios eficientes para el desarrollo vegetativo y reportan protocolos de desinfección con hasta un 100 % de éxito. Asimismo, se establece que la sinergia entre fitohormonas y carbón activado es determinante para neutralizar la oxidación del tejido. Se concluye que la estandarización de estos factores es fundamental para transitar de la recolección silvestre a una producción biotecnológica sostenible que garantice la seguridad alimentaria regional.

Palabras clave *Vaccinium meridionale*, seguridad alimentaria, micropropagación *in vitro*, fitohormonas.

ABSTRACT

Food insecurity in the Andean region demands the biotechnological utilization of native species such as mortiño (*Vaccinium meridionale* Swartz), renowned for its exceptional nutritional value. Through a systematic review, this research analyzes *in vitro* micropropagation protocols as a strategy for conservation and mass production. The results identify efficient culture media for vegetative development and report disinfection protocols with up to 100 % success. Furthermore, it is established that the synergy between phytohormones and activated charcoal is decisive in neutralizing tissue oxidation. It is concluded that the standardization of these factors is essential to transition from wild harvesting to sustainable biotechnological production that guarantees regional food security.

Keywords: *Vaccinium meridionale*, food security, systematic review, *in vitro* micropropagation, phytohormones.

INTRODUCCIÓN

Es de considerar que la reducción del hambre es un problema que no se corresponde solo a ingresos suficientes, incluye otros aspectos y por ellos debe afrontarse multidimensionalmente. Uno de ellos es lo

relacionado a la falta de seguridad alimentaria que se puede traducir en la escasez de alimentos de las personas (Ramirez *et al.*, 2020)

El seminario web de (AMIS, 2025) examinó por qué la inflación alimentaria ha afectado desproporcionadamente a los países de bajos ingresos, donde la depreciación monetaria ha amplificado el impacto del aumento de los precios mundiales, alejando aún más las dietas nutritivas del alcance de las poblaciones vulnerables.

La (OMS, 2025) declaró que entre 2023 y 2024, la prevalencia mundial de la inseguridad alimentaria (moderada o grave) descendió ligeramente, del 28,4 % al 28,0 %, lo que equivale a 2300 millones de personas. Esto supone 335 millones más que en 2019, antes de la pandemia de la enfermedad por coronavirus (COVID-19) y 683 millones más que en 2015.

La inseguridad alimentaria en América Latina y el Caribe (ALC) se ha convertido en un problema estructural agravado por crisis recientes, como la pandemia del COVID-19, el conflicto entre Rusia y Ucrania, y por el actual contexto de cambio climático. Desde entonces se produjo un aumento significativo en el número de personas que enfrentan hambre e inseguridad alimentaria. En 2023 el 38 % de la población de la región padeció inseguridad alimentaria (lo que supone un total de 247,8 millones de personas) y el 7 % (43 millones de personas) enfrentó hambre (FAO) (BID, 2024)

En América Latina, particularmente en la región Andina, los cambios climáticos afectan la productividad de cultivos, exacerbando la inseguridad alimentaria y nutricional, con consecuencias para más de 3,5 millones de personas (Portero Pérez & Pérez Jerez, 2025).

La problemática de la seguridad alimentaria en Ecuador se manifiesta en varios niveles, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), cerca del 23 % de los hogares ecuatorianos experimentan algún grado de inseguridad alimentaria (FAO, 2020) (Guamán-Rivera & Flores-Mancheno, 2023)

Ecuador tiene un potencial agrícola significativo, con suelos aptos para diversos cultivos, sin embargo, enfrenta problemas críticos como la degradación de la tierra, el uso insostenible de recursos naturales y la falta de acceso a tecnologías avanzadas y prácticas agrícolas sostenibles (MAG, 2021). Con su diversidad altitudinal en la sierra andina, es altamente sensible: fenómenos como El Niño y el retroceso de glaciares reducen el suministro de agua, impactando cuencas que abastecen ciudades como Quito y comunidades rurales. Estos efectos comprometen la seguridad alimentaria, disminuyendo la disponibilidad y estabilidad de los alimentos e incrementando los costos de producción (Portero Pérez, 2025).

La seguridad alimentaria mundial requiere la producción intensiva de alimentos, cuya explotación del campo causa estragos a la ecología. La investigación en Biotecnología Vegetal va encaminada al generar tecnologías para la explotación sustentable del ambiente (Ramos Díaz *et al.*, 2021)

Una de las frutas más demandadas en nutrición es el mortiño debido a que ha demostrado poseer un alto valor nutricional, destacándose por su rica composición en polifenoles, proantocianidinas, antocianinas y flavonoides, conocidos por sus propiedades antioxidantes. Además, la fruta es una fuente considerable de azúcares naturales, fibra, lípidos, minerales y vitaminas, elementos esenciales para una dieta equilibrada (Paredes Nuñez, 2024).

