UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

"EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA BIOTECNOLOGÍA EN EL DESARROLLO BIOECNÓMICO DEL ECUADOR"

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Biotecnología

Línea de investigación: Biotecnología, energía y recursos naturales renovables

AUTOR:

Jhericob Santiago Huera Galarza

DIRECTOR:

Ing. Santiago Zárate Baca MSc.

Ibarra – Ecuador

2026

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
APELLIDOS Y NOMBRES:	HUERA GALARZA JHERICOB SANTIAGO

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA BIOTECNOLOGÍA EN EL DESARROLLO BIOECNÓMICO DEL ECUADOR
AUTOR (ES):	HUERA GALARZA JHERICOB SANTIAGO
FECHA: DD/MM/AAAA	23/07/2026
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	☒ **PREGRADO** ☐ **POSGRADO**
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Biotecnología
DIRECTOR /ASESOR:	ZÁRATE BACA SANTIAGO / SANDOVAL GUANO CARLA

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 23 días del mes de julio de 2026

EL AUTOR:

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
JHERICOB SANTIAGO
HUERA GALARZA

.....

Jhericob Santiago Huera Galarza

C.C.: 1003967708

CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN

Ibarra, 23 de julio de 2026

Ing. Santiago Zárate Baca MSc.

DIRECTOR/A DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte, en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales y pertinentes.

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
SANTIAGO ZARATE BACA

(f) ……
Ing. Santiago Zárate Baca MSc.

C.C.: 171897484-1

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El comité Calificador del trabajo de Integración Curricular **"EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA BIOTECNOLOGÍA EN EL DESARROLLO BIOECNÓMICO DEL ECUADOR"** elaborado por Jhericob Santiago Huera Galarza Jhericob Santiago previo a la obtención del título de Ingeniería en Biotecnología, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte.

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
SANTIAGO ZARATE BACA

(f) ……
Ing. Santiago Zárate Baca MSc.

C.C.: 171897484-1

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
CARLA ALEXANDRA SANDOVAL GUANO

(f) ……
Ing. Carla Alexandra Sandoval Guano MSc.

C.C.: 171801729-4

PRESENTACIÓN

Yo, JHERICOB SANTIAGO HUERA GALARZA, con el número de identidad C.C: 1003967708 como autor de la tesis titulada **"EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA BIOTECNOLOGÍA EN EL DESARROLLO BIOECNÓMICO DEL ECUADOR"**, me hago responsable de los resultados, discusión, conclusiones y demás parte de la investigación; y pongo este ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, a mis padres, por su amor incondicional, su sacrificio y su apoyo constante durante cada etapa de mi vida. Gracias por creer en mí incluso en los momentos más difíciles y por ser la principal razón que me motivó a culminar esta carrera. Este logro también les pertenece a ustedes.

A mis hermanos, a mi sobrina y mi mascota, quienes han sido una fuente de inspiración y una razón para esforzarme cada día por ser una mejor persona y un mejor profesional.

A mi pareja, por su paciencia, comprensión y apoyo incondicional durante esta etapa final.

A mis profesores, por despertar en mí la pasión por la Biotecnología e inspirarme con su ejemplo a seguir creciendo en esta profesión.

A mis compañeros de carrera, con quienes compartí aprendizajes y experiencias que marcaron mi formación; a mi familia, por su cariño y palabras de aliento; y a mis amigos, quienes, a través de la amistad y el deporte, me ayudaron a encontrar equilibrio durante la vida universitaria.

A la Rama Estudiantil IEEE UTN, IEEE SIGHT Sección Ecuador y a la Cruz Roja Ecuatoriana, por brindarme la oportunidad de crecer como profesional y como persona mediante la creación y el liderazgo de proyectos, siempre con su confianza y respaldo.

Finalmente, dedico este logro a los amigos y familiares que ya no están físicamente conmigo. Su recuerdo, sus enseñanzas y su cariño permanecen presentes, y estoy seguro de que, dondequiera que estén, siempre creyeron que algún día alcanzaría esta meta.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte, por haberme brindado la oportunidad de formarme como profesional y proporcionarme los conocimientos, herramientas y experiencias que hicieron posible el desarrollo de este trabajo de investigación.

A mi director de tesis, Msc. Santiago Zárate, y a mi asesora, Msc. Carla Sandoval, por su guía, dedicación, observaciones y acompañamiento durante el desarrollo de esta investigación. Sus conocimientos y recomendaciones fueron fundamentales para fortalecer este trabajo.

A todos los docentes de la carrera de Biotecnología, quienes, con su vocación, compromiso y pasión por la ciencia, contribuyeron a mi formación académica y despertaron en mí el deseo de continuar aprendiendo e investigando.

A la carrera de Biotecnología y a los laboratorios que formaron parte de mi proceso de aprendizaje, por brindarme los espacios necesarios para desarrollar habilidades técnicas y fortalecer mi formación científica.

A la Rama Estudiantil IEEE de la Universidad Técnica del Norte, a IEEE SIGHT Sección Ecuador y a la Cruz Roja Ecuatoriana, por permitirme crecer como líder, voluntario y profesional, brindándome la confianza para desarrollar proyectos de impacto social que fortalecieron mis capacidades humanas y profesionales.

A mis compañeros, amigos, mi pareja y familiares, por acompañarme durante este camino, compartir cada reto y celebrar cada logro, convirtiendo esta etapa universitaria en una experiencia inolvidable.

Finalmente, agradezco a todas las personas e instituciones que, de una u otra manera, contribuyeron al desarrollo de esta investigación y a mi crecimiento personal y profesional. Este logro es también el reflejo del apoyo, la confianza y las oportunidades que recibí a lo largo de estos años.

RESUMEN EJECUTIVO

La bioeconomía constituye una estrategia para el aprovechamiento sostenible de los recursos biológicos, promoviendo el desarrollo económico, la innovación y la sostenibilidad ambiental. En Ecuador, pese a su riqueza en biodiversidad, el desarrollo de bioemprendimientos enfrenta desafíos relacionados con la transferencia tecnológica, la articulación entre los sectores académico y productivo y la valorización de la biomasa. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo analizar el estado de la bioeconomía en Ecuador mediante una revisión sistemática de la literatura y formular una propuesta de bioemprendimiento para contribuir al aprovechamiento sostenible de los recursos biológicos en la provincia de Imbabura.

La investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto con alcance descriptivo. Para el primer objetivo se aplicó la metodología PRISMA 2020 mediante la revisión de publicaciones científicas indexadas, mientras que para el segundo se realizó un análisis bibliográfico y técnico para formular una propuesta productiva considerando la disponibilidad de materia prima, el proceso de producción, los requerimientos técnicos y la evaluación económica.

Los resultados evidenciaron un incremento de las investigaciones sobre bioeconomía en Ecuador durante los últimos años, con predominio de estudios enfocados en biotecnología blanca y el aprovechamiento de residuos agrícolas. Asimismo, la propuesta permitió determinar que la producción de *Pleurotus djamor* utilizando bagazo de caña de azúcar como sustrato principal constituye una alternativa con potencial de implementación en la provincia de Imbabura, debido a la disponibilidad de la materia prima, los bajos requerimientos de inversión para el acondicionamiento del sustrato y su corto ciclo productivo.

Palabras clave: bioeconomía, bioemprendimiento, *Pleurotus djamor*, residuos agrícolas, valorización de biomasa.

ABSTRACT

The bioeconomy is a strategy aimed at the sustainable use of biological resources to promote economic development, innovation, and environmental sustainability. In Ecuador, despite its rich biodiversity, the development of bio-based enterprises faces challenges related to technology transfer, collaboration between the academic and productive sectors, and biomass valorization. In this context, the objective of this research was to analyze the current state of the bioeconomy in Ecuador through a systematic literature review and to develop a bioentrepreneurship proposal that contributes to the sustainable use of biological resources in the province of Imbabura.

This research was conducted using a mixed-methods approach with a descriptive scope. The first objective was addressed through the PRISMA 2020 methodology by reviewing indexed scientific publications, while the second objective involved a bibliographic and technical analysis to develop a productive proposal considering raw material availability, production processes, technical requirements, and economic evaluation.

The results revealed an increase in bioeconomy-related research in Ecuador in recent years, with a predominance of studies focused on white biotechnology and the utilization of agricultural residues. Furthermore, the proposed bioenterprise identified the production of *Pleurotus djamor* using sugarcane bagasse as the main substrate as an alternative with implementation potential in the province of Imbabura, owing to the availability of raw materials, the low investment required for substrate conditioning, and its short production cycle.

Keywords: bioeconomy, bioentrepreneurship, *Pleurotus djamor*, agricultural waste, biomass recovery.

Lista de abreviaturas

Abreviatura	*Significado*
ANRE	Asamblea Nacional de la República del Ecuador
BIOARN	Grupo de Investigación en Biotecnología Aplicada a los Recursos Naturales
BIOPLAT	Plataforma Tecnológica Española de Biomasa
CAF	Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe (anteriormente Corporación Andina de Fomento)
CENAIM	Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
COPCI	Código Orgánico de la Producción, Comercio e Inversiones
EB	Eficiencia Biológica
ESPAC	Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
GADPI	Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Imbabura
GEF	Global Environment Facility
GMO	Genetically Modified Organism
I+D	Investigación y Desarrollo
I+D+i	Investigación, Desarrollo e Innovación
IACGB	International Advisory Council on Global Bioeconomy
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
INIAP	Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias
INSPI	Instituto Nacional de Investigación en Salud Pública
KBBE	Knowledge-Based BioEconomy
MAATE	Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
MDPI	Multidisciplinary Digital Publishing Institute
MEAEF	Ministry of Economic Affairs and Employment of Finland
OECD	Organisation for Economic Cooperation and Development
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
PBDP	Programa de Bioeconomía y Desarrollo Productivo
PIB	Producto Interno Bruto
PRISMA	Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses
PubMed	PubMed
Redalyc	Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
SciELO	Scientific Electronic Library Online
ScienceDirect	ScienceDirect
Scopus	Scopus
Springer Nature	Springer Nature
USD	Dólar de los Estados Unidos
UTN	Universidad Técnica del Norte

Índice de contenidos

CAPITULO I 1
INTRODUCCIÓN 1
1.1 Tema 1
1.2 Problema de investigación 1
1.3 Antecedentes 3
1.4 Justificación 6
1.5 Objetivos 8
1.5.1 Objetivo general 8
1.5.2 Objetivos específicos 8
1.6 Pregunta de investigación 8
CAPITULO II 9
MARCO TEÓRICO 9
2.1 Fundamentos conceptuales 9
2.1.1 Origen y evolución del concepto de bioeconomía 9
2.1.2 Enfoques contemporáneos de la bioeconomía. 10
2.1.2.1 Bioeconomía basada en el conocimiento 10
2.1.2.2 Bioeconomía circular 11
2.1.2.3 Bioeconomía sostenible 11
2.1.3 Diferencias y complementariedad entre bioeconomía, economía circular y economía azul 12
2.1.3.1 Bioeconomía 12
2.1.3.2 Economía circular 12
2.1.3.3 Economía azul 13
2.1.3.4 Sinergias entre la bioeconomía, la economía circular y la economía azul 13
2.2 La biotecnología como pilar de la bioeconomía 14
2.2.1 Concepto, ramas y aplicaciones de la biotecnología 14
2.2.2 Rol de la biotecnología en la transformación de biomasa y generación de bioproductos 15
2.2.3 Innovación biotecnológica en cadenas agroalimentarias, salud, energía y ambiente 16
2.2.4 Avances de la biotecnología en el Ecuador: investigación, educación y desarrollo tecnológico 17
2.3. Contexto global y regional de la bioeconomía 18

2.3.1 Estrategias internacionales de bioeconomía (Unión Europea, Alemania, Finlandia, Brasil, Colombia, Costa Rica) 18

2.3.2 América Latina: visión regional y retos comunes para la transición bioeconómica 19

2.3.3 Cooperación internacional y alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 19

CAPÍTULO III 20

MATERIALES Y MÉTODOS 20

3.1 Metodología de revisión sistemática 20

3.1.1 Estrategia de búsqueda y selección documental 20

3.1.2 Clasificación de la bibliografía 22

3.2 Metodología para el diseño de un bioemprendimiento biotecnológico en el contexto de Imbabura 25

3.2.1. Caracterización productiva de la provincia de Imbabura e identificación de biomasa residual 26

3.2.2. Evaluación de alternativas de valorización biotecnológica 27

3.2.3. Evaluación de alternativas biológicas y métodos de acondicionamiento del sustrato 27

3.2.4. Formulación técnico-productiva del bioemprendimiento 28

3.2.5. Evaluación de viabilidad económica 29

CAPITULO IV 30

RESULTADOS Y DISCUSIÓN 30

4.1 Resultados de la revisión sistemática del impacto de la biotecnología en la bioeconomía del Ecuador 30

4.1.1 Eje científico 34

4.1.2 Eje productivo 36

4.1.3 Eje de madurez productiva y articulación territorial 38

4.2 Propuesta de bioemprendimiento biotecnológico en el contexto de Imbabura 40

4.2.1 Identificación del contexto territorial 40

4.2.2 Evaluación de aplicaciones potenciales de residuos lignocelulósicos 41

4.2.3 Análisis comparativo de especies comestibles basado en criterios productivos y nutricionales 42

4.2.3.1 Selección de especie del género *Pleurotus* en función de criterios productivos y condiciones ambientales locales 44

4.2.4 Procedimiento técnico para la producción de *Pleurotus djamor* a partir de residuos agroindustriales 45

4.2.4.1 Fundamentación técnica de la formulación del sustrato 46

4.2.4.2 Esterilización en autoclave **47**
4.2.4.3 Pasteurización al vapor **48**
4.2.4.4 Inmersión Alcalina con Cal **48**
4.2.5 Preparación y acondicionamiento del sustrato de cultivo **49**
4.2.6 Incubación y colonización micelial **50**
4.2.6 Fructificación y cosecha **51**
4.2.7 Rendimiento esperado y eficiencia biológica **53**
4.3 Evaluación técnico-económica del bioemprendimiento **53**
4.4 Descripción del sistema productivo e infraestructura del bioemprendimiento **55**
CAPÍTULO V **60**
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES **60**
5.1 Conclusiones **60**
5.2 Recomendaciones **60**
5.3 Referencias Bibliográficas **62**

Índice de tablas

- **Figura 1.** Diagrama de flujo del proceso de selección de estudios **22**
- **Figura 2.** Distribución Anual De Estudios Según Su Relación Con La Biotecnología **34**
- **Figura 3.** Evolución Biotecnológica del Ecuador **37**
- **Figura 4.** Evolución Biotecnológica del Ecuador (2015–1° Trimestre 2026) **38**
- **Figura 5.** Diseño del layout operativo para el cultivo de *Pleurotus djamor* a escala comunitaria **56**

Índice de tablas

- **Tabla 1.** Información de búsqueda en bases de datos **21**
- **Tabla 2.** Resumen de los artículos incluidos en la revisión sistemática **31**
- **Tabla 3.** Estimación de costos para el bioemprendimiento basado en *Pleurotus djamor* **54**

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Tema

Evaluar el impacto de la Biotecnología en el desarrollo bioecnómico del Ecuador mediante un análisis sistemático.

1.2 Problema de investigación

En Ecuador, la presión sobre los recursos naturales ha derivado en un modelo económico basado en el extractivismo y la exportación de materias primas, lo que limita la diversificación productiva y la incorporación de innovación científica en los sectores estratégicos (Ortega-Pacheco et al., 2018). Como lo señala García (2024) en el "Libro Blanco de la Bioeconomía Sustentable del Ecuador", la economía clásica asumió durante décadas que los recursos naturales eran infinitos, sin considerar la degradación acelerada de los ecosistemas y la creciente inequidad socioeconómica debido a los modelos productivos tradicionales (p. 11).

A pesar de que el Ecuador es reconocido como un país megadiverso, con una gran disponibilidad de biomasa y recursos biológicos, el desarrollo de la bioeconomía enfrenta múltiples barreras. En este apartado se identifican limitaciones persistentes como la escasez de recursos financieros para investigación y desarrollo (I+D), la débil articulación entre actores institucionales y productivos, y la falta de metodologías para medir los impactos ambientales de las cadenas de valor bioeconómicas (García, 2024, p. 40).

Esta problemática se enmarca en un contexto estructural más amplio, de acuerdo con Riera (2021), Ecuador mantiene una economía primaria y dependiente del petróleo, sin haber consolidado aún una transición hacia un modelo de matriz productiva basada en la bioeconomía, la autora enfatiza que, aunque el país tiene el potencial para migrar hacia procesos sostenibles de transformación de biomasa, este cambio requiere superar la dependencia de actividades extractivas y la baja valorización de los residuos agrícolas y

urbanos, los cuales podrían ser claves para la producción de bioproductos, bioinsumos y biomateriales.

Ante este escenario, la biotecnología adquiere un papel estratégico como herramienta científica y tecnológica que permite potenciar la bioeconomía, ya que permitiría la creación de productos de alto valor agregado a partir de recursos biológicos, promoviendo la economía circular y fomenta la innovación en sectores como: la agroindustria, la farmacología y la bioenergía (Álvarez et al., 2019; Orejuela & Rodríguez, 2024).

Sin embargo, la incorporación de la biotecnología en la producción ecuatoriana aún es incipiente, debido a diferentes limitaciones estructurales. Entre los principales obstáculos se encuentra la baja inversión en ciencia y tecnología, ya que los recursos públicos y privados destinados a investigación y desarrollo resultan insuficientes para consolidar un ecosistema de innovación sólido (Echeverría et al., 2021; OECD, 2024). Otra limitación importante es la fragmentación institucional y la falta de políticas integrales, reflejadas en una gobernanza de la bioeconomía en construcción,; en este sentido, aunque en el país se han impulsado en los últimos años instrumentos como el “Libro Blanco de Bioeconomía Sustentable” en 2024, la primera “Cuenta Satélite de Bioeconomía” en 2025, persisten desafíos estructurales, como una institucionalidad poco efectiva que dificulta la implementación coherente de políticas (CEPAL, 2025; MAATE, 2025). Finalmente, se puede destacar la ausencia de cadenas de valor consolidadas, pese al potencial de sectores como la agroindustria, salud y el aprovechamiento de residuos agrícolas, aún no se han desarrollado mecanismos suficientes para escalar experiencias locales hacia impactos de alcance nacional (IICA y PBDP, 2018).

En este contexto, la presente investigación se justifica en la necesidad de analizar mediante una revisión sistemática el impacto de la biotecnología dentro del desarrollo de la bioeconomía en el Ecuador, con el fin de generar evidencia que permita comprender su impacto, limitaciones y potencialidades en el contexto nacional. Asimismo, se propone el diseño de un modelo de

bioemprendimiento basado en la valorización de residuos como una propuesta que contribuya a fortalecer la articulación entre conocimiento científico y el sector productivo.

1.3 Antecedentes

En los últimos años ha habido un crecimiento acelerado de la población, lo que ha provocado un aumento en la demanda de recursos y la generación de residuos, superando la capacidad de carga de los ecosistemas. La economía clásica asumía que los recursos naturales eran inagotables debido a su capacidad de regeneración, lo que produjo un uso indiscriminado de estos. En la actualidad, existe una mayor conciencia sobre la limitada disponibilidad de estos recursos, lo que ha impulsado la búsqueda de nuevos modelos económicos basados en el uso sostenible de la biodiversidad y en la gestión responsable del capital natural (García, 2024, p. 11; Lehnert & Carrasco, 2020).

El término "bioeconomía" fue acuñado a finales de la década de 1970 por Nicholas Georgescu-Roegen, considerado el padre de la economía ecológica, el cual puso en evidencia la problemática asociada a la existencia humana en un contexto de recursos naturales finitos y distribuidos de manera desigual (Carpintero, 2006).

Si bien el concepto surgió en el ámbito teórico, su aplicación práctica y relevancia en la formulación de políticas públicas se consolidaron a partir de los años 2000, cuando la Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD, 2006) y la Unión Europea impulsaron marcos de acción orientados a la transformación sostenible de los recursos biológicos para la generación de bienes y servicios innovadores. Desde entonces, la bioeconomía se ha posicionado como una estrategia integral para enfrentar desafíos globales como el cambio climático, la escasez de recursos fósiles, la inseguridad alimentaria y la pérdida de biodiversidad (FAO, 2021; OCDE, 2009).

