



ISSN: 2595-1661

ARTIGO

Listas de conteúdos disponíveis em [Portal de Periódicos CAPES](https://portal.periodicos.capes.gov.br/)

## Revista JRG de Estudos Acadêmicos

Página da revista:

<https://revistajrg.com/index.php/jrg>



### Aprovechamiento sustentable de la biodiversidad amazónica y economía solidaria: El emprendimiento cosmético Waorani en Daipare como modelo de bioeconomía local

Sustainable Use of Amazonian Biodiversity and Solidarity Economy: The Waorani Cosmetic Enterprise in Daipare as a Model of Local Bioeconomy

 DOI: 10.55892/jrg.v8i19.2450

 ARK: 57118/JRG.v8i19.2450

Recibido: 06/09/2025 | Aceito: 13/09/2025 | Publicado *on-line*: 14/09/2025

**Carlos Manuel Zambrano Loja**<sup>1</sup>

 <https://orcid.org/0009-0006-4650-8100>

Universidad Estatal Amazónica. Ciencias de la Vida

E-mail: [cm.zambranol@uea.edu.ec](mailto:cm.zambranol@uea.edu.ec)

**Jannys Lizeth Rivera Barreto**<sup>2</sup>

 <https://orcid.org/0009-0009-2172-0529>

Universidad Estatal Amazónica. Ciencias de la Vida

E-mail: [jl.riverab@uea.edu.ec](mailto:jl.riverab@uea.edu.ec)

**Stephanie Nichole Lara Jaramillo**<sup>3</sup>

 <https://orcid.org/0009-0001-9631-2943>

Universidad Estatal Amazónica. Ciencias de la Vida

E-mail: [sn.laraj@uea.edu.ec](mailto:sn.laraj@uea.edu.ec)

**Ushco Guachun Génesis Angélica**<sup>4</sup>

 <https://orcid.org/0009-0009-3060-6699>

Universidad Estatal Amazónica. Ciencias de la Vida

E-mail: [ga.ushcog@uea.edu.ec](mailto:ga.ushcog@uea.edu.ec)



### Resumen

Este estudio analiza el aprovechamiento sustentable de la biodiversidad amazónica y la economía solidaria a través de la experiencia del emprendimiento cosmético desarrollado por la comunidad Waorani de Daipare, en la provincia de Pastaza, Ecuador, como modelo de bioeconomía local. Se empleó un enfoque cualitativo con diseño de estudio de caso, que combinó observación directa en el área de producción y en el punto de comercialización con entrevistas semiestructuradas a actores clave: una representante comunitaria, la presidenta de la tienda distribuidora, un consumidor nacional y un consumidor extranjero. El análisis reveló que la elaboración de las cremas se sustenta en el cultivo agroecológico de cúrcuma, jengibre y vainilla, bajo prácticas ancestrales y sin empleo de agroquímicos, lo que asegura un manejo responsable de los recursos naturales y refuerza la identidad cultural. La organización

<sup>1</sup> Graduado(a) en Biología Master(a) en Biotecnología

<sup>2</sup> Graduado(a) en Ingeniería Bioquímica Master(a) en Biotecnología

<sup>3</sup> Graduado(a) en Biología Master(a) en Biotecnología

<sup>4</sup> Graduado(a) en Licenciado en Química; Master en Tecnología y control de medicamentos; Doctor en Ciencias Químicas



comunitaria se caracteriza por el trabajo en mingas, la toma de decisiones colectivas y la distribución equitativa de beneficios destinados a cubrir necesidades básicas como educación y salud. La comercialización en un punto de venta local ha permitido posicionar el producto en un segmento de consumidores que valoran su calidad, su origen amazónico y su impacto socioambiental. Las percepciones de los consumidores confirmaron su potencial para acceder a mercados especializados, aunque persisten retos relacionados con la producción a pequeña escala, la irregularidad en la oferta y la necesidad de fortalecer la presentación, la certificación y las estrategias de mercadeo. La experiencia de Daipare demuestra que es posible articular conservación, economía comunitaria e identidad cultural en un modelo de desarrollo sostenible y replicable.