Distribución geográfica del mortiño (*Vaccinium meridionale*)

En Ecuador, el mortiño se encuentra distribuido como una planta silvestre, residiendo en las zonas altas de las cordilleras, desde los páramos del Ángel en la provincia de Carchi hasta Tambo en la provincia de Cañar. En estos ámbitos, el mortiño se considera endémico y ha sido partícipe de la vida

cotidiana de los habitantes locales desde tiempos inmemorables (Oliva Burbano *et al.*, 2024)

Dentro de la familia *Ericaceae*, la estructura floral está manifestada en racimos que contienen entre 6 y 10 flores. Dichas flores presentan dimensiones aproximadas de 8 mm de longitud, de forma cilíndrica que exhibe entre 4 y 5 dientes, y que puede variar con las tonalidades entre el blanco y el rosado rojizo (figura 1). Con respecto a los frutos, estos se caracterizan por ser redondeados y llegar a tener un diámetro de hasta 8 mm. Tienen una consistencia carnosa y se presentan en tonos que van desde el negro-azul hasta el morado, cubiertos por una capa cerosa (Coba Santamaría *et al.*, 2012).



Figura 1. *Vaccinium meridionale*

Fuente: Tomado de Plantas de Colombia 2014

Clasificación Taxonómica del Mortiño

(Guerrero Cazar, 2019) afirma que el mortiño se clasifica taxonómicamente de la siguiente forma:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Ericales

Familia: Ericaceae

Subfamilia: Vacciniodes

Género: Vaccinium

Especie: V. Meridionale

Reproducción: Semillas,yemas

Distribución: Ecosistemas del páramo, Andino y Ecuador.

Inflorescencia: Racimo de 6 a 8 flores.

Fruto: En forma de baya

Color de la baya: Azul, negruzca

Forma de las hojas: Coriáceas, ovaladas

Mes de floración: Septiembre, octubre, noviembre

Valor nutricional

Tabla 1 Contenido nutricional del mortiño a una porción de 142 gr

Componentes	Contenido
Calorías	100 kcal
Proteínas	0.97 g
Grasa Total	1.0 g
Carbohidratos	20.5 g
Zinc	0.16 mg
Calcio	9.0 mg
Hierro	0.24 mg
Magnesio	7.0 mg
Fósforo	15 mg
Potasio	129 mg
Sodio	9 mg
Cobre	0.09 mg
Vitamina C	18.9 mg
Tiamina	0.07 mg
Riboflavina	0.07 mg
Niacina	0.25 mg
A. Pantoténico	0.13 mg
Vitamina B6	0.05 mg
Folacina	9.3 mg
Vitamina A	145.0 IU

Nota. Idrovo Núñez, 2013.

Morfología del mortiño

Para identificar la morfología de la especie *Vaccinium meridionale*, se debe tomar en cuenta distintas variables tales como el tallo, la flor, la hoja y la semilla, mismas que son utilizadas para definir su fenotipo. Respecto a la apariencia de la hoja, el 93,3 % de las plantas de mortiño muestran hojas con una morfología lanceolada – ovalada. Además, la pigmentación de las hojas puede variar según su edad, debido a que las hojas más maduras por lo regular tienden a presentar una pigmentación más intensa en comparación con las hojas jóvenes como se observa en la

figura 2, que a diferencia de las anteriores estas son menos (Chamorro & Nates-Parra, 2015).



Figura 2. Diferencia de pigmentación entre hojas jóvenes y adultas

Fuente: Autor 2024

Fruto

En la figura 3, se presenta el fruto del mortiño es una baya de 4 a 8 mm de diámetro con una tonalidad azulado y cuando entran a su etapa de madurez son jugosos, mientras madura el fruto este se torna anaranjado y rojo lo que demuestra presencia de carotenoides, por último, cuando llegue a la madurez del fruto adquiere un color morado oscuro (Rivera Perez, 2019).

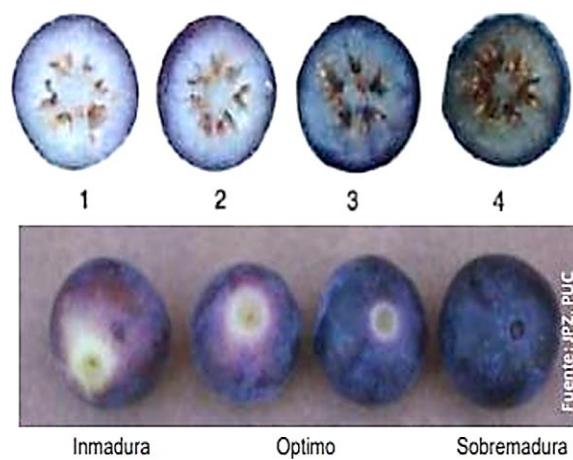


Figura 3. Estado de maduración de *Vaccinium meridionale*

Fuente: Tomado de Maldonado 2022

Ecología

El mortiño es una especie autóctona que ha prosperado en los páramos de Ecuador y ha mantenido su estado silvestre a lo largo del tiempo. Además, los parámetros actuales de plantas que se encuentran en estado silvestre o semi domesticadas podrían adquirir una relevancia aún mayor en el contexto de la domesticación. La indagación y el entendimiento de las optimizaciones de la domesticación del mortiño no solo podrían beneficiar la producción de alimentos, sino también impulsar iniciativas de conservación y uso sostenible de la biodiversidad en los páramos ecuatorianos (Zuñiga Freire, 2017).