No obstante, las implicaciones del término bioeconomía han ido cambiando con el tiempo y dependiendo el contexto nacional. En el caso ecuatoriano, la bioeconomía se define como "la

producción de bienes y servicios basados en el uso sostenible de los recursos biológicos y sus derivados, incluyendo los servicios ecosistémicos" (García, 2024, p. 36).

En este marco de redefinición conceptual a nivel nacional, la bioeconomía también ha adquirido un enfoque estratégico en el contexto latinoamericano. En América Latina, organismos como la Comisión Económica para América Latina y el Caribe han enfatizado que la bioeconomía ofrece oportunidades únicas para integrar saberes ancestrales, dinamizar economías rurales y promover la sostenibilidad de los territorios, países como Colombia, Brasil, Perú y Argentina han avanzado en hojas de ruta específicas que articulan ciencia, tecnología e innovación con desarrollo productivo, evidenciando un cambio hacia modelos económicos regenerativos (Rodríguez et al., 2019). Ecuador no ha sido ajeno a estas tendencias, en 2024 se publicó el Libro Blanco de la Bioeconomía Sustentable del Ecuador, documento que establece una visión al 2033 basada en la sostenibilidad, la inclusión territorial y la innovación biotecnológica.

Según el Libro Blanco de la Bioeconomía Sustentable del Ecuador (2024), al estimar la contribución de los distintos sectores productivos vinculados a la bioeconomía como la agricultura, la pesca, la silvicultura y la agroindustria, esta podría alcanzar aproximadamente el 13,06 % del Producto Interno Bruto (PIB) ecuatoriano para el año 2021. Este valor evidencia la relevancia económica actual de la bioeconomía y su potencial estratégico en el país. No obstante, en el contexto del modelo extractivo ecuatoriano, la bioeconomía enfrenta el desafío de igualar o incluso superar las contribuciones económicas del sector petrolero, considerando que cerca del 45 % del total de las exportaciones nacionales está relacionado con el petróleo y que este sector aporta alrededor del 11 % del PIB. Como punto a favor, el documento señala que la contribución de la bioeconomía al PIB ecuatoriano ya se estimaba en 13,06 % en 2017, lo que refleja su peso estructural y su capacidad de consolidarse como un eje clave para la transición hacia un modelo económico más sostenible, no obstante, también se identifican

importantes barreras, entre ellas la débil articulación institucional, la falta de incentivos a la inversión en biotecnología y la escasa información consolidada sobre el estado real de los bioemprendimientos (García, 2024). Además, de acuerdo con la primera Cuenta Satélite de Bioeconomía presentada por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE, 2025), la economía nacional se clasifica en tres categorías: Bioeconomía, Bioeconomía Extendida y No Bioeconomía. Según este análisis, en 2023 la Bioeconomía aportó con el 12,3 % del Producto Interno Bruto (PIB) nacional, mientras que la Bioeconomía Extendida representó un 9,9 %, reflejando así la creciente relevancia del sector en la estructura económica del país.

Además, Riera (2021) complementa este diagnóstico al señalar que Ecuador mantiene una economía centrada en la extracción de materia prima, sin políticas sólidas que promuevan la transformación local con valor agregado. La autora indica que "no existen estadísticas unificadas ni inventarios de biomasa disponibles por región que orienten una estrategia empresarial concreta", lo cual limita la toma de decisiones efectivas. Asimismo, advierte que muchos residuos con alto potencial biotecnológico como cáscaras, fibras vegetales o subproductos de la pesca se desaprovechan por la falta de articulación entre ciencia, industria y territorio.

En este contexto, la provincia de Imbabura representa un territorio estratégico para el desarrollo de bioemprendimientos sostenibles con una economía diversificada basada en la agricultura, la manufactura, el comercio y el turismo, la provincia presenta activos naturales y sociales propicios para la aplicación de la bioeconomía (GADPI, 2023). No obstante, no existe una propuesta técnica que aproveche de manera sistemática estos recursos bajo un enfoque biotecnológico sostenible. Finalmente, la falta de revisiones sistemáticas de evidencia sobre bioemprendimientos en Ecuador representa una brecha metodológica importante.

La metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) constituye una guía internacional para garantizar transparencia, reproducibilidad y rigor en la presentación de revisiones sistemáticas (Page et al., 2021). Su aplicación en el presente trabajo busca subsanar este vacío metodológico, proporcionando una línea base sólida que permita analizar el estado actual de la bioeconomía en el país y formular una propuesta de bioemprendimiento técnicamente viable y territorialmente contextualizada en la provincia de Imbabura.

1.4 Justificación

El presente estudio adquiere relevancia urgente y estratégica, al abordar de manera interdisciplinaria la evaluación del impacto económico, social y ambiental de las tecnologías biotecnológicas aplicadas en el contexto de la bioeconomía del Ecuador. Esta problemática merece atención especializada, dado que la biotecnología si es bien orientada puede constituirse en un motor fundamental para el desarrollo sostenible, la equidad social y la conservación del ambiente en un país megadiverso. Ecuador tiene condiciones privilegiadas para desplegar una bioeconomía robusta: una biodiversidad extraordinaria, recursos genéticos aún poco explotados y territorios donde conviven prácticas agrícolas tradicionales con ecosistemas amenazados. En este contexto, el Libro Blanco de la Bioeconomía Sustentable del Ecuador (2024) realiza un análisis integral de las oportunidades, retos y brechas institucionales, regulatorias y de innovación que el país enfrenta para transitar hacia una economía basada en recursos biológicos (García, 2024, pp. 22–35).

El programa del IICA sobre Bioeconomía y Desarrollo Productivo enfatiza que las ciencias y tecnologías modernas permiten mejorar la productividad y sostenibilidad de recursos biológicos, generar bioproductos de alto valor agregado, aprovechar la biomasa residual y revalorizar la biodiversidad como fuente de innovación (IICA, 2019). Desde una perspectiva económica, social y ambiental, este estudio se hace necesario porque la biotecnología ofrece

beneficios claros, pero también plantea desafíos que deben evaluarse integralmente. Económicamente, permite aumentar la productividad y generar nuevos ingresos mediante bioproductos, mercados bioindustriales y valor agregado en la agricultura, sin embargo, su adopción suele requerir inversiones altas en infraestructura, desarrollo tecnológico y capacitación, lo que puede limitar su expansión si no hay apoyos financieros adecuados como se observa en el sector manufacturero ecuatoriano, donde innovación verde ha demostrado mejorar la competitividad solo cuando se acompaña de políticas de incentivos (Padilla et al., 2024).

Socialmente, la biotecnología tiene el potencial de mejorar la calidad de vida en comunidades rurales, al reducir la dependencia de agroquímicos, mejorar la seguridad alimentaria y generar empleo local, pero también podría generar resistencias culturales, desigualdad de acceso o controversias sobre organismos modificados si no se considera la aceptación social y los conocimientos locales como en los estudios sobre actitudes hacia GMO en comunidades universitarias ecuatorianas (Collazo et al., 2022).

En lo ambiental, tecnologías biotecnológicas aplicadas correctamente pueden contribuir a la remediación de agua o suelo, reutilización de residuos agrícolas, control biológico, y mitigación de contaminantes, como en el caso de microalgas para tratamiento de efluentes porcinos en Ecuador; pero también es imprescindible evaluar posibles impactos no deseados, como contaminación genética, efectos sobre biodiversidad y consumo de recursos no renovables, recientes investigaciones han mostrado que consorcios nativos de microalgas-bacterias en la Amazonía ecuatoriana presentan tasas de remoción de nutrientes y materia orgánica de aguas residuales domésticas significativamente altas, lo que evidencia una capacidad local para implementar soluciones biotecnológicas adaptadas al contexto ecuatoriano sin dependencia de tecnologías importadas (López et al., 2024). También se ha documentado que cepas autóctonas de microalgas aisladas de aguas de cerdo “piggery

wastewater" remueven más del 60 % de amonio-nitrógeno bajo condiciones extremas, lo que demuestra resiliencia y potencial ecológico como recurso biotecnológico (Flores et al., 2025). Estos ejemplos refuerzan que la evaluación económica, social y ambiental permitirá identificar tecnologías con verdadera viabilidad técnica, impacto local y sostenible, así como explorar mecanismos de participación comunitaria, aceptación social y regulación ambiental adecuada para asegurar beneficios integrales en el marco de la Agenda 2030, impulsando los Desarrollo Sostenible, Equidad, Acción Climática y Vida de Ecosistemas Terrestres y Acuáticos.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

- Evaluar el impacto de la biotecnología en el desarrollo bioecnómico del Ecuador mediante un análisis sistemático.

1.5.2 Objetivos específicos

- Examinar el estado actual de la bioeconomía en el Ecuador mediante una revisión bibliográfica sistemática.
- Elaborar una propuesta de bioemprendimiento mediante una aplicación biotecnológica en el contexto de la provincia de Imbabura.

1.6 Pregunta de investigación

¿Cuál es el estado actual de la bioeconomía en el Ecuador y qué propuesta de bioemprendimiento puede implementarse en la provincia de Imbabura?

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Fundamentos conceptuales

2.1.1 Origen y evolución del concepto de bioeconomía

El origen del pensamiento bioeconómico se remonta a las primeras décadas del siglo XX, cuando el economista rumano Nicholas Georgescu-Roegen introdujo una visión crítica del crecimiento económico ilimitado y acuñó el término "bioeconomía" para recordar el origen biológico del proceso económico y poner de relieve el problema de la existencia humana con una reserva limitada de recursos accesibles (Gowdy & Mesner, 1998). Su planteamiento, expuesto con mayor amplitud en The Entropy Law and the Economic Process (1971) y en Energía y mitos económicos (1975), incorporó las leyes de la termodinámica al análisis económico, subrayando que toda actividad productiva conlleva un costo entrópico y límites físicos al crecimiento.

En esta misma línea, Riera (2021) señala que Georgescu-Roegen unió "las enseñanzas de la ley de entropía al carácter evolutivo del proceso económico", proponiendo la asignación óptima de los recursos naturales entre generaciones para evitar crisis ecológicas futuras. Su enfoque sentó las bases de la economía ecológica, corriente que posteriormente derivó en el pensamiento bioeconómico contemporáneo, el cual busca equilibrar el sistema económico con la capacidad regenerativa de los ecosistemas.

Durante la década de 1970, el investigador Jiri Zeman retomó el término bioeconomía para describirlo como una "nueva economía en la que la sustancia biológica debía reconocerse en casi todos los aspectos del proceso económico" (Bonaiuti, 2015, citado en Riera, 2021). Esta ampliación conceptual marcó el tránsito de una visión puramente ecológica a un paradigma de innovación basado en los recursos biológicos.

Con el avance de la biotecnología, la bioeconomía adquirió un enfoque más aplicado. Tal como indica el Libro Blanco (2024, p. 14), "el concepto ha evolucionado hacia una disciplina basada en el conocimiento de las ciencias biológicas", orientada a transformar los saberes científicos en bienes y servicios sostenibles y competitivos. Actualmente, la bioeconomía se entiende como un modelo de desarrollo integral que promueve el uso sostenible de los recursos biológico animales, vegetales o microbianos para generar productos de alto valor agregado en sectores como la agricultura, la salud, la energía y la industria (IACGB, 2024). Este paradigma incorpora además los principios de la economía circular y la simbiosis industrial, proponiendo la reutilización de residuos, la eficiencia energética y la reducción de impactos ambientales.

2.1.2 Enfoques contemporáneos de la bioeconomía.

La bioeconomía actual va más allá de la utilización de biomasa como insumo productivo, se ha consolidado como un enfoque estratégico que articula conocimiento científico, innovación tecnológica, eficiencia de recursos, sostenibilidad ambiental y social. Esta evolución conceptual responde a la necesidad de enfrentar desafíos globales como el agotamiento de recursos fósiles, la generación excesiva de residuos y la urgencia de una producción más sostenible, al mismo tiempo que se generan bienes y servicios con valor agregado. En ese sentido, la bioeconomía se despliega en tres enfoques principales y complementarios: (i) bioeconomía basada en el conocimiento, (ii) bioeconomía circular y (iii) bioeconomía sostenible, cuyos criterios se entrelazan para transformar las dinámicas productivas tradicionales en sistemas más resilientes y regenerativos (Mills, 2015; Sandin et al., 2024; Ferraz & Pyka, 2023).

2.1.2.1 Bioeconomía basada en el conocimiento

La bioeconomía basada en el conocimiento (Knowledge-Based BioEconomy, KBBE) integra la ciencia y la innovación tecnológica como pilares para transformar recursos

biológicos en productos y servicios con valor añadido. Este enfoque fue impulsado, por ejemplo, por programas de investigación europeos que vinculan la investigación en ciencias de la vida con prácticas productivas sostenibles (Mills, 2015). En este enfoque, la biotecnología, la biología sintética y la ingeniería genética se utilizan para desarrollar alimentos, materiales y energías renovables, basándose en la interacción entre sistema científico, industria y políticas públicas para generar conocimiento aplicado.

2.1.2.2 Bioeconomía circular

Partiendo del enfoque basado en el conocimiento, la bioeconomía se articula con los principios de la economía circular para conformar un sistema productivo regenerativo y de ciclo cerrado. La bioeconomía circular propone romper con el modelo lineal tradicional la cual consiste en extraer, usar y desechar para maximizar la utilidad de los recursos biológicos, minimizar residuos y mantener los materiales biobasados el mayor tiempo posible dentro de los ciclos económicos (Sandin et al., 2024).

Este enfoque promueve la valorización de residuos orgánicos tanto agrícolas como urbanos e industriales como insumos estratégicos para la generación de bioproductos de valor añadido, como biocombustibles, bioplásticos, biofertilizantes y otros materiales sostenibles, lo cual se logra mediante biotecnologías innovadoras, diseños de biorrefinerías y procesos de bioinnovación (Wilmer et al., 2025).

2.1.2.3 Bioeconomía sostenible

Este enfoque integra los componentes ambientales, sociales y económicos de la producción bioeconómica de forma coherente con las metas globales de desarrollo. Este enfoque reconoce que la bioeconomía circular debe corresponderse con patrones de desarrollo que respeten los límites ecológicos planetarios, promuevan equidad social y contribuyan al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente aquellos relacionados con la seguridad alimentaria, la gestión sostenible de recursos, la

innovación industrial, la mitigación del cambio climático y la conservación de la biodiversidad (Ferraz & Pyka, 2023).

En síntesis, los enfoques contemporáneos convergen en un paradigma de producción y consumo que utiliza el conocimiento científico como punto de partida, integra la circularidad de los recursos para maximizar la eficiencia y minimizar desperdicios, y se orienta hacia una sostenibilidad integral que responde a los desafíos ambientales y sociales del siglo XXI.

2.1.3 Diferencias y complementariedad entre bioeconomía, economía circular y economía azul.

A pesar de que la bioeconomía, la economía circular y la economía azul comparten objetivos de sostenibilidad, cada una se organiza en torno a principios y ámbitos de aplicación distintos, lo que les confiere enfoques propios que pueden complementarse para promover un desarrollo más inclusivo, eficiente y ambientalmente equilibrado.

2.1.3.1 Bioeconomía

La bioeconomía concentra su atención en el uso de recursos biológicos renovables y la aplicación de la biotecnología para generar productos, servicios y procesos con valor agregado, reduciendo la dependencia de recursos fósiles. Este enfoque promueve la utilización de materia biológica de formas innovadoras para producir alimentos, materiales y energía limpia, mediante el desarrollo científico y tecnológico (Ferraz & Pyka, 2023).

2.1.3.2 Economía circular

Por su parte, la economía circular es un marco de producción y consumo que busca maximizar la eficiencia de los recursos en todos los sectores económicos, no solo los biológicos, mediante estrategias como reutilización, reparación, reciclaje y

recuperación de materiales, manteniéndolos en uso durante el mayor tiempo posible y reduciendo la generación de residuos (Kirchherr et al., 2017).

A diferencia de la bioeconomía, que se define por el tipo de recurso biológico, la economía circular se define por cómo se gestionan los recursos, abarcando tanto materiales biológicos como no biológicos dentro de sus ciclos de valor.

2.1.3.3 Economía azul

La economía azul, en cambio, se aplica específicamente al uso sostenible de los recursos marinos y acuáticos y de las actividades económicas vinculadas a estos ecosistemas. Este concepto promueve el crecimiento económico, los medios de subsistencia y los empleos derivados de actividades como pesca sostenible, acuicultura, transporte marítimo, energías renovables marinas o turismo costero, preservando al mismo tiempo la salud de los océanos y los servicios ecosistémicos que estos ofrecen (Youssef, 2023).

2.1.3.4 Sinergias entre la bioeconomía, la economía circular y la economía azul

Aunque distintos, estos enfoques no son excluyentes y pueden potenciarse entre sí:

Bioeconomía y economía circular: El concepto de bioeconomía circular describe cómo la gestión de recursos biológicos puede seguir los principios circulares para reutilizar residuos y subproductos biológicos como insumos en nuevos procesos productivos, cerrando ciclos de materia y energía de manera sostenible (Holden et al., 2022).

Bioeconomía y economía azul: La bioeconomía puede extenderse al ámbito marino a través de la bioeconomía azul, que integra la biotecnología basada en recursos acuáticos renovables con estrategias de desarrollo sostenible en océanos y zonas costeras (por ejemplo, bioproductos marinos y cultivos acuáticos sustentables) y así atender las necesidades humanas sin degradar estos ecosistemas (Ying et al., 2025).

En conjunto, estos enfoques crean un marco holístico que aborda la eficiencia de recursos, la gestión de residuos, la innovación tecnológica y la conservación de los

ecosistemas terrestres y marinos, contribuyendo a metas amplias de desarrollo sostenible.

2.2 La biotecnología como pilar de la bioeconomía

2.2.1 Concepto, ramas y aplicaciones de la biotecnología

La biotecnología es una ciencia de carácter multidisciplinaria que emplea sistemas biológicos, organismos vivos o sus derivados para desarrollar productos, procesos y tecnologías útiles que atienden necesidades humanas y ambientales (Villacreses et al., 2022). En términos generales, se trata del uso de la biología como base para resolver problemas prácticos y generar bienes y servicios, integrando herramientas de biología molecular, microbiología, genética y bioprocesos industriales (Rodríguez et al., 2025).

Las ramas de la biotecnología se clasifican según los ámbitos de aplicación de los sistemas biológicos y se han agrupado mediante una clasificación por colores que facilita la identificación de sus principales campos operativos. Esta codificación distingue, entre otras, la biotecnología blanca, vinculada a procesos industriales y producción sostenible de materiales; la biotecnología verde, enfocada en sistemas agrícolas y agroalimentarios; y la biotecnología azul, orientada al aprovechamiento de recursos marinos y acuáticos para la obtención de compuestos útiles mediante procesos biotecnológicos, lo cual permite integrar investigación y desarrollo de productos biobasados sin comprometer la salud de los ecosistemas (Barcelos et al., 2018).

La biotecnología presenta un alcance amplio y transversal en distintos sectores estratégicos. En el ámbito de la salud, se emplea para la producción de proteínas terapéuticas, vacunas y herramientas de diagnóstico basadas en técnicas celulares y moleculares, mientras que en el sector agroalimentario contribuye al mejoramiento de cultivos, al desarrollo de alimentos funcionales y a la optimización de procesos de

fermentación y producción de aditivos, fortaleciendo la eficiencia y el valor agregado de los sistemas productivos (Chinyere et al., 2024; Chi & Eung, 2025).

En los sectores industrial, energético y ambiental, la biotecnología posibilita la obtención de biocombustibles, bioplásticos y materiales biodegradables mediante bioprocesos sostenibles, así como el tratamiento de aguas residuales y la descontaminación de suelos a través del uso de microorganismos especializados. De este modo, se consolida como un puente entre la biología y la tecnología, orientado a la generación de soluciones innovadoras que promueven la sostenibilidad y el desarrollo de la bioeconomía (Vieira et al., 2020; Barcelos et al., 2018).