**Palabras-clave:** bioeconomía local, economía solidaria, biodiversidad amazónica, comunidad Waorani, estudio de caso.

### **Abstract**

*The sustainable use of Amazonian biodiversity and the practice of solidarity-based economy were examined through the case of a cosmetic enterprise developed by the Waorani community of Daipare, in Pastaza, Ecuador, as a model of local bioeconomy. A qualitative case study design was applied, combining direct observation at the production site and the commercialization point with semi-structured interviews conducted with a community representative, the president of the distributing store, a national consumer, and an international consumer. Analysis revealed that cream production relies on agroecological cultivation of turmeric, ginger, and vanilla, applying ancestral practices without the use of agrochemicals, ensuring responsible management of natural resources and reinforcing cultural identity. Community organization is characterized by collective work (mingas), participatory decision-making, and equitable distribution of benefits, mainly allocated to education and health. Commercialization through a local store has positioned the product among consumers who value its quality, Amazonian origin, and socio-environmental impact. Consumer perceptions confirmed potential for access to specialized markets, although challenges remain in terms of small-scale production, irregular supply, and the need to improve packaging, certification, and marketing strategies. The Daipare experience demonstrates the feasibility of integrating biodiversity conservation, community-based economy, and cultural identity into a sustainable and replicable development model.*

**Keywords:** local bioeconomy, solidarity economy, Amazonian biodiversity, Waorani community, case study.

## **1. Introducción**

En un contexto global caracterizado por el cambio climático, la pérdida acelerada de ecosistemas y la creciente desigualdad social, la bioeconomía se presenta como una estrategia clave para fomentar un desarrollo sostenible e inclusivo en territorios vulnerables como la Amazonía (IDB & Igarapé Institute, 2023). Este enfoque apuesta por el uso sostenible y regenerativo de la biodiversidad especialmente de base forestal como alternativa a modelos extractivistas tradicionales (Forest Trends, 2023).

En la región amazónica, la bioeconomía no solo implica la explotación de recursos biológicos como aceites, resinas o frutas para generar valor económico, sino que



también implica incorporar los saberes ancestrales de los pueblos indígenas como bases para procesos productivos innovadores (Lopes & Chiavari, 2022). Esta perspectiva a menudo denominada socio bioeconomía enfatiza la importancia de que las comunidades locales sean protagonistas y beneficiarias directas de las iniciativas, promoviendo relaciones justas y equitativas (Science Panel for the Amazon, 2023).

Pese al enorme potencial de la bioeconomía amazónica, diversos estudios numeran barreras estructurales como: limitada infraestructura, desigualdad en el acceso al financiamiento, falta de integración de los productores locales en las cadenas de valor, y bajos niveles de participación comunitaria en los beneficios (Mongabay, 2025).

La relación entre sociedad y naturaleza, tal como señala Bifani (1997), se entiende como un proceso de coevolución donde los sistemas sociales y ecológicos se transforman mutuamente. En este sentido, la Comisión Europea (2018) destaca que, ante un escenario de recursos limitados y crisis ambiental, es urgente impulsar estrategias productivas que respeten los límites ecológicos, promuevan la diversificación del uso de los recursos y garanticen beneficios económicos sostenibles. Este planteamiento cobra mayor relevancia en ecosistemas de alta fragilidad como la Amazonía, donde las estrategias de aprovechamiento sustentable deben alinearse con la protección de la biodiversidad y los derechos de las comunidades que habitan el territorio.

Por ello el objetivo de este estudio será analizar, a través de un estudio de caso, el aprovechamiento sustentable de la biodiversidad amazónica y la economía solidaria en el emprendimiento cosmético desarrollado por la comunidad Waorani de Daipare, como modelo de bioeconomía local.

## **2. Metodología**

### **Localización**

El emprendimiento se localiza en la comunidad Waorani de Daipare, situada en la provincia de Pastaza, cantón Arajuno, parroquia Curaray, en la Amazonía ecuatoriana. La comunidad se asienta a orillas del río Curaray, en un entorno de alta biodiversidad que combina bosque tropical húmedo, cuerpos de agua y suelos ricos en recursos naturales. El topónimo “Daipare” significa “río de arcilla” en lengua Waorani, y refleja la estrecha relación de sus habitantes con el medio fluvial y el territorio.