En los últimos años se han realizado importantes esfuerzos en Colombia y Ecuador para encontrar nuevas posibilidades para la producción de pequeños cultivos frutales derivados de especies nativas leñosas de las regiones andinas. En particular, algunas plantas de Ecuador de la familia *Ericaceae* han sido estudiadas por sus propiedades antioxidantes, que juegan un papel importante en la prevención del envejecimiento y enfermedades degenerativas. Este enfoque en las especies nativas refleja el creciente interés en el uso sostenible de los recursos locales para promover la salud y la diversidad de los cultivos andinos (Jiménez *et al.*, 2021). Aunque el cultivo está fácilmente disponible para los pequeños productores a bajo costo, la falta de un sistema de propagación adecuado es uno de los problemas para promover su desarrollo comercial.

Fenología

El mortiño florece dos veces al año; de febrero a mayo y de agosto a noviembre. La fructificación se presenta de abril a junio y de septiembre a diciembre como se describe en la figura 4. Se trata del estudio de los eventos que se desarrollan en el ciclo de vida de las

plantas. El desarrollo fenológico de la etapa reproductiva del mortiño desde yema latente hasta madurez fisiológica del fruto toma entre 21 y 26 semanas (Rivera, 2019). A continuación, se puede observar la fructificación y florecimiento en la planta del mortiño durante el año.

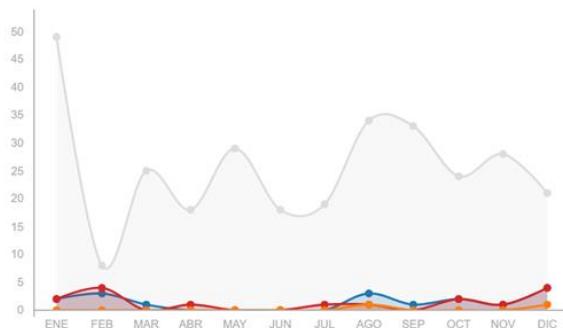


Figura 4. Fenología de *Vaccinium meridionale*, indica los estados en el año de florecimiento (rojo) fructificación (azul) y con yemas florales (amarillo).

Fuente. Tomado de iNaturalistEc, 2024

En la Figura 5 se detallan las etapas de la fenología del mortiño, permitiendo una mejor visualización de su ciclo biológico.



Figura 5. Ciclo fenológico del mortiño (*Vaccinium meridionale* Swartz) en el ecosistema altoandino.

Fuente. Autor 2025

Cultivo *in vitro*

El cultivo de tejidos y células vegetales (CTV) también conocido como cultivo *in vitro* tiene su base en la teoría celular de Schwann y Schleiden en 1838 y a las ideas del Haberlandt, a principios del siglo XX. La teoría celular describe a la célula como la unidad biológica más pequeña, a la que se le puede considerar totipotente lo que significa que a partir de

cualquier célula vegetal se puede regenerar una planta completa (Javier, 2018)

El CTV se define como el cultivo sobre un medio nutritivo, en condiciones estériles de plantas, semillas, embriones, órganos, tejidos, células y protoplastos de plantas superiores. El Cultivo de Tejidos Vegetales (CTV) permite la propagación en condiciones estériles de diversos materiales como semillas, embriones, meristemos y segmentos nodales, empleando técnicas como **morfogénesis *in vitro*** (organogénesis y embriogénesis somática) para la regeneración de órganos adventicios y el mejoramiento genético. Mientras que el **cultivo de semillas y embriones** facilita el rescate de híbridos, rompe la latencia y acelera los ciclos reproductivos (especialmente en especies como las orquídeas), el **cultivo de meristemos** se consolida como la herramienta clave para la limpieza de virus, hongos y bacterias, garantizando la estabilidad genética y la conservación de germoplasma. Por su parte, el uso de **segmentos nodales y ápices de vástago** optimiza la propagación vegetativa frente a los métodos tradicionales, permitiendo la obtención masiva de clones uniformes y rentables que evitan la variabilidad genética no deseada (Ramos *et al.*, 2021).

A pesar de que Gottlieb Haberlandt fue reconocido como el precursor del cultivo de células y tejidos vegetales en 1902, al fundar la teoría de la totipotencia en la célula vegetal. Si bien su primer intento de cultivar células ciliadas a partir del tejido mesófilo de la hoja de una planta monocotiledónea fracasó y fue debido a la ausencia de reguladores de crecimiento necesarios para la división celular (Coronel Montesdeoca *et al.*, 2025)

Los **reguladores de crecimiento** son fitohormonas que pueden determinar el crecimiento de las plantas, el desarrollo de las raíces, tallos, hojas, frutos y semillas. Estos reguladores contienen materias activas de origen natural o sintetizadas químicamente

que poseen una función reguladora durante el desarrollo de las plantas. El uso correcto de los reguladores de crecimiento manifiesta un producto final mejor que conlleva a un mayor valor de mercado de las plantas. Existen cuatro tipos diferentes de reguladores de crecimiento con distintos efectos sobre el cultivo: estimulación de floración, regulación de crecimiento, enraizamiento y maduración de frutos (Tadeu Dias, 2019).