2.2.2 Rol de la biotecnología en la transformación de biomasa y generación de bioproductos

La biotecnología desempeña un papel fundamental en la transformación de biomasa, es decir, en la conversión de materia biológica incluyendo residuos agrícolas, forestales o agroindustriales en bioproductos de alto valor como biocombustibles, bioplásticos, bioquímicos, nutracéuticos y materiales Este proceso se sustenta en el uso de microorganismos, enzimas y técnicas de ingeniería metabólica que optimizan rutas metabólicas para la síntesis de compuestos útiles a partir de sustratos biológicos (Benavides et al., 2024).

Un concepto clave en este ámbito es la biorrefinería, definida como una instalación o sistema integrado que procesa biomasa para producir simultáneamente energía, combustibles y otros productos químicos de forma sostenible, similar al modelo de una refinería de petróleo, pero con recursos renovables, la integración de biotecnologías en biorrefinerías permite maximizar el valor de cada componente de la biomasa y reducir residuos, lo que contribuye a la competitividad económica y la sostenibilidad ambiental de las cadenas productivas biobasadas (BIOPLAT & SusChem -España, 2017).

2.2.3 Innovación biotecnológica en cadenas agroalimentarias, salud, energía y ambiente

La biotecnología impulsa la innovación en múltiples sectores productivos, siendo un catalizador clave de la bioeconomía:

- Cadenas agroalimentarias: La biotecnología permite la valorización de residuos agrícolas y subproductos, transformándolos en ingredientes funcionales, biofertilizantes, biocombustibles o materiales orgánicos sostenibles, reduciendo desperdicios y optimizando la eficiencia productiva (Sandra et al., 2025). Esto fortalece la sostenibilidad medioambiental y la rentabilidad de sistemas agrícolas y agroindustriales.
- Salud: En el sector salud, las técnicas biotecnológicas son esenciales para la producción de medicamentos, vacunas y diagnósticos rápidos, mediante herramientas como la ingeniería genética, cultivo celular y bioprocesos que permiten respuestas más rápidas frente a desafíos sanitarios emergentes (Rodríguez et al., 2025)
- Energía: La biotecnología habilita la generación de bioenergía y biocombustibles renovables a partir de biomasa y residuos orgánicos, integrando procesos biocatalíticos y fermentativos que reducen la dependencia de combustibles fósiles y disminuyen emisiones contaminantes (BIOPLAT & SusChem -España, 2017).
- Ambiente: En el ámbito ambiental, la biotecnología contribuye a la biorremediación, restauración de suelos y tratamiento de aguas mediante microorganismos especializados, fortaleciendo la resiliencia ecológica frente a contaminación y degradación de ecosistemas (Chicaiza et al., 2023).

Estos ejemplos muestran que la innovación biotecnológica es transversal, generando beneficios que abarcan productividad, sostenibilidad y mejora de calidad de vida.

2.2.4 Avances de la biotecnología en el Ecuador: investigación, educación y desarrollo tecnológico

En el contexto ecuatoriano, la biotecnología ha tenido un desarrollo incremental pero significativo, tanto en investigación como en formación académica y creación de capacidades científico-tecnológicas, lo cual se evidencia no solo en las universidades, sino también en la existencia de centros y entidades de investigación especializados; entre ellos se incluyen iniciativas de la Universidad Técnica del Norte (UTN) orientadas a la biotecnología aplicada a recursos naturales, microbiología y análisis molecular, con proyectos que integran micropropagación, identificación genética y uso de microorganismos con fines productivos y ambientales, así como grupos universitarios como BIOARN de la Universidad Politécnica Salesiana, y, adicionalmente, centros de investigación como el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), que desarrolla biotecnología vegetal y agrobiotecnología para el mejoramiento genético, sanidad vegetal y conservación de recursos fitogenéticos; el Instituto Nacional de Investigación en Salud Pública (INSPI), enfocado en biotecnología aplicada a la salud, diagnóstico molecular y vigilancia epidemiológica; y el Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas (CENAIM), que aplica herramientas biotecnológicas en sanidad acuícola, genética y producción sostenible de organismos acuáticos, lo que refleja la diversidad y el fortalecimiento progresivo del ecosistema biotecnológico nacional, entre otros.

A pesar de esto, expertos señalan que el país enfrenta desafíos en inversión en I+D+i y en la articulación entre academia, industria y el estado para traducir conocimiento en soluciones tecnológicas plenamente operativas, lo cual constituye una oportunidad de fortalecimiento institucional y de políticas (García, 2024, p.40).

2.3. Contexto global y regional de la bioeconomía

2.3.1 Estrategias internacionales de bioeconomía (Unión Europea, Alemania, Finlandia, Brasil, Colombia, Costa Rica)

A nivel internacional, la bioeconomía ha sido incorporada como un eje estratégico de desarrollo sostenible e innovación. La Unión Europea promueve una bioeconomía orientada al uso eficiente de la biomasa, la economía circular y la descarbonización, integrando políticas de investigación, agricultura e industria (Paris et al., 2025). En Alemania, la bioeconomía se basa en la innovación y la biotecnología industrial; sin embargo, análisis críticos señalan que su estrategia ha generado cambios limitados en la estructura productiva, al reproducir marcos económicos existentes sin promover una transformación socio ecológica profunda (Lühmann & Vogelpohl, 2023). Finlandia lidera la bioeconomía mediante su Estrategia 2035, enfocada en generar mayor valor añadido y neutralidad climática. Su modelo integra innovación en biomateriales, bioenergía y gestión forestal sostenible, consolidando un entorno competitivo apoyado por programas de I+D+i (MEAEF, 2022). En América Latina, países como Brasil, Colombia y Costa Rica han desarrollado enfoques bioeconómicos vinculados a la agroindustria, el aprovechamiento sostenible de la biodiversidad y el desarrollo territorial, en respuesta a las preocupaciones ambientales, sociales y económicas asociadas al modelo económico tradicional; estas estrategias, tanto públicas como privadas, han priorizado en varios casos el uso de biomasa para la producción de biocombustibles como alternativa a la dependencia de recursos fósiles, aunque con distintos niveles de articulación institucional y diversificación tecnológica (Barros et al., 2024).

2.3.2 América Latina: visión regional y retos comunes para la transición bioeconómica

En América Latina, la bioeconomía se concibe como una oportunidad para diversificar las economías y aprovechar la biodiversidad regional, sin embargo, la literatura identifica retos comunes, como la baja inversión en I+D+i, la limitada articulación entre ciencia, política pública y sector productivo, y la persistencia de modelos extractivos tradicionales (Rodríguez et al., 2019; Barros et al., 2024). Estas limitaciones condicionan la transición hacia una bioeconomía de mayor valor agregado, basada en innovación y sostenibilidad.

2.3.3 Cooperación internacional y alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

La cooperación internacional es un componente clave para el impulso de la bioeconomía, ya que facilita la transferencia tecnológica, el financiamiento y la articulación de redes de investigación, especialmente en países en desarrollo (Rodríguez et al., 2019). Diversos estudios evidencian que las estrategias bioeconómicas pueden contribuir de manera significativa al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente en innovación industrial, producción responsable, acción climática y conservación de la biodiversidad, aunque requieren una adecuada gestión de posibles tensiones entre objetivos sociales y ambientales (Warchold et al., 2025).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Metodología de revisión sistemática

3.1.1 Estrategia de búsqueda y selección documental

Este estudio se realizó mediante una revisión bibliográfica sistemática, basada en los lineamientos de la declaración PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (Page et al., 2021). Tuvo como objetivo identificar la cantidad de evidencia científica disponible sobre el estado de la bioeconomía en el Ecuador y el nivel de relación que tiene con la biotecnología. Se definieron parámetros temporales de los años comprendidos entre 2015 y el primer trimestre del 2026.

Las fuentes de información comprendieron índices y bases de datos académicas consolidadas como *Science Direct, Scopus, SciELO, Redalyc* y *PubMed*. Adicionalmente, se incorporaron editoriales de alto impacto científico como *Springer Nature* y *MDPI* desde las cuales se accedió o se redireccionó a textos completos disponibles en revistas relevantes. Estas fuentes fueron seleccionadas por su amplia cobertura multidisciplinaria, reconocimiento en la comunidad científica y capacidad de recuperar literatura revisada por pares, asegurando así la exhaustividad en la recopilación de evidencia y una caracterización precisa del estado de la bioeconomía actual en la región.

Los criterios de inclusión abarcaron artículos científicos con revisión por pares, informes técnicos, revisiones sistemáticas, artículos científicos que abordaron aspectos conceptuales o aplicados de la bioeconomía con enfoque nacional o desarrollados por instituciones ecuatorianas. Se excluyeron documentos sin acceso a texto completo, publicaciones que no abordaron explícitamente la bioeconomía ni un contexto

específico ecuatoriano, opiniones sin sustento metodológico riguroso y estudios duplicados. Inicialmente como se indica en la **Tabla 1**, se identificaron los registros mediante combinaciones de descriptores clave (“bioeconomía”, “bioeconomy”, “Ecuador”); posteriormente, se aplicaron filtros avanzados propios de cada base de datos para refinar los resultados.

Tabla 1. Información de búsqueda en bases de datos

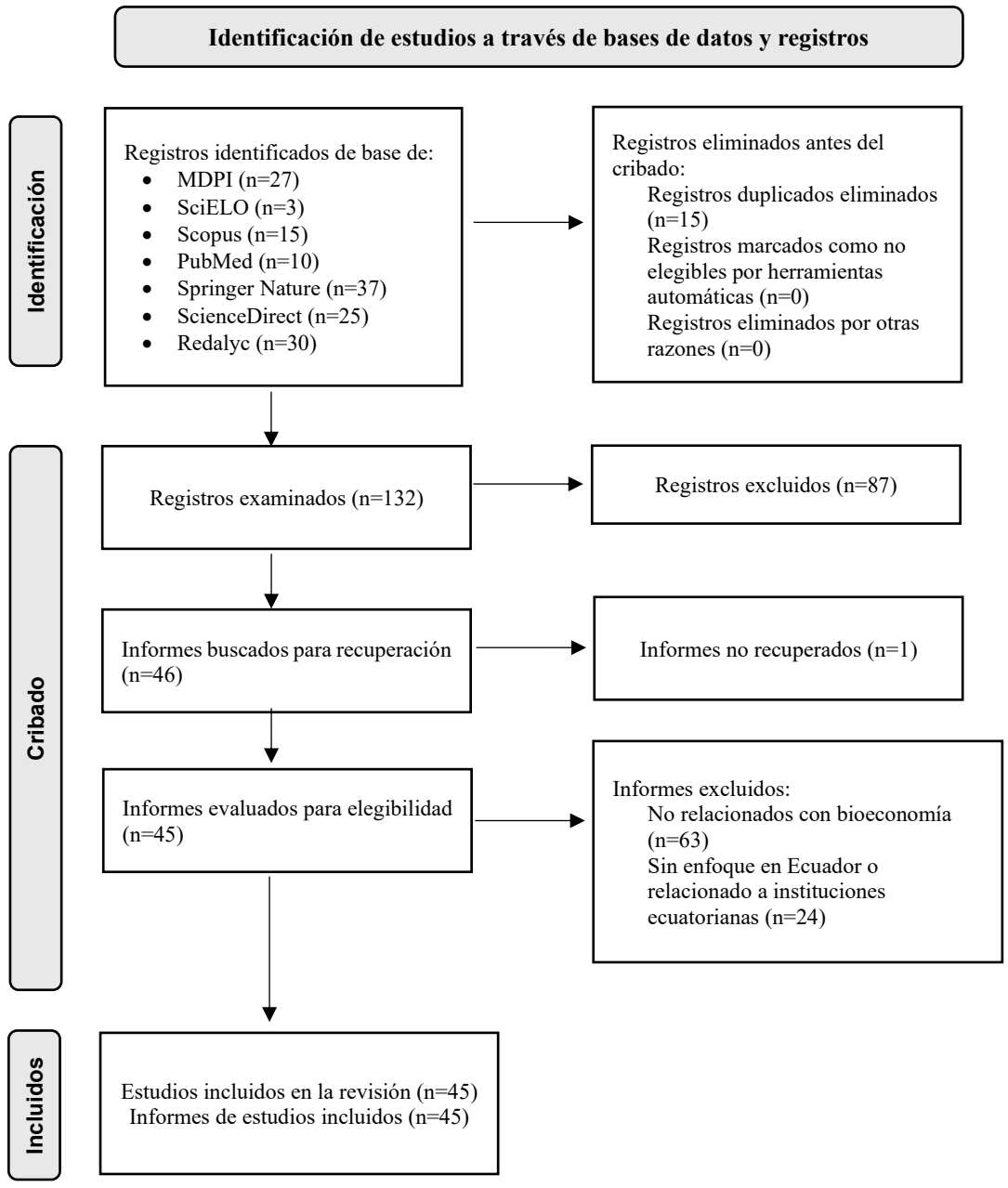
Base de datos	Campo de búsqueda	Ecuación de búsqueda	Filtros adicionales
Scopus	Título, resumen, palabras clave	TITLE-ABS-KEY ("bioeconomy") OR TITLE-ABS-KEY ("bioeconomía") AND TITLE-ABS-KEY ("Ecuador")	• Years: 2015-2026 • Open Access
PubMed	Todos los campos	(bioeconomy [Title/Abstract]) AND (Ecuador)	• Years: 2015-2026 • Free Full Text
SciELO	Todos los campos	(ab:(Bioeconomy)) OR (Bioeconomía) AND (Ecuador)	• Years: 2015-2026
Redalyc	Todos los campos	(bioeconomía OR bioeconomy) AND (Ecuador)	• Years:2015-2026 • Lenguage: Español, Inglés • Country: Ecuador
MDPI	Todos los campos	ABS-Bioeconomy AND ALL FIELDS-Ecuador	• Years: 2015-2026
Science Direct	Todos los campos	Ecuador AND bioeconomy	• Years:2015-2026 • Open Access • Title, abstract or author-specified keywords: Bioeconomy
Springer Nature	Todos los campos	(Bioeconomy) AND (Ecuador)	• Content Type: Article, Research article, Review Article • Publishing model: Open access • Date Published: 2015:2026 • Languages: English

Para estructurar la estrategia de búsqueda y selección de estudios, se empleó el enfoque metodológico PICO. Donde, **P (Población/Contexto)** correspondió al análisis de la bioeconomía en el Ecuador; **I (Intervención/Exposición)** se relacionó con las aplicaciones y aportes de la biotecnología y **O (Resultados)** se orientó a identificar impactos científicos y económicos asociados. El componente **C (Comparación)** no fue aplicado, debido a que el estudio no contempló la comparación entre intervenciones o

entre artículos. Este enfoque permitió organizar de manera clara la búsqueda y realizar un análisis de la evidencia, en coherencia con los lineamientos de PRISMA 2020.

En la **Figura 1**. Se aprecia proceso de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión de los estudios.

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de selección de estudios



3.1.2 Clasificación de la bibliografía

Luego de que se realizó el proceso de cribado interno, se seleccionaron 47 documentos científicos, los cuales fueron sometidos a un proceso de clasificación estructurada con

el fin de presentar un análisis claro y su vinculación con los objetivos de la investigación.

Por esta razón, se definieron tres ejes de clasificación: **(**1) nivel de relación con la biotecnología y su evolución temporal; (2) tendencia evolutiva de los tipos de biotecnología en el Ecuador; y (3) análisis del sistema productivo bioeconómico: sectores económicos, niveles de implementación e impacto regional, permitiendo organizar y analizar la información de manera estructurada y una interpretación simplificada de los resultados.

3.1.2.1 Nivel de relación con la biotecnología y su evolución temporal

Los documentos fueron categorizados según el nivel de integración de la biotecnología en su enfoque analítico:

- **Alta:** el enfoque del estudio gira principalmente alrededor de estudios o aplicaciones en el campo biotecnológico.
- **Moderada:** solo se utiliza una herramienta relacionada a la biotecnología durante el desarrollo de la investigación pero no es el centro de esta.
- **Baja:** comprende los estudios que solo mencionan o hablan de manera muy superficial sobre alguna herramienta biotecnología o de la biotecnología como tal.

Posteriormente, esta clasificación fue analizada en función del tiempo, con el objetivo de identificar su evolución y tendencias dentro del periodo de estudio establecido, permitiendo observar la creciente o decreciente relevancia de la biotecnología en los enfoques bioeconómicos.

3.1.2.2 Tendencia evolutiva de los tipos de biotecnología en el Ecuador

Se utilizó la clasificación por colores, ampliamente aceptada en la literatura científica para diferenciar las áreas de aplicación biotecnológica (Acosta & Castañón, 2022). En base a este criterio se destacan las siguientes:

- **Biotecnología roja:** orientada a la salud humana y farmacéutica.
- **Biotecnología verde:** aplicada al sector agrícola.
- **Biotecnología blanca:** enfocada en procesos industriales y bioproductos.
- **Biotecnología azul:** relacionada con recursos marinos y acuáticos.
- **Biotecnología amarilla:** vinculada a alimentos y nutrición.
- **Biotecnología marrón:** asociada a ecosistemas áridos.
- **Biotecnología gris:** centrada en aplicaciones ambientales.
- **Biotecnología dorada:** relacionada con bioinformática y análisis computacional.
- **Biotecnología morada:** vinculada a aspectos éticos y legales.

Al mismo tiempo, esta categoría se analizó en función del año de publicación de los estudios, con el objetivo de identificar la evolución temporal de las distintos áreas de biotecnología y sus tendencias dentro del periodo de estudio. En los casos donde los documentos tenían un enfoque de estudio poco específico referente al área de biotecnología, se utilizó la categoría "No aplica".

3.1.2.3 Análisis del sistema productivo bioeconómico: sectores económicos, niveles de implementación e impacto regional

Cada documento fue clasificado de acuerdo al sector económico en el que orienta su aplicación principal, considerando las siguientes categorías: agrícola, pecuario, acuícola y pesquero, forestal, agroindustrial, bioenergía, industria biobasada (incluyendo biomateriales y manufactura sostenible) y salud, farmacéutico y cosmético (Bugge et al., 2016). Esta clasificación se basa en el enfoque de la bioeconomía como un sistema que articula múltiples sectores productivos basados en el aprovechamiento de recursos biológicos y la generación de valor agregado. De manera complementaria, se estableció una categoría según el nivel de desarrollo o madurez de las propuestas,

permitiendo identificar el grado de desarrollo de las aplicaciones biotecnológicas dentro del sistema productivo ecuatoriano:

- **Conceptual:** no aplica biotecnología de forma directa o su uso es implícito.
- **Potencial/Propuesta:** sugiere el uso de biotecnología sin validación empírica.
- **Experimental/laboratorio:** aplicación en condiciones controladas.
- **Piloto/Preindustrial:** evidencia de escalamiento inicial.
- **Aplicativo/productivo:** implementación en contextos reales.

3.2 Metodología para el diseño de un bioemprendimiento biotecnológico en el contexto de Imbabura

El desarrollo de este objetivo propone un diseño exploratorio-descriptivo de tipo bibliográfico, con enfoque mixto y carácter aplicado, orientado a la elaboración de una propuesta de bioemprendimiento basada en una aplicación biotecnológica viable dentro de la provincia de Imbabura.

El estudio es descriptivo porque organiza y analiza información científica, técnica y estadística existente sobre aplicaciones biotecnológicas, mixto porque integra análisis tanto cualitativo proveniente de literatura científica y documentos técnicos con información cuantitativa obtenida tanto de estadísticas productivas como de reportes oficiales y aplicado porque utiliza esta información para diseñar una propuesta de bioemprendimiento con potencial implementación local.

Como base para la formulación de la propuesta, se consideran los resultados del Objetivo 1, los cuales evidencian una mayor concentración en aplicaciones asociadas a la biotecnología blanca, especialmente en procesos relacionados con la valorización de residuos. En consecuencia, la propuesta se orientó hacia el aprovechamiento de biomasa residual generada por actividades agrícolas de la provincia por su disponibilidad y bajo los principios de

bioeconomía al promover la transformación de residuos en productos de valor agregado mediante procesos biotecnológicos accesibles.

Para el cumplimiento de este objetivo, el procedimiento metodológico se estructuró en cinco etapas: (i) caracterización productiva de la provincia de Imbabura e identificación de biomasa residual, (ii) evaluación de alternativas de valorización biotecnológica, (iii) selección de la especie biológica y diseño del sistema de cultivo, (iv) formulación técnico-productiva del bioemprendimiento y (v) evaluación de viabilidad técnico-económica.