Las coordenadas aproximadas de la comunidad son 2°10' S, 76°44' O, y su acceso se realiza principalmente por vía fluvial. Los pobladores desarrollan actividades de pesca, caza y agricultura de subsistencia, integrando saberes ancestrales en la gestión de sus recursos.

### **Diseño y técnica de investigación**

Este estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, con un diseño de estudio de caso, por su pertinencia para analizar fenómenos contemporáneos en su contexto real y comprender la interacción entre factores ambientales, sociales y económicos (Yin, 2018). El objetivo fue analizar el aprovechamiento sustentable de la biodiversidad amazónica y la economía solidaria en el emprendimiento cosmético desarrollado por la comunidad Waorani de Daipare, como modelo de bioeconomía local. La investigación se realizó en dos escenarios principales, el lugar de producción en la comunidad de Daipare y el punto de comercialización en la Ecotienda Huella Pastaza.



Se utilizaron dos técnicas complementarias de recolección de información, observación directa y entrevistas semiestructuradas (Rodríguez Barroso & Rodríguez Fernández, 2020). La observación directa se aplicó con el propósito de registrar, mediante notas de campo y documentación fotográfica, aspectos vinculados al uso de recursos naturales, las prácticas productivas, la aplicación de conocimientos ancestrales, la infraestructura y las dinámicas organizativas de la comunidad. En el punto de venta se observó la presentación de los productos, la información proporcionada al consumidor, la interacción con los clientes y el contexto de comercialización.

Las entrevistas semiestructuradas se aplicaron a cuatro actores clave seleccionados mediante un muestreo intencional (Pérez-Luco, Lagos, Mardones, & Sáez, 2017) de acuerdo con su rol en la cadena de valor del emprendimiento. Se entrevistó a: (1) una beneficiaria directa y dirigente comunitaria (representante de la comunidad Daipare), para explorar la gestión del recurso, el impacto social y económico, y la organización comunitaria; (2) la presidenta de la Ecotienda Huella Pastaza, como representante del punto de comercialización, para conocer la experiencia de venta, la aceptación del producto y las condiciones de intercambio con la comunidad; (3) un consumidor nacional, para identificar percepciones de calidad, beneficios y motivaciones de compra; y (4) un consumidor extranjero, para evaluar el potencial del producto en mercados internacionales y sus requerimientos. Las guías de entrevista fueron elaboradas para obtener información en tres dimensiones específicas relacionadas con el objetivo: sostenibilidad ambiental, dinámica de economía solidaria y potencial de la bioeconomía local.

Las entrevistas, realizadas de manera presencial y virtual, tuvieron una duración aproximada de 30 a 45 minutos. Previamente, se obtuvo el consentimiento informado de los participantes, garantizando la confidencialidad y el uso exclusivo de la información con fines académicos. Las respuestas fueron transcritas de manera íntegra y analizadas mediante un proceso de análisis de contenido temático siguiendo la propuesta de Braun y Clarke (2006), que implicó una lectura exhaustiva de las transcripciones, la codificación inicial de fragmentos relevantes y la agrupación de estos en categorías relacionadas con los componentes del objetivo. La información derivada de la observación directa se integró como evidencia complementaria para contrastar y enriquecer la interpretación de los datos, asegurando la triangulación de fuentes.

Esta metodología permitió abordar de forma integral el objetivo planteado, vinculando el análisis del uso sostenible de la biodiversidad con las prácticas de economía solidaria y evaluando su articulación como modelo de bioeconomía local.