Cultivo *in vitro* del mortiño

La mayoría de las bayas comerciales de género *Vaccinium* se propagan clonalmente mediante esquejes de tallo o utilizando técnicas *in vitro* (Llirisaca-Contreras *et al.*, 2022).

Desde una perspectiva de optimización de medios y protocolos de establecimiento, Dueñas, (2017) sostiene que el medio WPM es el más efectivo para especies leñosas, garantizando plántulas vigorosas, verdes y con dos a cuatro hojas. Para la **germinación de semillas**, establece una temperatura de 18 °C para replicar el clima de páramo. Respecto al material adulto, el estudio determinó que el mejor protocolo de desinfección para brotes consiste en una limpieza previa, seguida de alcohol al 70 % (1 min) y NaOCl al 2 % (20 min), logrando eliminar la contaminación, aunque sin observar regeneración posterior. Por último, la inducción de callos en hojas no fue exitosa debido a la edad del explante, lo que derivó en la oxidación y muerte del tejido.

En cuanto al desarrollo biotecnológico y la evaluación hormonal, Toapanta (2025) expone que las limitaciones para el uso productivo del mortiño radican en su baja germinación y lento crecimiento. Para abordar esto, evaluó la multiplicación *in vitro* de *Vaccinium floribundum* utilizando como explantes **segmentos nódulos**, los cuales fueron cultivados en medio WPM suplementado con combinaciones de IBA, BAP y Ga3. Tras dos meses de cultivo a 22 °C, los resultados demostraron que el uso de estos segmentos permitió alcanzar alturas de hasta 2,25 cm, un

promedio de 4,33 brotes y el desarrollo de hasta 47 hojas por cada nudo sembrado. Asimismo, se observó que diversas concentraciones hormonales promovieron la formación de callos en la base de estos segmentos, confirmando la viabilidad de este tipo de explante para la propagación masiva. Respecto a las vías de regeneración indirecta, Meneses *et al.*, (2022) evaluaron la callogénesis como alternativa de propagación *in vitro* del mortiño, utilizando **tejido foliar** de vitroplantas como explante. La inducción se realizó comparando los medios MS (½) y WPM, suplementados con citoquininas como Zeatina, Trans-zeatina y Tidiazurón (TDZ). Los resultados destacaron al medio WPM con 1,5 mg/L de TDZ como el tratamiento más efectivo, logrando una regeneración de brotes adventicios del 65% bajo fotoperiodo (16 h luz) y alcanzando un 81,7% en condiciones de total oscuridad. Esto demuestra que la combinación de TDZ y ausencia de luz potencia significativamente la respuesta morfogénica del tejido foliar en esta especie.

Desde el enfoque de la asepsia y el establecimiento de protocolos, Llirisaca (2017) propone una estrategia de desinfección química y control fúngico riguroso utilizando esquejes de yemas axilares (3 a 5 cm) como explantes. El protocolo emplea una combinación de dióxido de cloro (2%), etanol (70 %) e hipoclorito de sodio (2%), reforzada con el uso de carbendazim (1,0%) como barrera contra patógenos internos. Mediante esta metodología, se logró un 100% de desinfección del material vegetal. El establecimiento definitivo se realizó en medio WPM con un pH de 5,9, donde el uso de un balance hormonal de IAA (Ácido Indolacético) y BAP (6-Bencilaminopurina) (10 µmol cada uno) resultó ser altamente efectivo, alcanzando un factor de multiplicación de 10,33 brotes por explante.

Desde el análisis de la regeneración multivariable, Huaman (2024) investigó la sinergia entre los medios basales WPM, MS y

DKW junto con las citoquininas 2iP, mT y TDZ. Utilizando **tallos de plantas adultas** como explantes, el estudio determinó que la combinación del medio DKW con 2iP (2,5 μ M) fue la más eficiente, logrando un promedio de 9,17 brotes con una longitud de 2,53 cm y los niveles más altos de clorofila. Asimismo, se observó que, independientemente del medio basal, el uso de TDZ indujo predominantemente la formación de callos en lugar de brotes directos, confirmando la influencia crítica del tipo de regulador en la respuesta morfológica de la especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se desarrolló bajo un enfoque de revisión sistemática exploratoria, siguiendo los lineamientos generales del modelo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), con adaptaciones para el análisis temático de literatura científica y técnica relacionada con cultivo *in vitro* de mortiño. La identificación de fuentes se realizó mediante búsquedas exhaustivas en las bases de datos Google Scholar y ScienceDirect, empleando como criterios de selección los términos "cultivo *in vitro*", "inseguridad alimentaria", "Vaccinium meridionale", "Vaccinium floribundum", "mortiño", "callogénesis" y "reguladores de crecimiento". Para asegurar la calidad de la información, se aplicaron filtros de búsqueda que restringieron los resultados, documentos en idiomas español e inglés, y estudios de fuente primaria que presentaran metodologías experimentales detalladas sobre la micropropagación de la especie.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La presente investigación revela una marcada convergencia en la literatura respecto a la optimización del soporte mineral para el género *Vaccinium*. Dueñas (2017), Vilca (2025), Meneses (2022) y Llirisaca (2017) coinciden en que el medio Woody Plant Medium (WPM) es la base estándar más efectiva para las especies leñosas a las altas concentraciones de sales. No obstante, surge

una discrepancia técnica significativa con los hallazgos de Huaman (2024), quien sostiene que el medio DKW (Driver and Kuniyuki Walnut) supera al WPM en términos de tasa de multiplicación (9,17 brotes) y calidad fisiológica, medida por una concentración de clorofila de 40,92 μ g/ml. Esta divergencia sugiere que, aunque el WPM es adecuado para el establecimiento inicial, el DKW ofrece un balance iónico superior para la fase de proliferación intensiva.