3.2.1. Caracterización productiva de la provincia de Imbabura e identificación de biomasa residual

Esta etapa tuvo como finalidad identificar los principales sistemas productivos agrícolas de la provincia de Imbabura y los residuos generados por dichas actividades. Para ello, se realizó una revisión de fuentes secundarias oficiales, incluyendo estadísticas agropecuarias publicadas por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) y la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) y otros documentos técnicos relacionados con la producción agrícola provincial.

A partir de esta información se identificaron los cultivos con mayor relevancia productiva en la provincia, considerando variables como superficie cultivada, volumen de producción y distribución territorial. Posteriormente, mediante revisión bibliográfica especializada, se determinaron los residuos agroindustriales asociados a cada cultivo y su potencial de aprovechamiento biotecnológico.

Los residuos identificados fueron comparados considerando criterios de disponibilidad, volumen potencial de generación, continuidad de suministro, facilidad de acceso, composición lignocelulósica y antecedentes de aprovechamiento reportados en la

literatura científica. Este análisis permitió seleccionar la biomasa residual con mayor potencial para el desarrollo de la propuesta de bioemprendimiento.

3.2.2. Evaluación de alternativas de valorización biotecnológica

Una vez identificada la biomasa residual de interés, se realizó una revisión bibliográfica orientada a identificar alternativas biotecnológicas para su valorización. La búsqueda de información se desarrolló en bases de datos científicas priorizando artículos científicos relacionados con el aprovechamiento de residuos lignocelulósicos por su presencia en residuos agrícolas, bioconversión de biomasa residual y producción de bienes de valor agregado.

Las alternativas encontradas fueron analizadas considerando criterios como complejidad técnica, requerimientos de infraestructura, nivel de inversión, disponibilidad tecnológica, escalabilidad y pertinencia para contextos locales. Asimismo, se evaluó su alineación con los principios de bioeconomía, priorizando aplicaciones capaces de generar valor económico a partir de residuos agrícolas mediante procesos sostenibles.

3.2.3. Evaluación de alternativas biológicas y métodos de acondicionamiento del sustrato

Posteriormente, para la alternativa biotecnológica seleccionada, se realizó una revisión bibliográfica especializada con el fin de identificar los organismos biológicos potencialmente aplicables y los requerimientos técnicos asociados a su implementación. El análisis consideró criterios relacionados con la adaptabilidad a las condiciones locales, disponibilidad de insumos, requerimientos operativos, complejidad técnica, rendimiento reportado en la literatura y potencial de escalabilidad.

Adicionalmente, se evaluó la compatibilidad de las alternativas biológicas identificadas con las condiciones climáticas predominantes de la provincia de Imbabura, así como su capacidad de desarrollarse sobre residuos lignocelulósicos de origen agrícola.

Posteriormente, se revisaron diferentes métodos de acondicionamiento del sustrato reportados en la literatura científica, incluyendo esterilización, pasteurización y alcalinización. La comparación consideró aspectos técnicos, costos operativos, requerimientos de infraestructura, consumo energético y aplicabilidad en sistemas productivos de pequeña escala, con el propósito de establecer criterios para la selección del método de preparación más adecuado para la propuesta.

3.2.4. Formulación técnico-productiva del bioemprendimiento

Con la información obtenida en las etapas anteriores, se procedió a la formulación del sistema productivo propuesto. Para ello, se sistematizaron los parámetros técnicos reportados en la literatura científica relacionados con la preparación del sustrato, inoculación, incubación, fructificación, cosecha y rendimiento esperado del cultivo.

La presente propuesta se estructuró jurídicamente bajo la categoría de microempresa de conformidad con el Código Orgánico de la Producción, Comercio e Inversiones (COPCI) del Ecuador, esto define al proyecto como una unidad productiva de mínima escala, operada por un personal de 1 a 9 trabajadores y con un umbral de ventas brutas anuales inferior a los $300.000 (ANRE, 2010). El diseño de este modelo está concebido y adaptado específicamente para que las comunidades agrícolas de Imbabura puedan implementarlo de forma directa en sus propios territorios, apropiándose del proceso técnico. De igual forma, esta metodología permite una de escalabilidad operativa, entendida como la capacidad para incrementar su volumen de producción, expandir sus canales de comercialización y absorber una mayor demanda del mercado mediante la replicación estandarizada de sus procesos tecnológicos y la optimización de los recursos

biológicos locales, sin incurrir en un aumento exponencial de sus costos fijos estructurales. En este contexto, se definieron las etapas operativas del proceso, los requerimientos de insumos, las condiciones de operación, la infraestructura mínima necesaria y la distribución espacial de las áreas de trabajo.

Adicionalmente, se elaboró un esquema general del proceso productivo y una propuesta de distribución física de las áreas operativas, con el propósito de facilitar la implementación y replicabilidad del sistema en comunidades rurales o asociaciones productivas de la provincia.

3.2.5. Evaluación de viabilidad económica

Finalmente, se realizó una evaluación de viabilidad económica con el fin de determinar el potencial de implementación de la propuesta. Para ello, se efectuó una estimación conceptual de los costos asociados a la puesta en marcha y operación del bioemprendimiento, considerando infraestructura básica, equipamiento, insumos, transporte, arrendamiento y costos operativos recurrentes.

Asimismo, se estimó la capacidad productiva potencial del sistema a partir de parámetros de rendimiento reportados en la literatura científica, permitiendo proyectar ingresos referenciales y analizar la relación entre costos e ingresos esperados. Este análisis permitió determinar el potencial del bioemprendimiento como una alternativa de valorización biotecnológica alineada con los principios de la bioeconomía y el desarrollo sostenible.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados de la revisión sistemática del impacto de la biotecnología en la bioeconomía del Ecuador

El análisis bibliográfico realizado a partir de siete bases de datos (*MDPI, Scielo, Scopus, PubMed, Springer Nature, ScienceDirect y Redalyc*) permitió identificar un total de 147 referencias, de estas 45 cumplieron con los criterios de inclusión tras el proceso de cribado (87 excluidas y 15 duplicadas. Estos resultados evidencian una producción científica aún limitada sobre el impacto de la biotecnología en la bioeconomía del Ecuador, considerando que la estrategia de búsqueda fue amplia e incluyó siete de las principales bases de datos científicas.

Con el propósito de sintetizar las principales características de los estudios seleccionados y facilitar el análisis comparativo de la evidencia, la **Tabla 2** describe los artículos incluidos en la revisión. Para cada estudio se recopilaron variables relacionadas con el año de publicación, la relación con la biotecnología, el tipo de biotecnología, el sector económico de aplicación y el nivel de madurez productiva. Estas categorías constituyen los ejes de análisis desarrollados en las secciones siguientes, permitiendo identificar tendencias, áreas de aplicación, grado de desarrollo tecnológico y contribuciones de la biotecnología al fortalecimiento de la bioeconomía en el Ecuador.

Tabla 2. Resumen de los artículos incluidos en la revisión sistemática

N°	Título Del Artículo	Autor(es)	Año	Relación Con La Biotecnología	Tipo De Biotecnología	Sector Económico	Nivel De Madurez Productiva
1	Caracterización bromatológica y evaluación de la actividad antimicrobiana en cáscara de banano Ecuatoriano (*Musa paradisiaca*)	Pilco et al.	2018	Alta	Roja	Salud, farmacéutico y cosmético	Experimental / Laboratorio
2	Hacia una política pública del bioconocimiento: ciencia, tecnología e investigación	Samaniego Ponce	2018	Baja	Sin clasificación definida	Industrial biobasada	Conceptual
3	Bioeconomía: una revisión desde la experiencia de Ecuador y Bolivia	Lugo-Morin	2019	Baja	Morada	No aplica	Conceptual
4	Caracterización del aceite de semilla de la especie Prosopis juliflora ecuatoriana	Zamora-Zamora et al.	2019	Baja	Sin clasificación definida	Industria biobasada	Experimental / Laboratorio
5	Bioeconomía: una alternativa para la conservación	Lombeyda Miño	2020	Baja	Verde	No aplica	Conceptual
6	Potential for Farmers' Cooperatives to Convert Coffee Husks into Biochar and Promote the Bioeconomy in the North Ecuadorian Amazon	Mario A. Heredia Salgado et al.	2021	Moderada	Blanca	Agrícola	Piloto/Preindustrial
7	Bacterial Nanocellulose Derived from Banana Leaf Extract: Yield and Variation Factors	Fiallos-Cárdenas et al.	2021	Alta	Blanca	Industria biobasada	Experimental
8	Prospects of Microalgae for Biomaterial Production and Environmental Applications at Biorefineries	Lourdes Orejuela-Escobar et al.	2021	Alta	Azul	Acuícola y pesquero	Conceptual
9	Second generation biorefining in Ecuador: Circular bioeconomy, zero waste technology, environment and sustainable development: The nexus	Orejuela-Escobar et al.	2021	Moderada	Blanca	Industrial biobasada	Potencial/Propuesta
10	Potencial de Biomasa en América del Sur para la Producción de Bioplásticos. Una Revisión	Vargas-García et al.	2021	Alta	Blanca	Industrial biobasada	Piloto/Preindustrial
11	Evaluation of the Circular Economy in a Pitahaya Agri-Food Chain	Karel Diéguez-Santana et al.	2022	Baja	Sin clasificación definida	Agrícola	Piloto/Preindustrial
12	BIODIVERSITY, CULTURE AND BIOECONOMY IN LATIN AMERICA	Héctor & Gaínza	2022	Baja	Sin clasificación definida	No aplica	Conceptual
13	Exploring the techno-economic feasibility of new bioeconomy concepts: Solar-assisted thermochemical biorefineries	Gutiérrez et al.	2022	Moderada	Blanca	Energético	Piloto / Preindustrial
14	Cultivating Biodiversity to Harvest Sustainability: Vermicomposting and Inoculation of Microorganisms for Soil Preservation and Resilience	Maysa Mathias Alves Pereira et al.	2023	Alta	Gris	Agrícola	Piloto/Diagnóstico
15	Alternativas y desafíos para enfrentar la transición de la era post petrolera en el Ecuador	Rodríguez Galarza et al.	2023	Baja	Blanca	No aplica	Conceptual
16	Exploring a Low-Cost Valorization Route for Amazonian Cocoa Pod Husks through Thermochemical and Catalytic Upgrading of Pyrolysis Vapors	Villasana et al.	2023	Moderada	Blanca	Energético	Experimental / Laboratorio

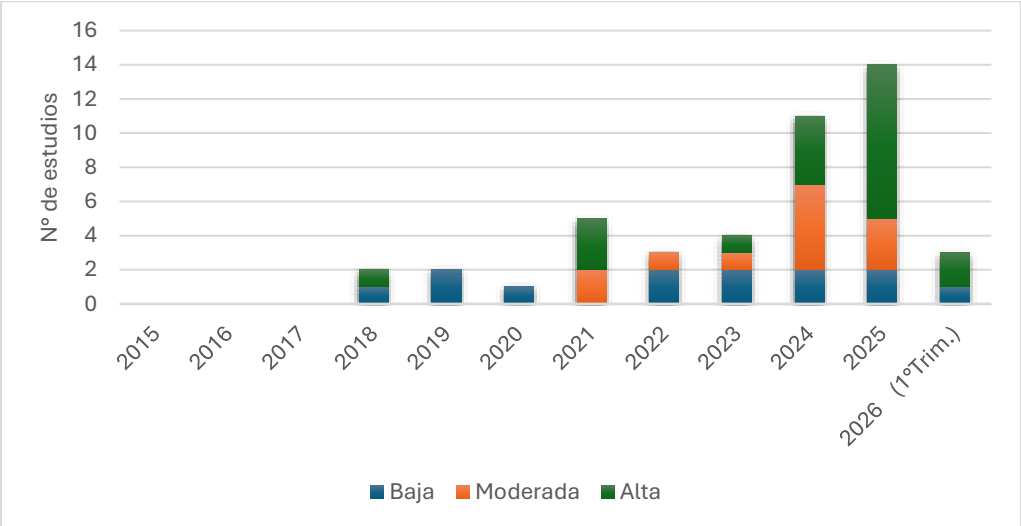
17	A circular waste bioeconomy development model in the Ecuadorian fishery industry: the impact of government strategy on supply chain integration and smart operations	Negash et al.	2023	Baja	Sin clasificación definida	Acuícola y pesquero	Conceptual
18	A Circular Bioeconomy Approach to Using Post-Bioadsorbent Materials Intended for the Removal of Domestic Wastewater Contaminants as Potential Reinforcements	Cristina E. Almeida-Naranjo et al.	2024	Alta	Gris	Industria biobasada	Experimental
19	Valorization of Yellowfin Tuna Tails: From Proteolytic Enzyme Production to Gelatin and Antioxidant Hydrolysate Extraction	Alisson Sisa et al.	2024	Alta	Blanca	Acuícola y pesquero	Experimental
20	Transcultural bioeconomy governance in a plurinational state: Sumak Kawsay and bio-based production in two Kichwa territories of Ecuador	Cuestas-Caza et al.	2024	Baja	Sin clasificación definida	Agroindustrial	Conceptual
21	Hemicelluloses from bioresidues and their applications in the food industry – towards an advanced bioeconomy and a sustainable global value chain of chemicals and materials	Mathura et al.	2024	Moderada	Blanca	Agroindustrial	Potencial/Propuesta
22	Biological and economic feasibility of cultivating the mangrove cockle *Anadara tuberculosa* (Sowerby, 1833) in a shrimp farm reservoir with estuarine influence in Santa Elena, Ecuador	Rodríguez-Pesantes et al.	2024	Moderada	Azul	Acuícola y pesquero	Piloto / Preindustrial
23	Nanocellulose and microcrystalline cellulose from citrus processing waste: A review	Ciriminna et al.	2024	Moderada	Blanca	Industrial biobasada	Potencial / Propuesta
24	Learning from hype *en route* to fulfill the industrial potential of nanocellulose	Ciriminna et al.	2024	Moderada	Blanca	Industrial biobasada	Conceptual
25	Advances in the Production of Sustainable Bacterial Nanocellulose from Banana Leaves	Dáger-López et al.	2024	Alta	Blanca	Industrial biobasada	Experimental / Laboratorio
26	Initial study on natural fibers for use in concrete mixes as a sustainable materials alternative	Batallas et al.	2024	Baja	Sin clasificación definida	Agroindustrial	Potencial / Propuesta
27	Efecto de dos sistemas de labranza sobre las propiedades biológicas en un suelo bajo tres especies vegetales - segundo ciclo	Arahana et al.	2024	Moderada	Verde	Agrícola	Experimental / Laboratorio
28	Benefits associated with the implementation of biological control programmes in Latin America	Colmenarez & Vásquez	2024	Alta	Verde	Agrícola	Conceptual
29	Comparing Ecuadorian Cocoa Mucilage-Based Bio-Ethanol and Commercial Fuels Toward Their Performance and Environmental Impacts in Internal Combustion Engines	Cristian Laverde-Albarracín et al.	2025	Alta	Blanca	Energético	Experimental
30	A case study in the emerging bioeconomy: biobased solvents dihydrolevoglucosenone and 2-methyltetrahydrofuran	Angellotti et al.	2025	Moderada	Blanca	Agroindustrial	Aplicativo/Productivo
31	Bioremediation of restaurant wastewater using extremophilic *Galdieria sulphuraria*: An approach contributing to circular bioeconomy and environmental sustainability	Ahmad et al.	2025	Alta	Gris	Industrial biobasada	Experimental
32	Cocoa husk in the circular bioeconomy: a perspective from Ecuador and other producer countries	Alava et al.	2025	Baja	Sin clasificación definida	Agroindustrial	Potencial/Propuesta
33	Bioenergy from Biomass as an Ecuador-Peru Border Circular Economy Strategy	Romero-Bonilla et al.	2025	Alta	Blanca	Energético	Experimental / Laboratorio

34	Biomass valorization using 3D-printed catalysts	Murugesan et al.	2025	Moderada	Blanca	Industrial biobasada	Potencial / Propuesta
35	Partnerships with Indigenous Peoples for an ethical bioeconomy	Astolfi et al.	2025	Alta	Blanca	Salud, farmacéutico y cosmético	Conceptual
36	Evaluation of the chemical composition and functional properties of the cobs of two varieties of corn	Quinaluisa et al.	2025	Moderada	Amarilla	Agroindustrial	Experimental / Laboratorio
37	Estudio de residuos biomásicos agrícolas para la instalación de una biorrefinería de pequeña escala	Solís Bermúdez et al.	2025	Alta	Blanca	Agroindustrial	Potencial / Propuesta
38	Obtención de bioetanol a partir de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao*) usando *Trichoderma reesei* y *Trichoderma ghanense* para la hidrólisis enzimática	Vielma Puente et al.	2025	Alta	Blanca	Energético	Experimental / Laboratorio
39	Desarrollo de una propuesta de producción de espirulina en polvo aplicando principios de economía circular para la industrialización	Sayavedra-Delgado	2025	Alta	Verde	Industria biobasada	Potencial / Propuesta
40	Prototype of a Biodegradable Plate Made from Sugarcane Bagasse: Evaluation of Formation and Mechanical Properties	López Velástegui et al.	2025	Baja	Sin clasificación definida	Industrial biobasada	Experimental / Laboratorio
41	High-Pressure Green Technologies for the Recovery and Functionalization of Bioactive Compounds from *Petiveria alliacea*	Burgos-Briones et al.	2025	Alta	Blanca	Salud, farmacéutico y cosmético	Experimental
42	Indigenizing fungal biotechnology for planetary health: an opinion paper	Pérez et al.	2025	Alta	Gris	No aplica	Conceptual
43	From dairy by-products to bioproducts: A PRISMA-guided review of cheese whey permeate valorization using the non-conventional yeast *Kluyveromyces marxianus*	Martimucci et al.	2026	Alta	Blanca	Industrial biobasada	Conceptual
44	Transition to a Sustainable Bioeconomy in Ecuador: Resource Efficiency of the Austrian Economy with Comparative Evidence from South America	Juan Manuel García-Samaniego et al.	2026	Baja	Sin clasificación definida	Agrícola	Conceptual
45	Fermentation Technologies to Produce and Improve Alternative Protein Sources	Coronel-León et al.	2026	Alta	Blanca	Agroindustrial	Conceptual

4.1.1 Eje científico

Desde una perspectiva temporal, la producción científica sobre el impacto de la biotecnología en la bioeconomía del Ecuador evidencia una tendencia creciente a partir de 2021. Entre 2015 y 2020 la actividad investigativa fue limitada, registrándose únicamente cinco publicaciones: 2 en 2018 (1,2), 2 en 2019 (3,4) y 1 en 2020 (5). A partir de 2021 se observa un incremento sostenido en la producción científica, reflejando un mayor interés por esta línea de investigación. Como se muestra en la **Figura 2**, durante 2021 se identificaron cinco publicaciones (6,7,8,9,10), seguidas de tres en 2022 (11,12,13) y cuatro en 2023 (14,15,16,17). El crecimiento se intensificó en 2024, año en el que se registraron once publicaciones (18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28), alcanzando su punto más alto en 2025 con catorce estudios (29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42). Asimismo, durante el primer trimestre de 2026 ya se identificaron tres publicaciones (43,44,45), lo que sugiere la continuidad y consolidación de la investigación en este campo.

Figura 2. Distribución Anual De Estudios Según Su Relación Con La Biotecnología



Este comportamiento refleja un punto de inflexión reciente, asociado tanto al fortalecimiento del interés académico como a hitos institucionales clave en el país. De igual forma la consolidación del Libro Blanco de la Bioeconomía en 2024, la

implementación en 2025 de la primera Cuenta Satélite de Bioeconomía del Ecuador, y el impulso de iniciativas en 2026 como “Bionegocios Ecuador: sostenibilidad de la biodiversidad nativa”, orientadas al desarrollo de negocios basados en el uso sostenible de la biodiversidad, lideradas por el Ministerio del Ambiente y ejecutadas por la Fundación Heifer con financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) y apoyo de Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe (CAF) son pruebas del incremento de interés por el desarrollo de la bioeconomía en el país (García, 2024; MAATE 2025; Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe, 2022).