### **3. Resultados y discusión**

#### **Resultados**

El estudio de caso sobre el emprendimiento cosmético Waorani en Daipare reveló, a través de entrevistas semiestructuradas y observación directa, cómo el aprovechamiento sustentable de la biodiversidad amazónica se articula con prácticas de economía solidaria, generando impactos sociales, culturales y económicos en la comunidad. Las observaciones de campo realizadas en el lugar de producción permitieron constatar que las actividades se desarrollan en un entorno comunitario organizado, con infraestructura básica pero funcional, y con un proceso productivo que integra prácticas agroecológicas y saberes ancestrales. Se evidenció el uso de materias primas locales como cúrcuma, jengibre y vainilla, cultivadas en sistemas



chacra sin agroquímicos, lo cual coincide con lo señalado por la beneficiaria Gladys Simbaña sobre el compromiso de la comunidad con la conservación del bosque y la producción sostenible. Estos resultados confirman que el emprendimiento cosmético de Daipare integra de manera efectiva principios de bioeconomía local y economía solidaria, alineándose con lo señalado por Lopes & Chiavari (2022), quienes sostienen que la socio-bioeconomía amazónica se fortalece cuando la producción se basa en el uso sostenible de recursos locales y en la participación activa de las comunidades en toda la cadena de valor.

La visita al punto de comercialización, la Ecotienda Huella Pastaza, permitió observar la disposición de los productos en un espacio que agrupa a distintos emprendimientos locales. El empaque, aunque artesanal, transmite un mensaje de autenticidad y compromiso ambiental, y la información sobre el origen comunitario está visible para el consumidor. Según Mireya Guevara, presidenta de la ecotienda, la narrativa de origen y el carácter natural de los insumos son elementos que han favorecido la aceptación del producto, especialmente entre clientes interesados en opciones libres de químicos y con impacto social positivo. Esta percepción coincide con lo señalado por estudios previos, que destacan que el valor agregado de los productos de la bioeconomía amazónica no reside únicamente en sus propiedades funcionales, sino también en su identidad cultural y en su contribución a la conservación (AP, 2023) & (Reuters, 2024)

Desde la perspectiva de consumo, tanto el entrevistado nacional como el extranjero valoraron la calidad del producto y la conexión con la historia de la comunidad. El consumidor nacional resaltó la suavidad y aroma natural de las cremas, así como la ausencia de químicos sintéticos, mientras que el extranjero destacó la comparabilidad con marcas internacionales y el potencial para introducir estos productos en mercados externos, siempre que se fortalezcan aspectos como el etiquetado bilingüe y las certificaciones. Estos hallazgos se alinean con lo expuesto por Forest Trends (2023), que subraya la importancia de cumplir estándares internacionales para que los productos amazónicos puedan acceder de manera competitiva a nichos de mercado especializados.

Sin embargo, las entrevistas y la observación directa también pusieron de manifiesto desafíos estructurales: la producción a pequeña escala, la irregularidad en la oferta y la necesidad de diversificar la línea de productos. Estos retos son comunes en iniciativas comunitarias, donde la capacidad de producción depende del tiempo, recursos y organización interna (Stocco et al., 2024) A nivel organizativo, la beneficiaria señaló la importancia de mantener la motivación de las socias y el apoyo familiar, lo que coincide con lo señalado por Conexsus, (2024) sobre la coevolución entre sistemas sociales y ecológicos, donde la sostenibilidad depende tanto de factores ambientales como de la cohesión social.

En términos de proyección, la comunidad aspira a establecer una tienda propia y vincular el turismo comunitario con la comercialización de los cosméticos. Este planteamiento responde a la tendencia de integrar bioeconomía y ecoturismo como estrategias complementarias para el desarrollo territorial en la Amazonía (Silva et al., 2025). De este modo, los resultados muestran que el emprendimiento no solo contribuye a la generación de ingresos y al fortalecimiento cultural, sino que también constituye un modelo replicable de bioeconomía local, siempre que se fortalezcan sus capacidades productivas, comerciales y de certificación.

En síntesis, el análisis de las entrevistas y la observación directa confirma que el emprendimiento cosmético de Daipare encarna principios centrales de la socio-



bioeconomía como se observa en la Tabla 1: uso sostenible de la biodiversidad, incorporación de saberes ancestrales, generación de valor agregado local y distribución equitativa de beneficios. No obstante, para asegurar su sostenibilidad y escalabilidad, será necesario abordar los retos identificados mediante el fortalecimiento organizativo, la planificación de la producción y el acceso a mercados diferenciados.