En cuanto a la vía de regeneración, la elección de la callogénesis frente a la organogénesis directa responde a la necesidad de mitigar la limitada capacidad de enraizamiento y el lento crecimiento de los esquejes convencionales mencionados por Vilca (2025).

Meneses (2022) y Huaman (2024) coinciden en que el uso de Thidiazuron (TDZ) es la estrategia más usada para inducir esta vía. Sin embargo, los resultados de Dueñas (2017) presentan una contradicción crítica: el reporte de muerte total por oxidación en hojas de plantas adultas. Para mitigar este fenómeno de pardeamiento, Dueñas (2017) sugiere como solución técnica la incorporación de carbón activado directamente en el medio de cultivo, permitiendo la remoción de compuestos fenólicos y disminuyendo el deterioro del explante. Esta recomendación es fundamental, ya que explica por qué otros autores, como Llirisaca (2017), logran el éxito mediante el control químico (carbendazim), mientras que el enfoque de Dueñas se centra en la purificación del medio para facilitar la supervivencia del tejido.

Respecto a la fitosanidad, se identifica un avance progresivo en los protocolos de asepsia. Mientras Dueñas (2017) establece una base eficaz con NaOCl al 2 % y alcohol, Llirisaca (2017) logra optimizar el proceso hacia un 100% de desinfección mediante la incorporación de dióxido de cloro y el fungicida sistémico carbendazim. Esta mejora en la metodología de desinfección, sumada a

la adición de agentes adsorbentes como el carbón activado propuesto por Dueñas, resulta determinante para asegurar la viabilidad de la callogénesis, ya que la liberación de fenoles y la presencia de contaminantes endógenos son las principales barreras en el cultivo de *Vaccinium*.

Finalmente, la discusión sobre los reguladores de crecimiento revela una transición desde las citoquininas convencionales hacia formulaciones de mayor actividad. Vilca (2025) y Llirisaca (2017) fundamentan sus protocolos en el uso de BAP, pero Huaman (2024) demuestra que el 2iP (2,5 μ M) induce una respuesta morfogénica superior. Este hallazgo es crucial para los objetivos de seguridad alimentaria, pues la sinergia entre medios basales optimizados, el control de la oxidación mediante carbón activado y el uso de citoquininas de alta eficiencia, permite reducir los tiempos de producción *in vitro*, facilitando la conservación de una especie con altas limitantes de propagación natural como es el mortiño.

En una investigación sobre la propagación *in vitro* del mortiño, Carrera y Moreta lograron establecer protocolos efectivos para la desinfección y el control de la oxidación mediante el uso de antioxidantes y carbón activado; sin embargo, la fase de callogénesis no fue exitosa. Este resultado negativo se atribuyó principalmente a concentraciones inadecuadas de reguladores de crecimiento y a un tiempo de inducción insuficiente.

CONCLUSIONES

Mediante la revisión sistemática, se concluye que la viabilidad del cultivo *in vitro* como herramienta de propagación de mortiño depende de tres factores determinantes:

1. **Optimización del medio de cultivo:** Aunque el medio WPM es el estándar para especies leñosas, la evidencia técnica señala que el medio DKW ofrece un balance iónico superior, favoreciendo una mayor

concentración de clorofila y mejores tasas de proliferación.

2. **Manejo de la Necrosis por Oxidación de Tejidos:** La oxidación de los explantes es el mayor obstáculo biotecnológico. El uso de agentes oxidantes y fungicidas sistémicos (como el carbendazim) garantiza la asepsia, pero la supervivencia del tejido depende críticamente de la incorporación de carbón activado para adsorber los exudados fenólicos que inhiben el desarrollo.
3. **Especificidad de los Reguladores de Crecimiento:** La transición de una regeneración directa a una callogénesis exitosa no ha sido estandarizada plenamente.

La transición de la recolección silvestre a una producción biotecnológica sostenible es factible únicamente mediante la estandarización de estos protocolos. Solo así se podrá asegurar la disponibilidad masiva de este recurso, mitigando el impacto ambiental en los ecosistemas de páramo y fortaleciendo la soberanía alimentaria regional mediante tecnologías de explotación sustentable.