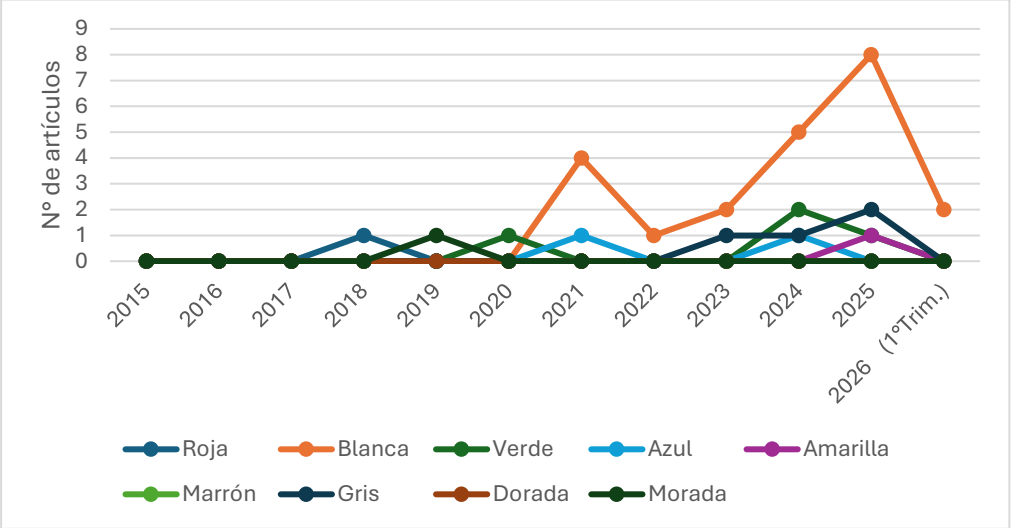
En cuanto a la intensidad de la relación con la biotecnología, predomina la categoría alta, con un total de 20 publicaciones (1,7,8,10,14,18,19,25,28,29,31,33,35,37,38,3941,42,43,45), especialmente concentrados en los años 2024 y 2025. Este resultado refuerza el papel de la biotecnología como un pilar fundamental para el desarrollo de la bioeconomía en el Ecuador, evidenciando que la mayoría de las investigaciones analizadas la abordan como el componente central de sus propuestas. En contraste, las categorías de relación moderada y baja agrupan 12 (6,9,13,16,21,22,23,24,27,30,34,36) y 13 publicaciones (2,3,4,5,11,12,15,17,20,26,32,40,44) respectivamente, las cuales incorporan la biotecnología como un elemento complementario o contextual dentro de enfoques más amplios relacionados con la sostenibilidad, la economía circular, el desarrollo territorial o la formulación de políticas públicas.. Esta distribución puede explicarse por la naturaleza interdisciplinaria de la bioeconomía, donde convergen perspectivas no solo tecnológicas, sino también económicas, políticas y ecológicas. En este sentido, diversos estudios priorizan enfoques estructurales o sistémicos como la sostenibilidad o la economía circular sin centrarse directamente en procesos biotecnológicos específicos.

Las tendencias encontradas tras la revisión sistemática son congruentes con la amplitud del campo bioeconómico, sin embargo, la baja cifra total de documentos respalda la idea de una bioeconomía aún en etapas tempranas. Esta situación también se relaciona con lo señalado en el Libro Blanco de la Bioeconomía del Ecuador (2024), donde se identifican limitados incentivos para la investigación, innovación y desarrollo bioeconómico. En consecuencia, aunque el país presenta avances recientes en generación de conocimiento pero se evidencia una brecha entre el potencial biológico y su aprovechamiento biotecnológico, lo que refleja que Ecuador se encuentra en una fase inicial de consolidación de la bioeconomía como un modelo integrado de desarrollo sostenible.

4.1.2 Eje productivo

El análisis de la evolución del tipo de biotecnología en Ecuador evidencia una clara concentración de investigaciones en la biotecnología blanca, con 22 estudios acumulados (6,7,9,10,13,15,16,19,21,23,24,25,29,30,33,34,35,37,38,41,43,45), seguida por la biotecnología verde con 4 (5,27,28,39), la biotecnología gris con 4 (14, 18, 31, 42), mientras que la biotecnología azul tiene 2 (8,22), amarilla 1 (36) y morada 1 (3) lo que presenta una participación significativamente menor. Como se observa en la **Figura 3**, esta tendencia se intensifica a partir de 2021 y alcanza su mayor desarrollo durante 2024 y 2025, años en los que se registra el mayor número de publicaciones asociadas a la biotecnología blanca. Además, en 10 documentos (2,4,11,12,20,26,32,40,44) no hay ejemplos claros de biotecnología por lo que se catalogaron como “Sin clasificación definida” por lo que no fueron incluidos.

Figura 3. Evolución Biotecnológica del Ecuador



Este patrón refleja que el desarrollo bioeconómico en el país se orienta principalmente hacia procesos industriales basados en el aprovechamiento de biomasa([10,29,33,34,35,41](#)), como la valorización de residuos([6,7,9,13,15,19,21,23,30,37,43](#)),y optimización de procesos([13,24,25,38,45](#)), lo cual es consistente con enfoques de bioeconomía que priorizan la generación de valor agregado a partir de recursos biológicos. En contraste, otras áreas biotecnológicas presentan una participación limitada y poco diversificada, lo que sugiere una subutilización de sectores con alto potencial, como el agrícola y el pecuario, los recursos marinos o las aplicaciones ambientales. Esta concentración indica que si bien existe un avance en términos tecnológicos, el desarrollo bioeconómico aún no logra una integración equilibrada entre los distintos ámbitos productivos que pueden tener un gran potencial debido a la biodiversidad propia del país. Adicionalmente, la evolución temporal muestra que antes de 2020 la producción científica era prácticamente inexistente, mientras que a partir de 2021 se inició un crecimiento sostenido, el cual se intensificó durante 2024 y 2025. Sin embargo, este crecimiento se concentra principalmente en investigaciones relacionadas con la biotecnología blanca, especialmente en el aprovechamiento de biomasa residual, la valorización de residuos y la optimización de procesos industriales. En contraste,

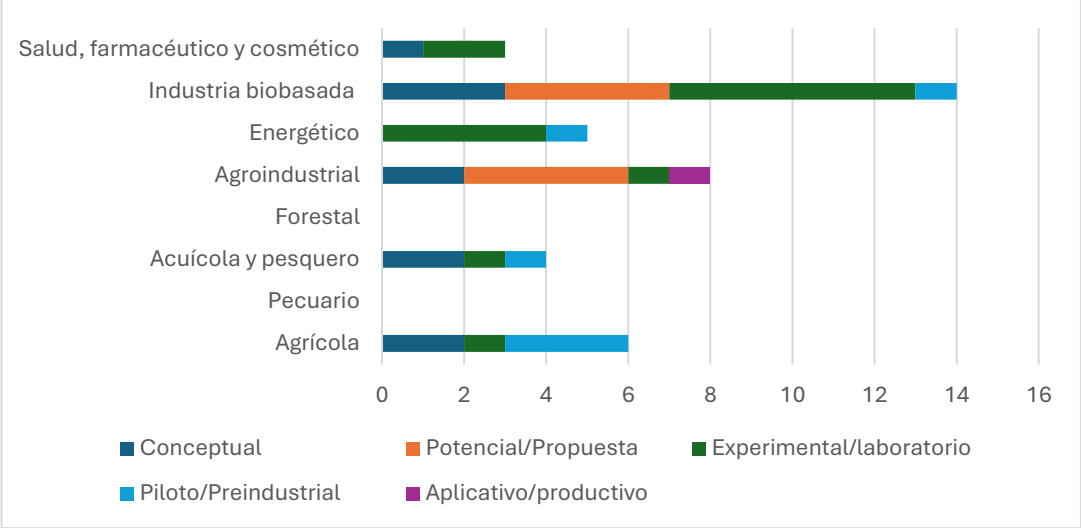
áreas como la biotecnología agrícola y pecuaria, el aprovechamiento de recursos marinos y las aplicaciones ambientales presentan una participación limitada, evidenciando una escasa diversificación del desarrollo bioeconómico en el país.

En consecuencia, los resultados evidencian que la bioeconomía en Ecuador se encuentra en una fase emergente y parcialmente especializada, con avances importantes en el ámbito industrial, pero aún con desafíos en la diversificación biotecnológica y en la consolidación de un modelo productivo bioeconómico más integrado y sostenible.

4.1.3 Eje de madurez productiva y articulación territorial

El análisis de la madurez del sistema productivo bioeconómico, presentado en la **Figura 4**, evidencia una fuerte concentración en etapas tempranas del desarrollo tecnológico. La mayoría de las publicaciones se ubican en niveles conceptual con 16 (2,3,5,8,12,15,17,20,24,28,35,38,42,43,44,45), potencial/propuesta con 8 (9,21,23,26,32,34,37,39) y experimental/laboratorio con 14 (1,4,7,16,18,19,25,27,29,31,33,36,40,41) mientras que las fases más avanzadas presentan una participación significativamente menor, con 6 estudios en etapa piloto/preindustrial (6,10,11,13,14,22) y apenas 1 en nivel aplicativo/productivo (30).

Figura 4. Evolución Biotecnológica del Ecuador (2015–1° Trimestre 2026)



Este patrón confirma la existencia de una brecha estructural entre la generación de conocimiento y su implementación productiva, lo que limita la consolidación de la bioeconomía como motor económico. A nivel sectorial, la industria biobasada lidera el desarrollo al presentar estudios en todas las fases de madurez productiva, con predominio del nivel experimental/laboratorio, que concentra 6 estudios (4,7,18,25,31,40), seguido del nivel potencial/propuesta con 4 (9,23,34,39) y del nivel piloto/preindustrial con 1 (10). Le siguen los sectores energético y agroindustrial, cuyos estudios se concentran principalmente en etapas intermedias. En contraste, los sectores pecuario y forestal no registran investigaciones asociadas, evidenciando una subutilización de áreas estratégicas. Por otro lado, el sector agrícola, con 3 estudios (6,11,14) muestra avances hacia la fase piloto/preindustrial, lo que sugiere un potencial de escalamiento aún incipiente. En el caso del sector salud, las investigaciones (1, 35, 41) permanecen en niveles iniciales, sin evidencias de transición hacia aplicaciones productivas.

Finalmente, cinco estudios (3,5,12,15,42) no pudieron asociarse a un sector económico específico debido a su enfoque sociopolítico, por lo que fueron clasificados como "No aplica" en la **Tabla 2**.

Esta situación se relaciona con lo planteado por Riera (2021), quien dice que, pese al alto potencial del Ecuador en recursos biológicos, persisten limitaciones en el desarrollo de la bioeconomía debido a la falta de marcos regulatorios sólidos y de un compromiso institucional efectivo. En este contexto, la ausencia de políticas articuladas y de incentivos adecuados restringe la consolidación de bioindustrias y dificulta la transición hacia una matriz productiva basada en el aprovechamiento sostenible de los recursos biológicos.

En conjunto, el sistema bioeconómico ecuatoriano se configura como un ecosistema en transición, con avances importantes en generación de conocimiento, con alta influencia biotecnológica, pero con limitaciones significativas en su madurez productiva y en su articulación territorial, lo que restringe su consolidación como modelo de desarrollo sostenible.

4.2 Propuesta de bioemprendimiento biotecnológico en el contexto de Imbabura

4.2.1 Identificación del contexto territorial

La provincia de Imbabura presenta una estructura productiva agrícola diversa, caracterizada por una importante generación de biomasa derivada de sus principales cultivos. Según datos de la Instituto Nacional de Estadística y Censos (ESPAC 2023) se destacan cultivos como maíz suave seco (3.124 ha sembradas), fréjol seco (2.554 ha), caña de azúcar (2.288 ha), plátano (1.855 ha) y aguacate (1.496 ha), los cuales concentran gran parte de la superficie agrícola del territorio. En términos de producción, la caña de azúcar alcanza volúmenes significativamente superiores (177.740 toneladas), seguida por otros cultivos como plátano (7.697 t), palma africana (4.866 t) y maíz suave (4.457 t), lo que evidencia una alta disponibilidad de materia orgánica residual. Esta diversidad de cultivos, junto con sus volúmenes de producción, genera distintos tipos de residuos agroindustriales lignocelulósicos que generalmente son quemados o son considerados como desechos, que constituyen una base importante para su aprovechamiento en procesos biotecnológicos (Devi et al., 2023).

En este contexto, la disponibilidad constante de biomasa en el territorio representa una oportunidad para el desarrollo de propuestas de bioemprendimiento orientadas a la valorización de residuos y la generación de valor agregado, en línea con los principios de la bioeconomía. A partir de este análisis, se identifica que la caña de azúcar constituye la alternativa más relevante como fuente de sustrato, debido a su elevado

volumen de producción y a su carácter de cultivo permanente, lo que garantiza una disponibilidad continua de biomasa residual a lo largo del tiempo.

Desde una perspectiva biotecnológica, la caña de azúcar presenta características favorables para su aprovechamiento como sustrato, debido a la composición lignocelulósica de sus residuos, como el bagazo, el cual contiene celulosa, hemicelulosa y lignina, componentes que pueden ser degradados por diversos microorganismos (Sánchez, 2009; Pandey et al., 2000). Esta estructura la convierte en una materia prima adecuada para procesos biotecnológicos orientados a la producción de biomasa, alimentos y otros productos de valor agregado, particularmente en sistemas que emplean hongos ligninolíticos, capaces de transformar eficientemente este tipo de residuos (Varnero et al., 2010). Estas características la posicionan como una opción viable para su aprovechamiento en aplicaciones biotecnológicas dentro del contexto provincia.

4.2.2 Evaluación de aplicaciones potenciales de residuos lignocelulósicos

A partir del análisis de la literatura científica, los residuos lignocelulósicos presentan diversas aplicaciones, incluyendo la producción de biocombustibles, biomateriales y compuestos de valor agregado, debido a su alto contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina, que los convierte en un recurso renovable ampliamente disponible (Chougala et al., 2025; Basera et al., 2024). Asimismo, estos residuos pueden emplearse en procesos de fermentación y producción de enzimas mediante bioconversión microbiana, destacándose su uso en sistemas de fermentación en estado sólido por su bajo costo operativo y requerimientos técnicos relativamente simples (Kumar et al., 2016).

Sin embargo, muchas de estas aplicaciones requieren infraestructura tecnológica avanzada y altos niveles de inversión, lo que limita su implementación en contextos

locales. En contraste, el uso de residuos lignocelulósicos como sustrato para el cultivo de hongos representa una alternativa más accesible, ya que permite aprovechar materiales de bajo costo, reduce significativamente los gastos asociados al sustrato, uno de los principales componentes del sistema productivo y puede implementarse con tecnologías simples y adaptables a escalas comunitarias (Devi et al., 2023). Además, diversas especies de hongos han demostrado la capacidad de crecer eficientemente sobre residuos agroindustriales, transformándolos en productos de valor agregado como biomasa comestible, lo que refuerza su viabilidad técnica y económica (Sánchez, 2009). En este contexto, se selecciona el uso de residuos lignocelulósicos como sustrato para la producción de hongos, debido a su bajo requerimiento de inversión, facilidad de implementación y potencial para generar valor a partir de biomasa residual en sistemas productivos locales.

4.2.3 Análisis comparativo de especies comestibles basado en criterios productivos y nutricionales

En Ecuador existe una diversidad importante de hongos comestibles, tanto silvestres como cultivados, registrándose decenas de especies utilizadas por distintos grupos poblacionales. Sin embargo, la producción y comercialización se concentran en un número reducido de especies con mayor viabilidad productiva y adaptación a sistemas controlados, entre las que destacan *Agaricus bisporus*, especies del género *Pleurotus (P. ostreatus y P. djamor)* y *Lentinula edodes*. (Scalvenzi et al., 2024). Estas especies a pesar de tener orígenes geográficos diversos tienen un potencial de adaptación a los climas que tiene los cantones de Imbabura.

A partir de estos antecedentes, se realizó una evaluación comparativa de las principales especies consumidas en el país, considerando criterios técnicos y productivos, específicamente el tiempo de fructificación y los requerimientos nutricionales.

En cuanto al tiempo de fructificación, las especies del género *Pleurotus* presentan ciclos relativamente cortos, con periodos de colonización de aproximadamente 14 a 30 días y aparición de cuerpos fructíferos entre 10 y 20 días posteriores, dependiendo del sustrato y las condiciones de cultivo (Silva et al., 2024; Joshi et al., 2020). En contraste, *A. bisporus* requiere entre 30 y 45 días para la producción, un mayor requerimiento de nitrógeno en comparación a las otras especies y una fase previa de compostaje del sustrato que incrementa la duración total del proceso (Zicari et al., 2012). Por su parte, *L. edodes* presenta ciclos considerablemente más largos, con una fase de colonización de aproximadamente 30 días, seguida de una etapa de maduración que puede extenderse entre 30 y 90 días, lo que da lugar a tiempos totales de producción cercanos a 90–120 días dependiendo del sistema de cultivo (Villegas et al., 2007).

Se evaluaron los requerimientos nutricionales de estas especies, considerando su relación con el tipo de sustrato y la complejidad del proceso productivo. En términos generales, los hongos comestibles comparten la capacidad de desarrollarse sobre materiales ricos en carbono, especialmente compuestos lignocelulósicos, los cuales aportan la energía necesaria para el crecimiento micelial y la formación de cuerpos fructíferos (Scalvenzi et al., 2024). No obstante, se evidencian diferencias importantes entre especies. Las especies del género *Pleurotus* destacan por su capacidad de degradar eficientemente una amplia variedad de residuos lignocelulósicos, como paja, bagazo y subproductos agrícolas, gracias a la producción de enzimas como celulasas y ligninasas, lo que les permite crecer en sustratos de bajo costo y mínima preparación (Gómez et al., 2026). En contraste, *A. bisporus* requiere sustratos previamente compostados y enriquecidos, lo que implica mayores requerimientos nutricionales y procesos adicionales de acondicionamiento (Villegas et al., 2007). Por su parte, *L. edodes* presenta una mayor especificidad en el sustrato, mostrando mejores resultados en

materiales derivados de madera o aserrín suplementado, lo que limita su uso directo sobre residuos agrícolas sin tratamiento previo (Zicari et al., 2012).

En conjunto, al integrar los resultados del tiempo de fructificación y los requerimientos nutricionales, se determina que el género *Pleurotus* representa la alternativa más eficiente, debido a su rápido crecimiento y su capacidad de utilizar directamente residuos agroindustriales, reduciendo costos de producción y complejidad técnica en sistemas de escala local.

4.2.3.1 Selección de especie del género *Pleurotus* en función de criterios productivos y condiciones ambientales locales

Dentro del género *Pleurotus*, las especies *P, ostreatus* y *P, djamor* destacan como las más relevantes para sistemas productivos basados en residuos agroindustriales. En términos productivos, ambas especies presentan ciclos cortos y alta eficiencia biológica, sin embargo, *P. djamor* muestra una rápida aparición de primordios, alcanzando tiempos cercanos a 20 días en condiciones favorables de sustrato, lo que permite una mayor rotación productiva (Girmay et al., 2016; Vega & Franco, 2013). En relación con el tipo de sustrato, tanto *P. ostreatus* como *P. djamor* pueden desarrollarse sobre una amplia variedad de residuos lignocelulósicos. Asimismo, estudios comparativos muestran que ambas especies presentan capacidades similares de colonización y aprovechamiento del sustrato, mientras que las diferencias observadas en el rendimiento y la velocidad de crecimiento dependen principalmente del tipo de residuo utilizado y de las condiciones de cultivo, más que de la especie en sí (Mihai et al., 2022; İnci et al., 2024, Tello et al., 2016).

En relación con las condiciones ambientales, la temperatura constituye un factor determinante para el desarrollo del cultivo. En general, las especies del género *Pleurotus* presentan un crecimiento óptimo en rangos que oscilan entre 20 y 28 °C, con

variaciones dependiendo de la cepa y la etapa del cultivo, siendo la temperatura de fructificación ligeramente inferior a la de crecimiento micelial, *P. ostreatus* se adapta mejor a condiciones templadas dentro de este rango, mientras que *P. djamor*, como especie de origen tropical, muestra un mejor desempeño en temperaturas más elevadas dentro del mismo intervalo, lo que la hace más adecuada para ambientes cálidos (Bellettini et al., 2016).