**Tabla 1:** Resultados de las entrevistas sobre los aspectos relevantes de la investigación

<b>Actor Entrevistado</b>	<b>Rol en el proceso</b>	<b>Aprovechamiento sustentable de la biodiversidad</b>	<b>Economía solidaria</b>	<b>Potencial de bioeconomía local</b>
Gladys Simbaña (Beneficiaria)	Dirigente comunitaria, productora	Cultivo agroecológico de cúrcuma, jengibre y vainilla; uso de saberes ancestrales en siembra y cosecha; no uso de químicos.	Producción y gestión en mingas comunitarias; decisiones colectivas; ingresos para necesidades básicas.	Fortalecimiento de identidad cultural; visión de abrir tienda propia y turismo comunitario.
Mireya Guevara	Presidenta Ecotien	Promoción del origen amazónico	Acuerdos de precios	Potencial en mercado
(Punto de venta)	da Huella Pastaza	y natural del producto.	justos; vínculo estable con productores; apoyo a la visibilidad de la comunidad.	natural/ecológico; necesidad de continuidad en producción y certificación.
Consumidor nacional	Cliente local	Valora ingredientes naturales y líderes De químicos.	Prefiere apoyar proyectos comunitarios locales.	Recomendación a otros clientes; sugiere mejorar disponibilidad y etiquetado
Consumidor extranjero.	Cliente internacional	Aprecia el origen agroecológico y calidad cosmética.	Disposición a pagar por productos con impacto social y ambiental.	Potencial de exportación con etiquetado bilingüe, empaques resistentes y certificaciones.



Figura 1: planta de producción



Figura 2: producción de cremas por participantes



Figura 3: Insumos preelaborados para la formulación de productos



Figura 4: Comunidad de Daipare



Figura 5: chakras de la comunidad Daipare



Figura 6: chakras de la comunidad Daipare

#### 4. Conclusiones

El estudio de caso permitió analizar el aprovechamiento sustentable de la biodiversidad amazónica y la economía solidaria en el emprendimiento cosmético desarrollado por la comunidad Waorani de Daipare, cumpliendo con el objetivo planteado. A partir de la información obtenida mediante entrevistas semiestructuradas y observación directa, se constató que la producción se basó en el uso de materias primas cultivadas en sistemas agroecológicos, sin empleo de agroquímicos, aplicando saberes ancestrales en la siembra y cosecha, lo que evidenció un manejo responsable de los recursos naturales.

Asimismo, se verificó que la organización comunitaria funcionó bajo principios de economía solidaria, mediante mingas, toma de decisiones colectivas y distribución equitativa de beneficios, los cuales fueron destinados principalmente a cubrir necesidades prioritarias de las familias, como educación y salud. La articulación con un punto de venta local favoreció la visibilidad del producto y su inserción en un mercado interesado en alternativas naturales con impacto social.

Las percepciones de los consumidores nacionales y extranjeros confirmaron que el producto fue valorado por su calidad, origen amazónico y compromiso ambiental, lo que demostró su potencial para posicionarse en nichos de cosmética natural y comercio justo. No obstante, se identificaron limitaciones relacionadas con la producción a pequeña escala, la irregularidad en la oferta y la necesidad de fortalecer la presentación, certificación y estrategias de comercialización.

En conclusión, el emprendimiento de Daipare integró de manera efectiva el uso sostenible de la biodiversidad con un modelo de economía solidaria, constituyéndose en un ejemplo de bioeconomía local con potencial de ser replicado, siempre que se fortalezcan sus capacidades productivas y se consoliden los canales de comercialización.