AGRADECIMIENTO

A las instituciones cooperantes

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agricultural Market Information System. (20 de octubre de 2025). Navigating the food security nexus: Commodity prices, inflation, and exchange rates [Seminario web]. <https://www.amis-outlook.org/list-details/events/udgv37gfngl153230zo2zy24>
2. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (6 de marzo de 2024). Seguridad alimentaria en América Latina y el Caribe. <https://www.iadb.org/es/noticias/seguridad-alimentaria-en-america-latina-y-el-caribe>
3. Chamorro, F. J., & Nates-Parra, G. (2015). Biología floral y reproductiva de *Vaccinium meridionale* (Ericaceae) en los Andes orientales de Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 63(4).
4. Coba Santamaría, P., Coronel, D., Verdugo, K., Paredes, M. F., Yugsi, E., & Huachi, L. (2012). Estudio etnobotánico del mortiño (*Vaccinium floribundum*) como alimento ancestral y potencial alimento funcional. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 16(2), 5-13. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=476047400002>
5. Coronel Montesdeoca, N. T., Jácome Sarchi, G. A., Martínez, R., & Hernández, F. (2025). In Vitro Techniques to Domesticate Mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth) and Other *Vaccinium* Species: A Review. *Plants*, 14(11), 1596. <https://doi.org/10.3390/plants14111596>
6. Dueñas Mendoza, F. P. (2017). Establecimiento in vitro del frutal andino mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth) para la aplicación de agrotecnologías de multiplicación acelerada. Quito, Ecuador.
7. Guamán-Rivera, S. A., & Flores-Mancheno, C. I. (2023). Seguridad Alimentaria y Producción Agrícola Sostenible en Ecuador. *Zambos Revista Científica*, 2(1), 1-15. <https://revistazambos.utelvtsd.edu.ec>
8. Guerrero Cazar, A. E. (2019). Caracterización de compuestos bioactivos, físicos y químicos del fruto de mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth) en la sierra del Ecuador para uso agroindustrial.
9. Huaman Huaman, E. (2024). Multiplicación In Vitro de *Vaccinium meridionale* Swartz: efecto de los medios basales y las citoquininas. Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/204300>
10. Idrovo Núñez, V. N. (2013). Investigación del mortiño, beneficios nutricionales y su aplicación a la repostería [Tesis de grado, Universidad Tecnológica Equinoccial].
11. Javier, E. (2018). Técnicas de Cultivo In Vitro en Biotecnología Vegetal: Estudio y Aplicaciones.
12. Jiménez, M. M., Iturralde, G. A., Kuethe, J. R., Lapo-González, N., Baquero, L. E., Vélez-Abarca, L., & Garzón-Suárez, H. X. (2024). *Ceratostema gualaquizensis* (Ericaceae: Vaccinieae), a new species from Ecuador known from previously misidentified specimens and new insights on *Ceratostema lourciana*. *Phytotaxa*, 671(2), 113–127. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.671.2.1>
13. Llirisaca Contreras, S. A. (2017). Cultivo in vitro y bioprospección de frutos y hojas del *Vaccinium Floribundum* Kunth.
14. Llirisaca-Contreras, S. A., León-Tamariz, F., Manzano-Santana, P., Ruales, J., Naranjo-Morán, J., Serrano-Mena, L., Chica-Martínez, E., & Cevallos-Cevallos, J. M. (2022). Mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth): An Underutilized Superplant from the Andes. *Horticulturae*, 8(5), 358. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8050358>
15. Meneses Montesdeoca, L. S., Egas Castro, F. X., Vásquez Castillo, W., & Morillo Velasteguí, L. E. (s.f.). In vitro regeneration of Mortiño plants (*Vaccinium floribundum* Kunth) by induced calllogenesis. *Biotecnología Aplicada*.
16. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2021). Informe de gestión del sector agrícola 2020-2021. Quito, Ecuador.

17. Oliva Burbano, J. N., Luna-Cabrera, G. C., Delgado-Vargas, I. A., & Usama Hidalgo, E. Y. (2024). Conocimiento etnobotánico, distribución potencial y geográfica del mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth) en el páramo altoandino, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*. <https://doi.org/10.15517/am.2024.56589>
18. Organización Mundial de la Salud (OMS). (28 de julio de 2025). Global hunger declines, but rises in Africa and Western Asia. <https://www.who.int/es/news/item/28-07-2025-global-hunger-declines-but-rises-in-africa-and-western-asia-un-report>
19. Paredes Núñez, P. I. (2024). Caracterización de los valores nutricionales del mortiño (*Vaccinium meridionale*) y su uso en técnicas gastronómicas.
20. Portero Pérez, N. I., & Pérez Jerez, Y. I. (2025). Efectos del Cambio Climático en la Seguridad Alimentaria: Una Revisión Sistemática de la Vulnerabilidad de los Cultivos Básicos en la Región Andina del Ecuador. *Revista Multidisciplinaria ASCE Magazine*, 4(4). <https://doi.org/10.70577/asce.v4i4.510>
21. Ramirez, R. F., Vargas, P. L., & Cardenas, O. S. (2020). La seguridad alimentaria: una revisión sistemática con análisis no convencional. *Revista Espacios*, 41(45), Art. 25. <https://doi.org/10.48082/espacios-a20v41n45p25>
22. Ramos Díaz, A., Cano Sosa, J. S., López Puc, G., & Uc Várguez, A. (2021). Alcances y perspectivas del área de biotecnología vegetal del CIATEJ en el sureste de México.
23. Rivera Pérez, A. E. (2019). Estudio de la fenología floral y reproductiva del mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth) para aprovechamiento del fruto en el Ecuador.
24. Tadeu Dias, J. P. (2019). Reguladores de crecimiento vegetal en horticultura: prácticas y perspectivas. *Biotecnología Vegetal*, 19(1).
25. Toapanta Vilca, L. M. (2025). Evaluación de diferentes medios de cultivo con la aplicación de tres hormonas: ácido indolbutírico (IBA), 6-bencilaminopurina (BAP) y ácido giberélico (GA3) en la fase de multiplicación in vitro del mortiño (*Vaccinium floribundum*) [Proyecto de investigación]. Latacunga, Ecuador.
26. Zúñiga Freire, M. A. (2017). Caracterización del hábitat de crecimiento del mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth) en el páramo de Cotacachi, Ecuador