En el contexto de la provincia de Imbabura, caracterizada por una alta variabilidad altitudinal y climática, estas diferencias adquieren relevancia para la selección de la especie. La provincia presenta un rango térmico aproximado entre 10°C y 22 °C en zonas andinas y valores superiores en sectores más bajos y subtropicales. Cantones como Ibarra, Antonio Ante y Cotacachi, con temperaturas medias cercanas a 18°C y 21 °C, favorecen el cultivo de *P. ostreatus*, mientras que zonas más cálidas o de menor altitud, donde las temperaturas pueden incrementarse, resultan más adecuadas para *P. djamor*. En conjunto, considerando su capacidad de adaptación, rápido ciclo productivo y mejor desempeño en condiciones térmicas más elevadas, *P, djamor* se establece como la alternativa más adecuada para el desarrollo de la propuesta en contextos donde se busca maximizar la eficiencia productiva y la valorización de residuos.

4.2.4 Procedimiento técnico para la producción de *Pleurotus djamor* a partir de residuos agroindustriales

El proceso de producción de *P djamor* se fundamenta en el crecimiento del micelio, estructura vegetativa del hongo formada por una red de hifas que coloniza el sustrato lignocelulósico. Durante este proceso, el micelio secreta un complejo enzimático compuesto principalmente por lacasas, manganeso peroxidasas, lignina peroxidasas, celulasas y xilanasas, las cuales degradan de manera progresiva la lignina, la celulosa y la hemicelulosa presentes en el bagazo de caña de azúcar, esta actividad enzimática

permite liberar compuestos de menor peso molecular que son posteriormente absorbidos y utilizados como fuente de carbono y energía para el crecimiento micelial y el desarrollo de los cuerpos fructíferos (Agrios, 2009; Kumla et al., 2020; Araújo et al., 2021). A partir de este principio biológico, el cultivo se organiza en una secuencia de etapas que incluyen la preparación del sustrato, la inoculación, la incubación y la fructificación, cada una de las cuales responde a condiciones específicas de humedad, temperatura y disponibilidad de oxígeno que determinan la eficiencia del proceso productivo.

4.2.4.1 Fundamentación técnica de la formulación del sustrato

La preparación del sustrato constituye una etapa fundamental en el cultivo de *P. djamor*, ya que de ella depende la disponibilidad de nutrientes y la eficiencia del proceso productivo. En este caso, el bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) tiene una composición lignocelulósica, constituida aproximadamente por 40–50 % de celulosa, 20–30 % de hemicelulosa y 20–30 % de lignina (Basera et al., 2024). Estas fracciones representan una importante fuente de carbono estructural para el desarrollo de hongos de pudrición blanca como *P. djamor*. Además de favorecer el desarrollo del hongo, el bagazo de caña constituye un sustrato adecuado para obtener un alimento con alto valor nutricional. En un estudio realizado por Medeiros et al. (2024), *P. djamor* cultivado sobre sustratos formulados con bagazo de caña produjo cuerpos fructíferos con un contenido de proteínas entre 17,80 y 18,77 %, fibra dietética entre 18,02 y 19,32 %, un bajo contenido lipídico (0,28–0,40 %) y un valor energético máximo de 258,42 kcal/100 g de materia seca. Asimismo, los hongos obtenidos en los tratamientos con bagazo presentaron los mayores contenidos de compuestos fenólicos y flavonoides, además de una elevada actividad antioxidante, evidenciando que este residuo agrícola no solo permite el crecimiento eficiente de *P. djamor*, sino también la obtención de un

alimento con propiedades nutricionales y funcionales de interés para el desarrollo de bioemprendimientos sostenibles.

No obstante, el bagazo de caña presenta un contenido limitado de nitrógeno, por lo que es necesario complementar el sustrato con una fuente nitrogenada que permita mantener una relación carbono:nitrógeno (C/N) adecuada para el crecimiento micelial y la formación de los cuerpos fructíferos. Con este propósito, se propone incorporar salvado de trigo equivalente al 15 % del peso húmedo del sustrato, debido a su elevado contenido de proteínas, aminoácidos, vitaminas del complejo B y minerales, nutrientes que favorecen el desarrollo del micelio y mejoran el rendimiento del cultivo. Diversos estudios han demostrado que la suplementación del sustrato con salvado de trigo incrementa el contenido de nitrógeno disponible, optimiza la relación C/N y mejora el crecimiento y la productividad de especies del género *Pleurotus*, incluyendo *P. ostreatus*, especialmente cuando se emplean proporciones entre 10 % y 20 %, siendo el 15 % una formulación ampliamente utilizada con resultados favorables en rendimiento y calidad de los cuerpos fructíferos (Sharma y Lal, 2024; Obiaigwe et al. 2023; Oseni et al., 2012). Para el acondicionamiento del bagazo, la literatura reporta tres métodos principales: esterilización, pasteurización y alcalinización, cada uno con implicaciones técnicas y económicas diferenciadas

4.2.4.2 Esterilización en autoclave

La esterilización consiste en someter el bagazo a altas temperaturas (121 °C) y presión (1,5 atm), generalmente mediante autoclave, con el objetivo de eliminar prácticamente todos los microorganismos presentes. Este método permite generar un ambiente altamente controlado, favoreciendo la colonización del micelio y reduciendo significativamente el riesgo de contaminación (Maheswari et al., 2021). No obstante, su aplicación requiere infraestructura especializada, alto consumo energético y

condiciones técnicas estrictas, lo que incrementa los costos de producción y limita su viabilidad en contextos comunitarios.

4.2.4.3 Pasteurización al vapor

La pasteurización se basa en la aplicación de temperaturas moderadas con el fin de reducir la carga microbiana del bagazo sin eliminar completamente todos los organismos presentes, este tratamiento puede realizarse mediante vapor, ya sea a 90 °C durante aproximadamente una hora o a 60 °C por periodos de hasta seis horas, logrando condiciones sanitarias adecuadas para la colonización del micelio (Sánchez & Mata, 2012, p. 108). Este método es considerado comercialmente viable en comparación con la esterilización, ya que requiere menores niveles de control y es considerado el más usado, sin embargo, sigue implicando el uso de equipo específico y consumo de energía, lo que puede dificultar su implementación en contextos comunitarios con recursos limitados (Nunes, 2016).

4.2.4.4 Inmersión Alcalina con Cal

Este proceso consiste en el tratamiento del bagazo mediante soluciones alcalinas, comúnmente hidróxido de calcio o cal hidratada [$Ca(OH)_2$], con el objetivo de elevar el pH del sustrato hasta valores entre 11 y 12, generando un ambiente altamente alcalino desfavorable para el desarrollo de microorganismos competidores. En estas condiciones, la mayoría de bacterias y otros microorganismos contaminantes experimentan alteraciones en sus mecanismos de homeostasis del pH, lo que afecta la estabilidad de la membrana celular, el transporte de nutrientes, la actividad enzimática y la generación de energía, reduciendo su capacidad de crecimiento y supervivencia. De esta manera, la alcalinización disminuye la carga microbiana del sustrato y favorece el posterior establecimiento y colonización del micelio de *P. djamor* (Padan et al., 2005). Este método ha sido ampliamente documentado como una alternativa eficiente

y de bajo costo para la preparación de sustratos en el cultivo de *Pleurotus*, ya que permite reducir la carga microbiana sin requerir el uso de calor ni infraestructura especializada, además, la inmersión alcalina no solo simplifica el proceso productivo, sino que también mantiene condiciones adecuadas para la colonización micelial, especialmente en sistemas basados en residuos lignocelulósicos (Grimm et al., 2024; Salamanca, 2018). En este sentido, su aplicación resulta particularmente relevante en contextos comunitarios, donde la disponibilidad de recursos es limitada y se priorizan tecnologías accesibles, replicables y de baja inversión.

En función de las características analizadas, se selecciona la inmersión alcalina como método de preparación del sustrato para el cultivo de *P. djamor*. Esta elección responde a su bajo costo, facilidad de implementación y mínima necesidad de infraestructura, lo que la convierte en una alternativa adecuada para contextos comunitarios. Además, su aplicación es compatible con residuos lignocelulósicos como el bagazo de caña de caña y la capacidad del hongo para colonizar eficientemente este tipo de sustratos permiten garantizar un proceso productivo viable, replicable y alineado con los principios de la bioeconomía y la valorización de residuos.

4.2.5 Preparación y acondicionamiento del sustrato de cultivo

Para la preparación del sustrato se parte de 1 kg de bagazo de caña seco, al cual debe someterse a un proceso de trituración para obtener partículas de 0,5 a 1 cm para mejorar su degradación por parte del hongo, además, se incorpora salvado de trigo equivalente al 15 % del peso húmedo del sustrato, con el fin de complementar el aporte de nitrógeno y favorecer el crecimiento micelial (Medeiros et al. 2024; Sharma y Lal, 2024). Posteriormente, el sustrato se somete a un proceso de alcalinización mediante inmersión en una solución de hidróxido de calcio [$Ca(OH)_2$] al 2 % (p/v), preparada con 20 g de $Ca(OH)_2$ por cada litro de agua. Para 1 kg de bagazo seco se recomienda emplear

aproximadamente 10 L de solución alcalina, garantizando la inmersión completa del material. El sustrato permanece sumergido durante 12 horas para incrementar el pH (11-12) y reducir la carga microbiana. Finalizada la inmersión, se deja escurrir durante 12 horas, eliminando el exceso de solución antes de proceder con la inoculación (Contreras et al., 2004; Nunes, 2016).

4.2.6 Incubación y colonización micelial

La inoculación consiste en la incorporación del micelio (spawn) en el sustrato previamente acondicionado, con el fin de iniciar la colonización. En el cultivo de *P. djamor*, la literatura recomienda tasas de inoculación que oscilan entre el 2% y 5% en base al peso húmedo del sustrato, siendo rangos mayores asociados a una colonización más rápida y menor riesgo de contaminación (Sánchez, 2009). No obstante, estudios experimentales en sustratos lignocelulósicos como el bagazo de caña han empleado proporciones mayores, alcanzando hasta un 10% de inóculo, lo que permite acelerar significativamente el proceso de colonización y mejorar la estabilidad del cultivo (Insuasti et al., 2016). En este sentido, para sistemas comunitarios se sugiere trabajar en rangos intermedios (5–10%), equilibrando eficiencia biológica y costos de producción. El micelio puede obtenerse a partir de proveedores especializados a nivel nacional, lo que facilita el acceso a insumos biotecnológicos sin requerir infraestructura para su producción. En el contexto ecuatoriano, existen iniciativas como *Inti Wasi*, que comercializan micelio de hongo ostra rosa a un costo aproximado de 16 USD por kilogramo, permitiendo estimar de manera preliminar los costos asociados a esta etapa. Una vez finalizada la preparación del sustrato, se incorpora el micelio (spawn) en una proporción equivalente al 5 % del peso húmedo del sustrato, mezclándolo de forma homogénea para favorecer una colonización uniforme. Posteriormente, la mezcla se introduce en fundas plásticas de polipropileno de alta densidad con capacidad

aproximada de 3 kg, las cuales se compactan ligeramente para eliminar bolsas de aire excesivas sin limitar la porosidad del sustrato. Cada funda incorpora pequeñas perforaciones distribuidas uniformemente en su superficie, las cuales se cubren con cinta microporosa que permite el intercambio de gases, facilitando el ingreso de oxígeno y la liberación del dióxido de carbono producido durante la respiración del micelio, al tiempo que reduce el ingreso de microorganismos contaminantes (Sánchez, 2007; Salamanca, 2018).

Las bolsas inoculadas se incuban en un ambiente limpio, manteniendo una temperatura entre 25 y 28 °C y una humedad relativa del 70–80 %, condiciones que favorecen el crecimiento y la colonización del micelio de *P, djamor*. Durante esta etapa, las bolsas permanecen en oscuridad o con iluminación mínima y con ventilación moderada para evitar la acumulación excesiva de dióxido de carbono sin provocar la desecación del sustrato, bajo estas condiciones, la colonización completa del bagazo de caña ocurre generalmente en un período aproximado de 20 días (Insuasti et al., 2016; Salmones, 2017). Se recomienda colocar las fundas inoculadas en un lugar que permita mantener la mayor cantidad de temperatura para beneficiar al proceso de colonización.

4.2.6 Fructificación y cosecha

Una vez completada la colonización del sustrato, se inicia la etapa de fructificación de manera natural aunque puede inducirse de manera artificial mediante la modificación controlada de las condiciones ambientales. El principal estímulo consiste en aplicar un choque térmico, reduciendo la temperatura entre 5 y 10 °C respecto a la etapa de incubación, estrategia que promueve la diferenciación de primordios y el inicio de la formación de los cuerpos fructíferos en especies del género *Pleurotus*, Para *Pleurotus djamor* se recomienda mantener temperaturas entre 18 y 20 °C, favoreciendo el desarrollo de los cuerpos fructíferos (Shen et al., 2014; Raman et al., 2020).

No obstante, considerando que la presente propuesta está dirigida a un modelo comunitario de bajo costo, donde el control preciso de la temperatura puede no ser factible, la inducción de la fructificación puede lograrse trasladando las bolsas desde el área de incubación hacia un espacio más ventilado y con menor temperatura ambiente, aprovechando el gradiente térmico natural entre ambos ambientes. Esta transición, junto con el incremento de la ventilación, la disminución de la concentración de dióxido de carbono, la exposición a luz difusa y el mantenimiento de una humedad relativa entre 85 y 90 %, constituye un estímulo suficiente para favorecer la formación de primordios y un desarrollo uniforme de los cuerpos fructíferos en sistemas de cultivo a pequeña escala (Villani et al., 2025).

Bajo estas condiciones, los primeros primordios suelen aparecer aproximadamente entre 5 y 10 días después del cambio de las condiciones ambientales de incubación a fructificación. Una vez iniciada esta etapa, los cuerpos fructíferos alcanzan su madurez comercial en un periodo adicional de 4 a 5 días, lo que permite completar ciclos productivos cortos, característica que distingue a *P. djamor* y favorece su implementación en sistemas productivos comunitarios (Sánchez, 2007). La cosecha se realiza de forma manual cuando los sombreros han alcanzado su tamaño comercial y los márgenes permanecen ligeramente enrollados, antes de que se produzca una liberación abundante de esporas. Esta práctica contribuye a mantener la calidad comercial del producto, prolongar su vida útil y preservar sus características organolépticas, además de facilitar el manejo sanitario dentro del área de cultivo.

Además, el cultivo puede presentar múltiples “oleadas” o cosechas sucesivas, separadas por intervalos de varios días, lo que incrementa el rendimiento total del sistema. En condiciones adecuadas, se pueden obtener entre dos y tres cosechas por ciclo productivo, dependiendo de la calidad del sustrato y del manejo del cultivo (Sánchez,

2009). Este comportamiento productivo refuerza la viabilidad del cultivo de *P. djamor* en sistemas de pequeña escala, al permitir una producción continua en periodos relativamente cortos.

4.2.7 Rendimiento esperado y eficiencia biológica

El desempeño productivo del cultivo de *P. djamor* puede evaluarse mediante distintos indicadores, entre los que destaca la eficiencia biológica (EB), ampliamente utilizada para determinar la capacidad del hongo de transformar el sustrato en cuerpos fructíferos. La EB se define como la relación entre el peso fresco de los hongos cosechados y el peso seco del sustrato utilizado, expresada en porcentaje (Vega & Franco, 2013).

En sistemas basados en bagazo de caña, este indicador presenta variaciones en función de la suplementación y las condiciones de cultivo, estudios experimentales reportan que *P. djamor* cultivado sobre bagazo alcanza valores de EB que oscilan entre aproximadamente 35% y 60%, cuando se cultiva sobre sustratos con bagazo de caña, pudiendo superar este intervalo cuando el residuo se combina con suplementos nitrogenados como salvado de trigo o con otros materiales lignocelulósicos que optimizan la relación carbono:nitrógeno y favorecen el desarrollo del micelio (Hasan et al., 2015). En términos de rendimiento, estos valores indican que es posible obtener aproximadamente entre 0,35 y 0,60 kg de hongos frescos por kilogramo de sustrato seco, mientras que en sistemas optimizados se han registrado eficiencias biológicas superiores al 80 % e incluso mayores al 100 %, dependiendo de la composición del sustrato y de las condiciones de cultivo (Ritota & Manzi, 2019).

4.3 Evaluación técnico-económica del bioemprendimiento

Para determinar la viabilidad del bioemprendimiento basado en el cultivo de *P. djamor*, se realizó una estimación de los principales costos asociados a su implementación y operación en el contexto del cantón Urcuquí. Este análisis considera tanto la inversión inicial en

infraestructura como los costos operativos necesarios para el funcionamiento del sistema productivo, priorizando un enfoque de bajo costo y adaptado a condiciones comunitarias. Se incluyen elementos esenciales como el arrendamiento de un espacio de producción, el transporte del sustrato (bagazo), la adquisición de equipos básicos y materiales de cultivo, así como insumos necesarios para el acondicionamiento del sustrato y la comercialización del producto. De igual manera, se contemplan costos recurrentes mensuales asociados al funcionamiento continuo del sistema. La organización detallada de estos costos se presenta en la **Tabla 3**, donde se clasifican en infraestructura, operativos y costos mensuales.

Tabla 3. Estimación de costos para el bioemprendimiento basado en *Pleurotus djamor*

Categoría	Elemento	Cantidad	Costo estimado (USD)
Infraestructura	Trilladora	1	300
	Refrigeradora	1	300
	Mesas de trabajo	2	100
	Artículos de limpieza	Varios	30
	Potenciómetro electrónico	1	50
	Estanterías	4	40
	Balanza Analítica	1	15
	Contenedor de 40 litros	1	30
Operativos iniciales	Fundas plásticas de polipropileno	60	2
	Bandejas de poliestireno	50	2
	Rollo Film plástico	1	2
	Cal activada (hidróxido de calcio) (Saco de 25kg)	1	5
	Cinta porosa	5	10
	Costales	6	0.60
	Atomizador	1	0.40
Bioseguridad	Caja de guantes de látex (100 unidades)	1	4
	Caja de mascarillas (50 unidades)	1	5
Costos mensuales	Arriendo (Urcuquí)	N.C.	150
	Transporte de sustrato	N.C.	10
	Salvado de trigo	3kg	15
	Agua y electricidad	N.C.	20
	Micelio	3kg	48
Total estimado inicial			**≈ 1.139 USD**
Total mensual			**≈ 243 USD**

Nota: La abreviatura **N.C.** hace referencia a valores **no contables**, es decir, aquellos que no dependen de una cantidad fija de unidades sino de condiciones operativas.

En el mercado ecuatoriano, el hongo ostra rosado (*P. djamor*) presenta precios que varían según el canal de comercialización, registrándose valores cercanos a 10 USD por libra en ventas directas de productores y comerciantes locales, así como en tiendas especializadas. Este precio se adopta como referencia para la estimación de los ingresos de la presente propuesta, al representar un valor competitivo dentro del mercado nacional.

Bajo este escenario, los ingresos mensuales se estiman entre 220 y 260 USD, utilizando un precio de venta de 10 USD por libra. Si bien este nivel de producción genera un margen económico positivo frente a los costos operativos estimados, el principal objetivo de la propuesta es demostrar la viabilidad técnica y económica del bioemprendimiento a pequeña escala. La utilización de 3 kg de micelio responde únicamente al pedido mínimo de compra establecido por los proveedores nacionales, por lo que la producción puede incrementarse progresivamente mediante la adquisición de mayores volúmenes de micelio y el escalamiento del número de unidades de cultivo, permitiendo mejorar la rentabilidad sin modificar el proceso productivo.

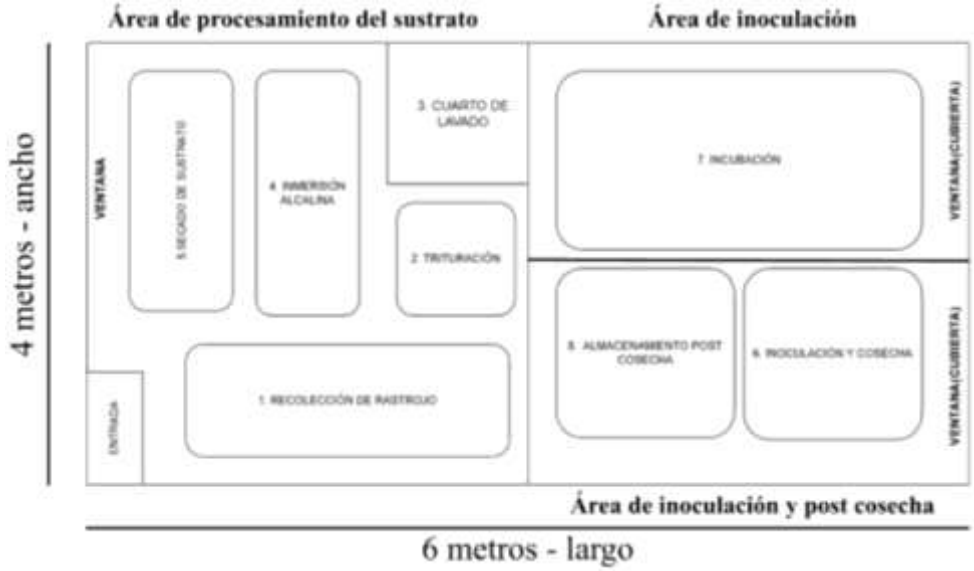
La preparación, acondicionamiento e inoculación del sustrato requieren aproximadamente dos días de trabajo por lote, lo que permite implementar un esquema de producción escalonada con inoculaciones semanales. Esta estrategia favorece la continuidad de la cosecha durante el mes, optimiza el uso de la infraestructura disponible y facilita la adopción del sistema en contextos comunitarios con recursos limitados.

4.4 Descripción del sistema productivo e infraestructura del bioemprendimiento

El proceso productivo propuesto para el cultivo de *P. djamor* se estructura bajo un esquema práctico y replicable a nivel comunitario, considerando el uso inicial de 3 kg de micelio como base operativa. La organización espacial del sistema se presenta en la **Figura 6**, donde se distribuyen funcionalmente las áreas de procesamiento del sustrato, inoculación, incubación, fructificación, cosecha y almacenamiento temporal del producto. Con el fin de garantizar un

flujo de trabajo continuo, facilitar las labores de limpieza y reducir el riesgo de contaminación cruzada entre las diferentes etapas del proceso, se propone una infraestructura mínima de 24 m² (4 m de ancho × 6 m de largo). Esta superficie permite la instalación de las áreas operativas necesarias para la preparación del sustrato, la inoculación de las bolsas y el desarrollo de las etapas de incubación y fructificación, constituyendo una alternativa técnicamente viable para emprendimientos comunitarios de pequeña escala y susceptible de ampliación conforme aumente la capacidad de producción.

Figura 5. Diseño del layout operativo para el cultivo de *Pleurotus djamor* a escala comunitaria.



De manera complementaria, la **Figura 6**. ilustra el diagrama general del proceso productivo, desde el acondicionamiento del sustrato hasta la cosecha y comercialización.

El proceso inicia con la preparación del sustrato lignocelulósico, conformado por bagazo de caña de azúcar suplementado con salvado de trigo en una relación aproximada de 10:1, formulación que aporta una fuente adecuada de carbono y complementa los requerimientos de nitrógeno para el crecimiento de *P. djamor*. Considerando el uso inicial de 3 kg de micelio y una tasa de inoculación del 5 % respecto al peso húmedo del sustrato, se requiere aproximadamente 60 kg de sustrato húmedo, equivalente a cerca de 30 kg de sustrato seco.

Como primera etapa, el bagazo es triturado para homogenizar el tamaño de partícula y favorecer una colonización micelial uniforme.

Posteriormente, se prepara una solución alcalina de hidróxido de calcio [$Ca(OH)_2$] al 2 % (p/v), equivalente a 20 g de cal por litro de agua. El bagazo se coloca en costales permeables y se sumerge completamente en la solución durante aproximadamente 12 horas, tratamiento que permite elevar el pH del sustrato hasta valores cercanos a 11–12, reduciendo significativamente la carga microbiana mediante la inhibición del crecimiento de bacterias y otros microorganismos competidores, sin requerir equipos de pasteurización o esterilización, lo que convierte a este método en una alternativa adecuada para sistemas comunitarios de bajo costo (Padan et al., 2005; Salamanca, 2018; Grimm et al., 2024).

Al día siguiente, el sustrato se retira de la solución alcalina y se deja escurrir durante aproximadamente 2 a 4 horas, hasta eliminar el exceso de humedad. Posteriormente, se incorpora salvado de trigo equivalente al 15 % del peso húmedo del sustrato, con el fin de complementar el aporte de nitrógeno y favorecer el crecimiento del micelio. El contenido de humedad se verifica mediante la prueba de puño, considerando adecuada aquella condición en la que el material libera únicamente unas pocas gotas de agua al ser comprimido.

Una vez acondicionado el sustrato, se incorpora el micelio (spawn) en una proporción correspondiente al 5 % del peso húmedo, equivalente a los 3 kg considerados en la propuesta. La mezcla se homogeniza cuidadosamente y se introduce en fundas plásticas de polipropileno, en las cuales se realizan pequeñas perforaciones cubiertas con cinta microporosa que permite el intercambio de oxígeno y dióxido de carbono, reduciendo simultáneamente el riesgo de contaminación externa.

Las bolsas inoculadas se incuban en un ambiente limpio, manteniendo temperaturas entre 25 y 28 °C, humedad relativa entre 70 y 80 %, oscuridad o iluminación mínima y ventilación moderada. Bajo estas condiciones, el micelio coloniza completamente el sustrato en un periodo

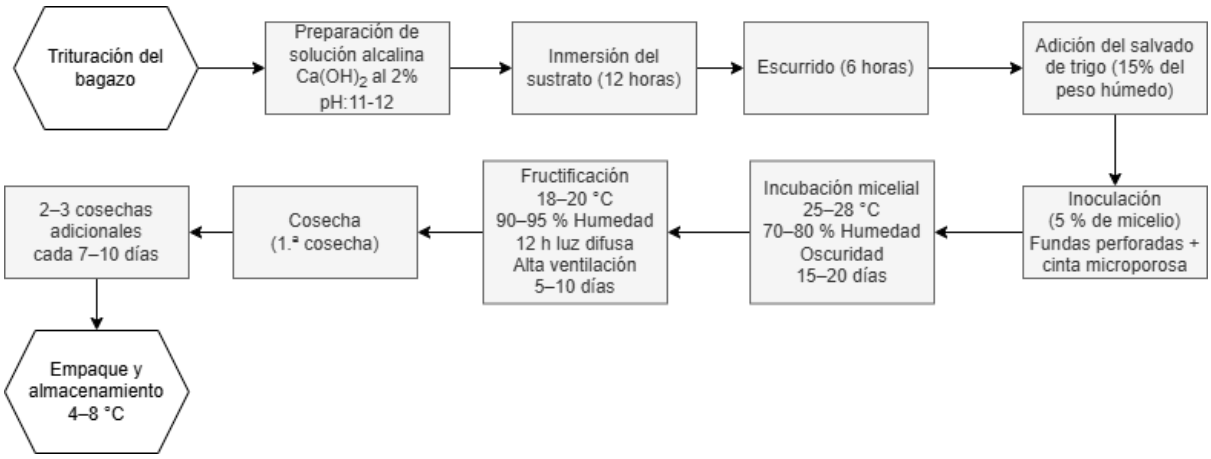
aproximado de 15 a 20 días, dependiendo de la calidad del inóculo y de las características del sustrato (Insuasti et al., 2016; Bellettini et al., 2016).

Una vez completada la colonización, las bolsas se trasladan al área de fructificación, donde se modifican las condiciones ambientales para inducir la formación de los cuerpos fructíferos. Esta etapa comprende una reducción de la temperatura hasta 18–20 °C, un incremento de la ventilación para disminuir la concentración de dióxido de carbono, una humedad relativa entre 90 y 95 % y un fotoperiodo aproximado de 12 horas de luz difusa, condiciones que favorecen la diferenciación de primordios y el desarrollo de las setas (Lechner & Alberto, 2011; Sánchez, 2007). En sistemas comunitarios donde no sea posible controlar de manera precisa la temperatura, el choque térmico puede lograrse trasladando las bolsas desde el área de incubación hacia un ambiente naturalmente más fresco y ventilado, manteniendo el resto de las condiciones ambientales necesarias para la fructificación.

Bajo estas condiciones, los primeros primordios aparecen generalmente entre 5 y 10 días después del cambio de ambiente y los cuerpos fructíferos alcanzan su madurez comercial aproximadamente 4 a 5 días más tarde. Posteriormente, pueden obtenerse entre dos y tres cosechas adicionales, separadas por intervalos de 7 a 10 días, aunque con rendimientos progresivamente menores debido al agotamiento de los nutrientes del sustrato (Girmay et al., 2016).

La cosecha se realiza manualmente cuando los sombreros alcanzan un diámetro aproximado de 5 a 10 cm y los bordes permanecen ligeramente enrollados, antes de la liberación masiva de esporas, condición que favorece una mejor textura, apariencia comercial y vida útil del producto (Bellettini et al., 2016). Finalmente, los hongos se empacan en presentaciones de una libra y se almacenan bajo refrigeración entre 4 y 8 °C, preservando su calidad fisicoquímica y sensorial durante su comercialización.

Figura 6. Diagrama de flujo del proceso productivo de *Pleurotus djamor* a partir de bagazo de caña



En conjunto, el sistema propuesto demuestra que el cultivo de *P. djamor* puede implementarse mediante un modelo técnicamente viable, económicamente accesible y replicable en contextos comunitarios. El aprovechamiento del bagazo de caña como materia prima, complementado con salvado de trigo y un proceso de alcalinización de bajo costo, permite transformar un residuo agrícola en un alimento de alto valor nutricional, generando oportunidades para el desarrollo de bioemprendimientos locales. De esta manera, la propuesta no solo promueve la valorización sostenible de residuos agrícolas, sino que también contribuye al fortalecimiento de la bioeconomía mediante la generación de productos con valor agregado, la diversificación de los ingresos comunitarios y el impulso de modelos productivos alineados con los principios de la economía circular y los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- La revisión sistemática evidenció que la bioeconomía en el Ecuador se encuentra en una fase emergente, con un crecimiento sostenido de la producción científica desde 2021 y en un crecimiento exponencial de las publicaciones durante los dos últimos años. La biotecnología ha contribuido principalmente al aprovechamiento de biomasa y a los procesos industriales; sin embargo, predominan investigaciones en etapas conceptuales o experimentales, con una limitada aplicación productiva.
- Se determinó que la producción del hongo ostra rosa (*Pleurotus djamor*) utilizando bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) constituye una alternativa con potencial de implementación en el cantón Urcuquí, debido a la disponibilidad de la materia prima, los bajos requerimientos de inversión para el acondicionamiento del sustrato y su corto ciclo productivo.
- La integración de la biotecnología como motor de la bioeconomía en Ecuador es fundamental pero aún está subutilizada, propuestas como el cultivo de hongos comestibles en Imbabura demuestran que es posible aterrizar el conocimiento científico en bioemprendimientos locales a partir de residuos y condiciones propias del lugar. Este tipo de iniciativas permite transformar problemas ambientales en oportunidades de desarrollo sostenible alineadas con las políticas nacionales recientes.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda desarrollar investigaciones enfocadas en economía circular y realizar análisis comparativos con estudios de bioeconomía, con el fin de obtener una visión más amplia del estado de la bioeconomía en el Ecuador. Esto permitiría identificar las relaciones y diferencias entre ambos enfoques, considerando que gran parte de la producción científica vinculada a economía circular puede aportar al desarrollo de estrategias bioeconómicas en el país.

- Se recomienda realizar un análisis más profundo de los emprendimientos y actividades productivas existentes en el Ecuador, con el fin de identificar cuáles pueden ser considerados parte de la bioeconomía, aun cuando actualmente no se reconozcan bajo este enfoque. Esto permitiría obtener una visión más amplia del desarrollo bioeconómico nacional y del potencial existente en distintos sectores productivos.
- Se recomienda investigar y adaptar tecnologías que faciliten la transferencia de estudios biotecnológicos desde etapas experimentales hacia escalas piloto y productivas, priorizando métodos de esterilización química o alcalinización sobre procesos térmicos convencionales para reducir el consumo energético y favorecer la adopción de bioemprendimientos por parte de comunidades rurales y pequeños productores, manteniendo las precauciones necesarias para evitar impactos ambientales.
- Se recomienda ampliar la línea de investigación hacia la producción de materiales biobasados (como bioplásticos o micelios textiles) a partir de los residuos agroindustriales locales. Esto permitiría diversificar la oferta del bioemprendimiento y capturar nuevos nichos de mercado dentro de la economía circular.

5.3 Referencias Bibliográficas

Acosta, R., & Castañon, J. (2022). Las tendencias, perspectivas, áreas y colores de la biotecnología. *Revista Digital Universitaria*, *23*(4). https://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2022.23.4.10

Agrios, G. N. (2009). Plant Pathogens and Disease: General Introduction. *Encyclopedia of Microbiology*, 613–646. https://doi.org/10.1016/b978-012373944-5.00344-8

Álvarez, L., García, R., Ulloa, R., Arellano, M., & García, A. (2019). Potencial biotecnológico para la valorización de residuos generados en granjas porcinas y cultivos de trigo. *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, 7(21). https://repositorio.unam.mx/contenidos/4149887

Asamblea Nacional de la República del Ecuador (ANRE). (2010). *Código Orgánico de la Producción, Comercio e Inversiones* (COPCI). Registro Oficial Suplemento 351. https://www.gob.ec/regulaciones/codigo-organico-produccion-comercio-inversiones-copci-2025

Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe. (2022). Ecuador creará condiciones para el uso sostenible de la biodiversidad nativa. https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/ecuador-creara-condiciones-para-el-uso-sostenible-de-la-biodiversidad-nativa/

Barros Serpa, E. C., Cevallos Rodríguez, E. del R., & Tonon Ordóñez, L. B. (2024). APLICACIÓN DE LA BIOECONOMÍA EN ALGUNOS PAÍSES DE LATINOAMÉRICA: REVISIÓN DE LA LITERATURA. Universidad-Verdad, 85, 66–85. https://doi.org/10.33324/uv.vi85.867

Basera, P., Chakraborty, S., & Sharma, N. (2024). Lignocellulosic biomass: insights into enzymatic hydrolysis, influential factors, and economic viability. *Discover Sustainability*, 5(1). https://doi.org/10.1007/s43621-024-00543-5

Bellettini, M. B., Fiorda, F. A., Maieves, H. A., Teixeira, G. L., Ávila, S., Hornung, P. S., Júnior, A. M., & Ribani, R. H. (2016). Factors affecting mushroom *Pleurotus* spp. Saudi Journal of Biological Sciences, 26(4), 633–646. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.12.005

Benavides, P. T., Balchandani, S., & Gracida-Alvarez, U. R. (2024). Environmental analysis of biotechnologies for biofuels, bioplastics, and bioproducts: a greenhouse gas (GHG) emissions review. *Biotechnology for the Environment,* 1(1). https://doi.org/10.1186/s44314-024-00010-5

Bonaiuti, M. (2015). Bioeconomics. En D'Alisa, G., Demaria, F. y Kallis, G. (Editores), Degrowth: A Vocabulary for a new era (25-28). New York: Routledge. DOI: 10.4324/9780203796146.

Bugge, M., Hansen, T., & Antje Klitkou. (2016). What Is the Bioeconomy? A Review of the Literature. *Sustainability*, 8(7), 691–691. https://doi.org/10.3390/su8070691

Carpintero, O. (2006). *La bioeconomía de Georgescu-Roegen*. Editorial Montesinos. https://www.researchgate.net/publication/273885485_La_Bioeconomia_de_Georgescu-Roegen

Chi, E., & Eung, C. (2025). Review of Integrating Biotechnology and Functional Foods to Enhance Health and Sustainability. Yangtze Medicine, 09(04), 175–187. https://doi.org/10.4236/ym.2025.94015

Chicaiza-Ortiz, C. D., Rivadeneira-Arias, V. C., Herrera-Feijoo, R. J., Andrade, J. C. (2023). Biotecnología Ambiental, Aplicaciones y Tendencias. Editorial Grupo AEA.

Chougala, V., Gowda, AC, Nagaraja, S., & Ammarullah, MI (2025). Efecto de los tratamientos químicos en las propiedades mecánicas de biocompuestos a base de fibra de bagazo de caña de azúcar (*Gramineae Saccharum Officinarum L*): una revisión. *Journal of Natural Fibers*, 22 (1). https://doi.org/10.1080/15440478.2024.2445571

Collazo, C. R., Guerrero, K. C., Mejia, T. L., Campoverde, D. A., & Rodriguez, Y. H. (2022). Attitudes of the Ecuadorian University Community Toward Genetically Modified Organisms. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 9. https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.801891

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2025). *Con apoyo de la CEPAL, Ecuador fortalece su estrategia nacional de bioeconomía*. Naciones Unidas https://www.cepal.org/es/notas/apoyo-la-cepal-ecuador-fortalece-su-estrategia-nacional-bioeconomia

Contreras, E. P., Sokolov, M., Mejía, G., & Sánchez, J. E. (2004). Soaking of substrate in alkaline water as a pretreatment for the cultivation of *Pleurotus ostreatus*. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, *79*(2), 234–240. https://doi.org/10.1080/14620316.2004.11511754

Cruz-Moreno, B. A., Parra-Pacheco, B., Acosta-Lizárraga, L. G., Silva-Jarquín, J. C., García-Trejo, J. F., Aguirre-Becerra, H., y Feregrino-Pérez, A. A. (2025). Obtaining Nutraceutical Compounds from Agroindustrial Waste by Biotransformation with *Pleurotus djamor*. *Recycling*, 10(5), 185. https://doi.org/10.3390/recycling10050185

Devi, K. B., Malakar, R., Kumar, A., Sarma, N., & Jha, D. K. (2023). Ecofriendly utilization of lignocellulosic wastes: mushroom cultivation and value addition. *Value-Addition in Agri-Food Industry Waste Through Enzyme Technology*, 237–254. https://doi.org/10.1016/b978-0-323-89928-4.00016-x

Diogo Ferraz & Andreas Pyka (2023). Circular economy, bioeconomy, and sustainable development goals: a systematic literature review. *Environmental Science and Pollution Research*. https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11356-023-29632-0.pdf

Echeverría, L., Pinto, J., & Mosquera, M. (2021). Investment in Science, Technology, and Innovation Activities: The Case of Colombia and Ecuador. *Revista CEA*, 7(14), e1672. https://doi.org/10.22430/24223182.1672

European Food Research and Technology. (2020). *Changes in mineral composition of six strains of Pleurotus after substrate modifications with different share of nitrogen forms*. Springer. https://link.springer.com/article/10.1007/s00217-020-03622-9

Evangel Chinyere Anyanwu, Jeremiah Olawumi Arowoogun, Ifeoma Pamela Odilibe, Opeoluwa Akomolafe, Chinyere Onwumere, & Jane Osareme Ogugua. (2024). The role of biotechnology in healthcare: A review of global trends. World Journal of Advanced Research and Reviews, 21(1), 2740–2752. https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.21.1.0382

Flores-Zambrano, K., Tapia, W., & Castillejo, P. (2025). Microalgae strains isolated from piggery wastewater in Ecuador: Effective nitrogen compound removal and growth potential in extremophile conditions. *Biotechnology Reports*, *45*, e00883. https://doi.org/10.1016/j.btre.2025.e00883

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2021). Towards sustainable bioeconomy guidelines. FAO. https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/793c0cea-d69a-4b92-b8f5-affc475108f3/content

García, J. M. (Coord.). (2024*). Libro blanco de la bioeconomía sustentable de Ecuador*. Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica; Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca; Fondo de Asistencia Técnica en Bioeconomía. https://www.flipsnack.com/Manthra/libro-blanco-de-la-bioeconom-a-sustentable-de-ecuador/full-view.html

Girmay, Z., Gorems, W., Birhanu, G., & Zewdie, S. (2016). Growth and yield performance of *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Fr.) Kumm (oyster mushroom) on different substrates. *AMB Express*, 6(1). https://doi.org/10.1186/s13568-016-0265-1

Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Imbabura (GADPI). (2023). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Imbabura 2023–2027*. Imbabura, Ecuador. https://www.imbabura.gob.ec/phocadownload/K-Planes-programas/PDOT/pdot_imbabura_2023-2027_final.pdf

Gómez-Jiménez, M. Á., Manzano-Gómez, L. A., Rincón-Molina, C. I., Gen-Jiménez, A., Salvador-Morales, P., Rincón-Molina, F. A., Acosta-Navarrete, M. S., Silos-Espino, H., Maldonado-Gómez, J. C., & Rincón-Rosales, R. (2025). Agrobiotechnological Potential of *Pleurotus ostreatus* from an Ecological–Socioeconomic Perspective in Mexico. *Sustainability*, 18(1), 6. https://doi.org/10.3390/su18010006

Gowdy, J., & Mesner, S. (1998). The evolution of Georgescu-Roegen's bioeconomics. Review of Social Economy, 56(2), 136-156. https://www.jstor.org/stable/29769942

Grimm, D., Sonntag, E., y Rahmann, G. (2024). Evaluation of different pasteurization and sterilization methods for oyster mushroom substrates. Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences, 14(2), e10428. https://doi.org/10.55251/jmbfs.10428

Hasan, M. T., Khatun, M. H. A., Sajib, M. a. M., Rahman, M. M., Rahman, M. S., Roy, M., Miah, M. N., & Ahmed, K. U. (2015). Effect of Wheat Bran Supplement with Sugarcane Bagasse on Growth, Yield and Proximate Composition of Pink Oyster Mushroom (*Pleurotus djamor). American Journal of Food Science and Technology*, 3(6), 150–157. https://doi.org/10.12691/ajfst-3-6-2

Holden, N. M., Neill, A. M., Stout, J. C., O'Brien, D., & Morris, M. A. (2022). Biocircularity: a Framework to Define Sustainable, Circular Bioeconomy. Circular Economy and Sustainability, 3(1), 77–91. https://doi.org/10.1007/s43615-022-00180-y

Ibarra, M., & Chuquín, H. (2023). Diagnóstico de prácticas de manejo agropecuario en el cantón Urcuquí provincia de Imbabura. *Tierra Infinita*. Universidad Politécnica Estatal del Carchi.