Como citar: Carrera-Farinango, K. N., Moreta-Méndez, V. M., Pineda-Insuasti, J., Pineda-Soto, A., & Coello-Vargas, M. (2025). Producción in vitro de mortiño (*Vaccinium meridionale*): una revisión. *Biorrefinería*, 8 (1). Obtenido de <https://cebaecuador.org/publicaciones/revista-biorrefineria/>

Información de revisión por pares: Revista Biorrefinería agradece a los revisores anónimos por su contribución a la revisión por pares de este trabajo utilizando <https://reviewerlocator.webofscience.com/>.

Acceso abierto: Todos los artículos publicados por Revista Biorrefinería son accesibles en línea de forma gratuita y permanente inmediatamente después de su publicación, sin cargos de suscripción ni barreras de registro.

Nota del Editor: Revista Biorrefinería se mantiene neutral con respecto a reclamos jurisdiccionales en mapas publicados y afiliaciones institucionales.

Copyright: © 2024 por los autores. Presentado para posible publicación en acceso abierto bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

GUÍA DE AUTORES -BIORREFINERÍA

TÍTULO EN ESPAÑOL ENGLISH TITLE

Nombre y apellidos¹, Nombre y apellidos² (subrayar el responsable de la correspondencia)

¹Institución, ciudad, País

²Institución, ciudad, País

Autor para correspondencia:

Recibido: *día/mes/año* (Esta fecha la colocará el Consejo Editorial)

Aceptado: *día/mes/año* (Esta fecha la colocará el Consejo Editorial)

RESUMEN

Exponga el problema de investigación en una sola oración, si es posible; el método experimental, incluyendo los mecanismos, procedimientos de recopilación de datos, nombres de las pruebas; los hallazgos, incluyendo los niveles de significación estadística; y las conclusiones, implicaciones, recomendaciones y/o aplicaciones. Máximo 120 palabras.

Palabras clave: no más de cinco, en orden alfabético, no incluidas en el título del trabajo. Debe basarse en tesauros de gran impacto como el oficial de la UNESCO, SKOS, CAB, EUROVOC, National Agricultural Library

(USDA), AGROVOC, MeSH, entre otros específicos del área de estudio.

ABSTRACT

State the problem under investigation in a single sentence. If it is possible, also include the experimental method, including the mechanisms, data collection procedures, full names of tests, the findings, including levels of statistical significance, and the conclusions and implications or applications. Maximum 120 words.

Keywords: no more than five.

INTRODUCCIÓN

La introducción presenta la teoría que sustenta la experimentación. Contiene el planteamiento del problema, el desarrollo de los antecedentes, fundamentación y objetivos. Las contribuciones enviadas a la revista deben abordar temáticas relacionadas con el desarrollo de la Bioeconomía con base Biotecnológica en los campos agrícola, alimentos, salud, ambiente, energías e industria.

Se aceptarán contribuciones de los siguientes tipos: revisión, de investigación, de reflexión, metodológicos, estudios de caso y notas breves. Se aceptarán solamente contribuciones inéditas, **no sometidas** al

mismo tiempo a ninguna otra publicación impresa o digital. El envío de estas contribuciones supone el compromiso del autor a **ceder sus derechos** a la revista. Serán enviadas al correo electrónico biorrefineria.ceba@gmail.com y sometidas al sistema de revisión por pares, en la modalidad ciego, manteniendo el anonimato. Este recurso es inapelable.

Las contribuciones se escribirán en español o inglés con fuente **Calibri Light, tamaño de 12 puntos, interlineado sencillo**, un espacio entre párrafos y una extensión máxima de 8 páginas. **El formato del papel debe ser A4, con márgenes de 2 cm a cada lado.** El procesador de texto a utilizar será Microsoft Word. Los

títulos se escribirán en negrita y mayúscula sostenida, mientras que los subtítulos tendrán sólo la primera letra en mayúscula. Las tablas deben crearse en Word y separarse únicamente con líneas horizontales. Las figuras (fotografías, gráficos, esquemas) deben insertarse en formato JPG con una resolución de 300 dpi y enviarse también como documento adjunto. Las tablas y figuras se citarán en el texto de acuerdo con el orden de aparición y en el siguiente formato: Tabla 1, Fig. 1, Figs. 1 y 2, Fig. 1(A) (cuando una imagen se subdivida en varios recuadros), se insertarán en el lugar exacto de aparición y se acompañarán de su correspondiente título y pie de figura, respectivamente. El número de tablas y figuras no será superior a 5 para para artículos y 3 para notas breves. Las unidades de medida a utilizar serán las especificadas en el Sistema Internacional de Unidades. Los separadores de decimales serán la coma para artículos en español y el punto para artículos en inglés. La estructura de los artículos de revisión es libre y notas breves, siempre y cuando no sobrepase las 10 páginas en el formato de fuente indicado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Informe en tiempo pretérito qué es lo que usted hizo y cómo lo hizo, incluyendo la descripción de participantes (muestras), Herramientas o materiales, método estadístico, diseño experimental (incluyendo nivel de confianza) y procedimiento. Identifique en el texto todos los reactivos