İnci, Ş., Kirbağ, S., & Akyüz, M. (2024). Valorization of local agro-residues for the cultivation of *Pleurotus djamor* (Rumph. Ex Fr.) Boedijn and their effects on nutritional value. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 15(15), 22567–22576. https://doi.org/10.1007/s13399-024-05515-3

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) & Programa de Bioeconomía y Desarrollo Productivo (PBDP) (2018). Programa de bioeconomía y desarrollo productivo. https://hdl.handle.net/11324/7909

International Advisory Council on Global Bioeconomy. (IACGB) (2024). IACGB Communiqué – Global Bioeconomy Summit 2024. https://www.iacgb.net/lw_resource/datapool/systemfiles/elements/files/c5c265d7-0a33-11f0-8916-dead53a91d31/current/document/IACGB-Communique-GBS2024_SPANISH-VF.pdf

Joshi, K., Meher, M. K., & Poluri, K. M. (2020). Fabrication and Characterization of Bioblocks from Agricultural Waste Using Fungal Mycelium for Renewable and Sustainable Applications. *ACS Applied Bio Materials*, 3(4), 1884–1892. https://doi.org/10.1021/acsabm.9b01047

Kircher, M., Maurer, K.-H., & Herzberg, D. (2022). KBBE: The knowledge-based bioeconomy: Concept, status and future prospects. *EFB Bioeconomy Journal*, *2*, 100034–100034. https://doi.org/10.1016/j.bioeco.2022.100034

Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005

Kumar, A., Gautam, A. and Dutt, D. (2016) Biotechnological Transformation of Lignocellulosic Bio-mass in to Industrial Products: An Overview. Advances in Bioscience and Biotechnology, 7, 149-168. http://dx.doi.org/10.4236/abb.2016.73014

Kumla, J., Suwannarach, N., Sujarit, K., Penkhrue, W., Kakumyan, P., Jatuwong, K., Vadthanarat, S., & Lumyong, S. (2020). Cultivation of mushrooms and their lignocellulolytic enzyme production through the utilization of agro-industrial waste. *Molecules*, 25(12), Artículo 2811. https://doi.org/10.3390/molecules25122811

Lehnert, M., & Carrasco, N. (2020). On living well and sustainable development. extractivism and the construction of alternatives to development in Bolivia and Chile. *Diálogo andino*, (63), 189-204. https://dx.doi.org/10.4067/S0719-26812020000300189

Lim, E. C. N., & Lim, C. E. D. (2025). Review of Integrating Biotechnology and Functional Foods to Enhance Health and Sustainability. Yangtze Medicine, 09(04), 175–187. https://doi.org/10.4236/ym.2025.94015

López, A. M., Cárdenas-Orrego, A., Torres, A. F., Navarrete, D., Champagne, P., & Ochoa-Herrera, V. (2024). Native microalgal-bacterial consortia from the Ecuadorian Amazon region: an alternative to domestic wastewater treatment. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology,* 12. https://doi.org/10.3389/fbioe.2024.1338547

Lühmann, M., & Vogelpohl, T. (2023). The bioeconomy in Germany: A failing political project? *Ecological Economics,* 207, 107783. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2023.107783

Maheswari, S., Rajarajan, P., Pandian, P. M., y Krishnan, B. B. (2021). Yield performance of mushroom (Pleurotus ostreatus) on different treatment of sugarcane bagasse and saw dust and its nutrient analysis. Journal of Pharmaceutical Research International, 33(2), 1-10. https://doi.org/10.9734/jpri/2021/v33i231110

Mayara C S Barcelos, Fernanda B Lupki, Gabriela A Campolina, David Lee Nelson, Gustavo Molina, The colors of biotechnology: general overview and developments of white,

green and blue areas, *FEMS Microbiology Letters*, Volume 365, Issue 21, November 2018, fny239, https://doi.org/10.1093/femsle/fny239

Medeiros RL, Andrade GM, Crispim RB, Silva NNDS, Silva SAD, Souza HAN, Zárate-Salazar JR, Medeiros FD, Dantas CEA, Viera VB, Silva ALE, Tavares JF, Pereira FO. Nutritional and antioxidant potential of *Pleurotus djamor* (Rumph. ex Fr.) Boedijn produced on agronomic wastes banana leaves and sugarcane bagasse substrates. Braz J Microbiol. 2024 Jun;55(2):1117-1129. Doi: 10.1007/s42770-024-01336-8. Epub 2024 Apr 22. PMID: 38647869; PMCID: PMC11153431.

Mills, E. (2015). La bioeconomía: Guía básica. Transnational Institute & Hands on the Land. https://www.tni.org/files/publication-downloads/tni_la_bioeconomia_guia_basica.pdf

Mihai, R. A., Melo Heras, E. J., Florescu, L. I., & Catana, R. D. (2022). The Edible Gray Oyster Fungi *Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex Fr.) P. Kumm a Potent Waste Consumer, a Biofriendly Species with Antioxidant Activity Depending on the Growth Substrate. *Journal of Fungi*, 8(3), 274. https://doi.org/10.3390/jof8030274

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2023). Estadísticas agropecuarias Imbabura: Cifras socioeconómicas y agroproductivas 2023 (pp. 1-2). Proyecto Integral de Diversificación Agroproductiva y Reconversión Agrícola - PIDARA (p. 1). https://pidara.mag.gob.ec/wp-content/uploads/2024/09/10.Provincia_Imbabura_2023.pdf

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE). (2025). *Ecuador presenta la primera cuenta satélite de bioeconomía. Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador*. (MAATE). https://www.ambiente.gob.ec/ecuador-presenta-la-primera-cuenta-satelite-de-bioeconomia/

Ministry of Economic Affairs and Employment of Finland. (MEAEF) (2022). The Finnish Bioeconomy Strategy: Sustainably towards higher added value. Government of Finland. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/164004.

Nelma Lopes Araújo, Avelino, K. V., Wietzikoski, I., Renan Alberto Marim, Kassem, S., Santana, T. T., Linde, A., Colauto, N. B., & Silveira, J. (2021). Production of mycelial biomass and lignocellulolytic enzymes of *Pleurotus* spp. in liquid culture medium. *Research Society and Development,* 10(1), e6810111406–e6810111406. https://doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11406

Nieto Beltrán, M., Peralta I., E., & Murillo I., A. (2016). Difusión de fréjol arbustivo variedad INIAP-484 "Centenario" e INIAP-485 "Urcuquí", en la provincia de Imbabura. Quito, EC: INIAP. Recuperado de http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/4163

Nunes, M. D. (2016). *Tratamento de substrato com cal hidratada para cultivo de Pleurotus spp.: visão microbiológica, química e econômica*. Ibict.Br. https://www.oasisbr.ibict.br/vufind/Record/UFV_a38344be6744c03388e45aab345e6f93?lng=en

Obiaigwe, JA, CO Adenipekun, SO Egbewale y G. Aruwa. 2023. "Crecimiento, rendimiento y calidad nutricional de Pleurotus pulmonarius y Pleurotus ostreatus, cultivados en diferentes sustratos enmendados con salvado de trigo". *Biotechnology Journal International* 27 (4):46-60. https://doi.org/10.9734/bji/2023/v27i4690.

Orejuela, L., & Rodríguez, A. (2024). Bioeconomía para la diversificación productiva y la agregación de valor. CEPAL. https://core.ac.uk/download/642876913.pdf

Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD). (2006). The bioeconomy to 2030: Designing a policy agenda. Organisation for Economic Co-operation and Development. https://bei.jcu.cz/Bioeconomy%20folders/documents/economy/the-bioeconomy-to-2030-designing-a-policy-agenda

Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD). (2009), The Bioeconomy to 2030: Designing a Policy Agenda, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/9789264056886-en

Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD). (2024). *Latin American Economic Outlook 2024: Ecuador*. OECD Publishing. https://www.oecd.org/en/publications/2024/12/latin-american-economic-outlook-2024_60523697/full-report/ecuador_624094b0.html

Ortega, D., Castro, L., Mendoza, M., Almeida, E., & Castro, P. (2020). Social and economic contribution of the bioeconomic sector in Ecuador: A methodological approach. *Sustainable bioeconomy*, 35-65. Springer International Publishing AG. https://doi.org/10.1007/978-981-15-7321-7_3

Ortega-Pacheco, D., Silva, A., López, A., Espinel, R., Inclán, D., & Mendoza-Jiménez, M. (2018). Hacia una bioeconomía sostenible: un enfoque desde Ecuador (p. 3). En P. Pérez Gosende, P. Parra Rosero, & A. Vázquez Martínez (Coords.), *4to. Congreso Internacional de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Sociedad: Memoria académica* (pp. 175–186)

Oseni, T. O., Dube, S. S., Wahome, P. K., Masarirambi, M. T., y Earnshaw, D. M. (2012). Effect of Wheat Bran Supplement on Growth and Yield of Oyster Mushroom (Pleurotus Ostreatus) on Fermented Pine Sawdust Substrate. *Experimental Agriculture & Horticulture*, 1(12), 30-40.

Padan, E., Bibi, E., Ito, M., & Krulwich, T. A. (2005). Alkaline pH homeostasis in bacteria: New insights. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes*, *1717*(2), 67–88. https://doi.org/10.1016/j.bbamem.2005.09.010

Padilla, C., Padilla, J., Efraín, G., & Collazzo, P. (2024). Green innovation and competitiveness: empirical evidence from Ecuadorian manufacturing. *Management Research the Journal of the Iberoamerican Academy of Management*, 22(3), 303–323. https://doi.org/10.1108/mrjiam-03-2023-1405

Page, M. J., Moher, D., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J.

M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... McKenzie, J. E. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n160

Pandey, A., Soccol, C. R., Nigam, P., & Soccol, V. T. (2000). Biotechnological potential of agro-industrial residues. *Bioresource Technology*.

Paris, B., Michas, D., Intzidi, E., Moraitis, M., Balafoutis, A. T., & Papadakis, G. (2025). A review of the EU bioeconomy: concepts, current state and the transition to a circular bioeconomy. *Open Research Europe*, *5*(163). https://doi.org/10.12688/openreseurope.20146.1

Pineda-Insuasti, J., Soto-Arroyave, C., Guzmán-Torres, R., Santiago-Vispo, N., Huaca-Pinchao, J., Duarte-Trujillo, S., & Pineda-Soto, A. (2016). Producción de hongo ostra (Pleurotus spp) en bagazo de caña. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 50(1), 50-54.

Plataforma Tecnológica Española de Biomasa (BIOPLAT) & Plataforma Tecnológica Española de Química Sostenible (SusChem-España). (2017). *Manual de Biorrefinerías en España*. https://www.suschem-es.org/docum/pb/2017/publicaciones/Manual_de_Biorrefinerias_en_Espana_feb_2017.pdf

Riera, M., (2021). LA BIOECONOMÍA COMO MODELO DE NEGOCIO EN EL ECUADOR. *Compendium*, 24(46). https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=88067978005

Ritota, M., & Manzi, P. (2019). *Pleurotus* spp. Cultivation on Different Agri-Food By-Products: Example of Biotechnological Application. *Sustainability, 11*(18), 5049. https://doi.org/10.3390/su11185049

Rodríguez, A., Rodrigues, M., & Sotomayor, O. (2019). Hacia una bioeconomía sostenible en América Latina y el Caribe: elementos para una visión regional. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/f23d8b68-db93-4013-8556-18ab4061d01e/content

Rodríguez Vidarte, M. G., Pacheco Reyes, E. E., Bernal Ramírez, M. C., Díaz-Zaragoza, M., & Graciano-Machuca, O. (2025). Biotecnología: Una Visión Integral de su Evolución y Aplicaciones: Biotechnology: A Comprehensive Overview of Its Evolution and Applications. E-CUCBA, (26), 17–25. https://doi.org/10.32870/e-cucba.vi26.398

Salamanca, J. P. (2018). Efecto del CaO como agente de desinfección de dos sustratos (Bagazo de caña de azúcar y Heno) para la producción de orellanas (*Pleurotus Ostreatus*). https://hdl.handle.net/10654/18130

Sánchez, J. E., Martínez-Carrera, D., Mata, G., y Leal-Lara, H. (Eds.). (2007). *El cultivo de setas Pleurotus spp. en México* (1.ª ed.). El Colegio de la Frontera Sur.

Sánchez, C. (2009). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and other edible mushrooms. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(5), 1321–1337. https://doi.org/10.1007/s00253-009-2343-7

Sánchez, J. E., & Mata, G. (2012). *Hongos comestibles y medicinales en Iberoamérica: Investigación y desarrollo en un entorno multicultural* (p. 108). El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR). https://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1017/1016/1/0000522251_documento.pdf

Sandin, I. L., Gutiérrez-Soto, G. & Martínez, D. C. (2024). Circular Bioeconomy: A Sustainable Future for the Planet. *Revista de Ciencias Agroalimentarias Y Biotecnología*, 1(2), 1–3. https://doi.org/10.29105/rcab1.2-10

Sandra, Kelly, A., Franciele Maria Pelissari, Rodrigues, L., & Molina, G. (2025). Biotechnology in Agro-Industry: Valorization of Agricultural Wastes, By-Products and

Sustainable Practices. Microorganisms, 13(8), 1789–1789. https://doi.org/10.3390/microorganisms13081789

Scalvenzi, L., Chiriboga Ruilova, M. V., Guardado Yordi, E., Radice, M., Abreu Naranjo, R., y Pérez Martínez, A. (2024). Edible mushroom production in Ecuador: opportunities for biotechnological use of agricultural byproducts. *Bionatura*, 9(1). http://dx.doi.org/10.70099/BJ/2024.01.02.15

Selvakumar, P., Rajasekar, S., Babu, A. G., Periasamy, K., Raaman, N., & Reddy, M. S. (2015). Improving biological efficiency of *Pleurotus* strain through protoplast fusion between P. ostreatus var. florida and *P. djamor* var. roseus. *Food Science and Biotechnology*, 24(5), 1741–1748. https://doi.org/10.1007/s10068-015-0226-5

Sharma, Gurumayum Narendini, and Abhilasha A. Lal. 2024. "Evaluation of Different Substrates for Growth and Yield Parameters of Pink Oyster Mushroom (*Pleurotus Djamor*)". *Journal of Experimental Agriculture International* 46 (12):197-204. https://doi.org/10.9734/jeai/2024/v46i123124.

Shen, Y., Gu, M., Jin, Q., Fan, L., Feng, W., Song, T., Tian, F., & Cai, W. (2014). Effects of cold stimulation on primordial initiation and yield of *Pleurotus pulmonarius*. *Scientia Horticulturae*, *167*, 100–106. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.12.021

Silva, M., Ramos, A. C., Lidon, F. J., Reboredo, F. H., & Gonçalves, E. M. (2024). Pre- and Postharvest Strategies for *Pleurotus ostreatus* Mushroom in a Circular Economy Approach. *Foods*, 13(10), 1464. https://doi.org/10.3390/foods13101464

Tello, I., Montiel, E., Romero, O., Nava, E., & Leon, I. (2016). Comparative Mycelial Growth of *Pleurotus djamor* and *Pleurotus ostreatus* in Culture Media. *Journal of Pure and Applied Microbiology,* 10(4), 2563–2568. https://doi.org/10.22207/jpam.10.4.11

Valeska Villegas E, Pérez, A. M., & Arredondo, C. (2007). Evaluación del crecimiento de *Lentinula edodes* en medios de cultivo sólidos para la producción de micelio como inóculo.

Revista Colombiana de Biotecnología, 9(2), 56–63. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2512953

Varnero, M. T., Quiroz, M. S., & Álvarez, C. H. (2010). Utilización de Residuos Forestales Lignocelulósicos para Producción del Hongo Ostra (*Pleurotus ostreatus*). *Información Tecnológica*, 21(2). https://doi.org/10.4067/s0718-07642010000200003

Vega, A., & Franco, H. (2013). Productividad y calidad de los cuerpos fructíferos de los hongos comestibles *Pleurotus pulmonarius* RN2 y *P. djamor* RN81 y RN82 cultivados sobre sustratos lignocelulósicos. *Información Tecnológica*, 24(1), 69–78. https://doi.org/10.4067/s0718-07642013000100009

Vieira, H., Leal, M. and Calado, R., 2020. Fifty shades of blue: How blue biotechnology is shaping the bioeconomy. *Trends in Biotechnology*, *38*(9), pp.940-943.

Villacreses Soledispa, D. J., Bermúdez Rodríguez, A.N., Campozano Pilay, Y. H., y Álvarez Márquez, N. del C. (2022). La biotecnología y su impacto con el uso de las tecnologías. Journal TechInnovation, 1(2), 78–87. https://revistas.unesum.edu.ec/JTI/index.php/JTI/article/download/22/37

Villani, A., Fanelli, F., Mulè, G., Moretti, A., & Loi, M. (2025). Shedding light on *Pleurotus*: An update on taxonomy, properties, and photobiology. *Microbiological Research*, *295*, Artículo 128110. https://doi.org/10.1016/j.micres.2025.128110

Warchold, A., & Pradhan, P. (2025). Bioeconomy and sustainable development goals: How do their interactions matter? Geography and Sustainability, 6(3), 100293. https://doi.org/10.1016/j.geosus.2025.100293

Wilmer, J., Audes, R., Enrique, M., Barboza, & Alberto, C. (2025). Economía circular basada en bioinnovación: estrategias para transformar residuos orgánicos en recursos sostenibles. *Zenodo* https://doi.org/10.5281/zenodo.17508812

Ying, T. D. Y., Ooi, C., & Show, P. L. (2025). Blue bioeconomy and biotechnology: towards a sustainably growing microalgae industry. Blue Biotechnology, 2(1). https://doi.org/10.1186/s44315-025-00036-8

Youssef, M. (2023). Blue Economy Literature Review. *International Journal of Business and Management*, *18*(3), 12. https://doi.org/10.5539/ijbm.v18n3p12

Zicari, G., Rivetti, D., Soardo, V., & Panata, M. (2012). The cultivation of *Agaricus bisporus* (champignon) mushrooms. *Progress in Nutrition*, 14(3), 155–160. https://www.researchgate.net/publication/289731737_The_cultivation_of_Agaricus_bisporus_champignon_mushrooms