utilizados (reseñando el nombre del fabricante y el país entre paréntesis), el modelo de cada equipo y el sitio de obtención del material biológico (incluyendo las coordenadas del sitio de recolección).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados responden a los objetivos planteados en el experimento, incluyendo el análisis estadístico y los hallazgos relevantes. Los resultados se pueden presentar en tablas y/o figuras, siendo preferibles las figuras. Las discusiones interpretan los resultados obtenidos con base en la teoría y los contrastan con los resultados de otros autores, se escriben en tiempo presente.

CONCLUSIONES

Las conclusiones responden al problema científico expuesto en la introducción el cual dio origen al experimento. Incluyen consecuencias, deducciones y generalizaciones que emanen de la evidencia aportada por los resultados y su interpretación. Sintetiza la idea planteada y los argumentos que se utilizaron para sustentarla. Evalúa lo planteado, señalando sus alcances y sus limitaciones. Plantea implicaciones o nuevos interrogantes al problema y recomendaciones. Escribir en tiempo presente.

AGRADECIMIENTO (opcional)

Se mencionarán las fuentes de financiación de los proyectos de investigación y/o apoyos recibidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Se aplicará la norma internacional APA tanto para citación como para referenciación. Se recomienda usar un software.

Ejemplos:

- Adelin, E., Servy, C., Martin, M.-T., Arcile, G., Iorga, B. I., Retailleau, P., ... Ouazzani, J. (2014). Bicyclic and tetracyclic diterpenes from a *Trichoderma* symbiont of *Taxus baccata*. *Phytochemistry*, 97, 55–61. <http://doi.org/10.1016/j.phytochem.2013.10.016>
- Arango, M., Ordoñez, N., Castañeda, E., & Restrepo, A. (1988). *Manual Hongos contaminantes del laboratorio*. Bogotá: Instituto Nacional de Salud y Corporación para Investigaciones Biológicas.
- Bailey, B., Bae, H., Strem, M., Roberts, D., Thomas, S., Crozier, J., ... Holmes, K. (2006). Fungal and

plant gene expression during the colonization of cacao seedlings by endophytic isolates of four *Trichoderma* species. *Planta*, 224(6), 1449–164. <http://doi.org/10.1007/s00425-006-0314-0>

Baldwin, J. E., Bansal, H. S., Chondrogianni, J., Field, L. D., Taha, A. A., Thaller, V., ... Taylor, A. (1985). Biosynthesis of 3-(3'-isocyanocyclopent-2-enylidene) propionic acid by (bon.) bain. aggr. *Tetrahedron*, 41(10), 1931–1938. [http://doi.org/10.1016/S0040-4020\(01\)96556-1](http://doi.org/10.1016/S0040-4020(01)96556-1)

Barnet, H. L., & Hunter, B. B. (1972). Illustrated Genera of Imperfect Fungi. *Mycologia*, 64(4), 930–932. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/3757954>

Barnet, H. L., & Hunter, B. B. (1978). *Illustrated Genera of Imperfect Fungi* (5th ed.). New York: MacMillan Pub. Company.



CALÉNDULA (*Calendula officinalis*)

BENEFICIOS:

Ayuda a proteger los ojos del daño causado por la luz azul y los radicales libres, reduciendo el riesgo de degeneración macular y cataratas.

CONTACTO:

Dr. Julio Pineda Insuasti, PhD.
info.biodiversity@gmail.com
Cel. +593 99 758 9267
Ibarra-Ecuador

SCIENTIFIC PARTNERS: <https://cebaecuador.org/>

31/12/2025

info.biodiversity@gmail.com





SERVICIOS

- proyectos de investigación.
- Desarrollo de productos escalas Laboratorio, Banco y Piloto.
- Escalado Semi-industrial e Industrial.

PRODUCTOS

- Alimentos
- Suplementos
- Fitofármacos
- Fármacos
- Cosméticos
- Bebidas

Contacto

Cel.: +593 99 758 9267, Email: info.biodiversity@gmail.com,
<https://www.facebook.com/BiodiversityEC>. Ibarra-Ecuador.



SERVICIOS

- Elaboración proyecto de inversión.
- Dirección técnica instalación industrial.
- Asesoría técnica para la producción.
- Capacitación técnica y adiestramiento al personal de planta.

PRODUCTOS

- Micelios (semillas) de hongos nutracéuticos.
- Extractos de hongos nutracéuticos.

Contacto: Cel.: +593 99 596 8529, www.bioecologicos.com, Email: bioecologicosec@gmail.com
<https://www.facebook.com/BioecologicosEC/> . Ibarra-Ecuador