## Contribuciones de los autores

**Autor 1:** Adquisición, y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

**Autor 2:** Adquisición, y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

**Autor 3:** Concepción del trabajo; aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

## Conflicto de intereses de los autores

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

## 5. Referencias

- Bastos-Lima, M., & Palme, U. (2022). Bioeconomy and sustainability: A global perspective. *Environmental Development*, 43, 100705. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2022.100705>
- Bi, H., Vasanth, V., Jain, A., Kumar, S., Bhardwaj, A., & Siva, V. (2025). Building sustainable and trustworthy Indigenous knowledge preservation ecosystem. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2504.17281>
- Bifani, P. (1997). *Medio ambiente y desarrollo sostenible*. McGraw-Hill Interamericana. <https://books.google.com.ec/books?id=d2xfEQAAQBAJ>
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>
- Comisión Europea. (2018). *A sustainable bioeconomy for Europe: Strengthening the connection between economy, society and the environment*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2777/478385>
- Conexsus. (2024). *AmazonBeEco: A new pathway for the Pan-Amazon's socio-bioeconomy*. Conexsus. <https://www.conexsus.org/amazonbeeco-english/>
- Development Solutions Network. <https://files.unsdsn.org/230811-PB-Bioeconomy-EN-approved2.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2025, June 26). *Innovation driven by needs: Visions of the Amazon socio-bioeconomy*. FAO. <https://www.fao.org/science-technology-and-innovation/blog/detail/sample-blog/2025/06/26/innovation-driven-by-needs--visions-of-the-amazon-socio-bioeconomy/en/>
- Forest Trends. (2023). *A new bioeconomy for the Amazon forest*. Forest Trends. <https://www.forest-trends.org/publications/a-new-bioeconomy-for-the-amazon-forest/>
- Hall, M., Baird, I., & Castleden, M. (2012). Ethnobotany and economic botany: The role of traditional knowledge in modern contexts. *Economic Botany*, 66(3), 207–215. <https://doi.org/10.1007/s12231-012-9200-8>
- IDB & Igarapé Institute. (2023). *Re-imagining bioeconomy for Amazonia*. Inter-American Development Bank. <https://publications.iadb.org/en/re-imagining-bioeconomy-for-amazonia>
- Lopes, M., & Chiavari, J. (2022). Sociobioeconomy and sustainable development in the Amazon. *Revista de Administração Contemporânea*, 26(6), e210404. <https://doi.org/10.1590/1982-7849rac2022210404.en>



- Mongabay. (2025, enero). Amazon communities reap the smallest share of bioeconomy profits. Mongabay Environmental News. <https://news.mongabay.com/2025/01/amazon-communities-reap-the-smallest-share-of-bioeconomy-profits/>
- Pérez-Luco, R., Lagos, L., Mardones, R., & Sáez, F. (2017). Diseños de investigación y muestreo cualitativo: Lo complejo de someter la flexibilidad del método emergente a una taxonomía apriorística. *Investigación Cualitativa en Salud*, 2, 1-10. Recuperado de [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/59176750/2017\\_Perez-Luco\\_R.\\_Lagos\\_L.\\_Mardones\\_R.\\_y\\_Saez\\_F.-libre.pdf](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/59176750/2017_Perez-Luco_R._Lagos_L._Mardones_R._y_Saez_F.-libre.pdf)
- Reuters. (2024, December 18). Can the bioeconomy help save the Amazon from deforestation? Reuters. <https://www.reuters.com/sustainability/land-use-biodiversity/can-bioeconomy-help-save-amazon-deforestation-2024-12-18/>
- Rodríguez Barroso, D., & Rodríguez Fernández, L. (2020). La investigación cualitativa y cuantitativa: Su aplicación en el campo educativo. *Honoris Causa*, 1(7), 56–72. Recuperado de <https://revista.uny.edu.ve/ojs/index.php/honoris-causa/article/view/303/352>
- Science Panel for the Amazon. (2023). Supporting socio-bioeconomies of healthy standing forests and flowing rivers in the Amazon [Policy brief]. Sustainable
- Silva, R. D., Klipel, J. C., Ferreira-Júnior, G. C., Freitas, R. G. A., & Lobão, M. S. P. (2025). Bioeconomy in the Amazon: Challenges, opportunities, and trends for regional development. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 19(1), 1–16. <https://doi.org/10.24857/rqsa.v19n1-166>
- Stocco, D., Sampaio, C., & Peredo, A. M. (2024). Indigenous entrepreneurship in the Amazon rainforest: Custodianship of traditions and the forest. *Journal of Business Venturing Insights*, 22, e00491. <https://pure.qub.ac.uk/en/publications/indigenous-entrepreneurship-in-the-amazon-rainforest-custodianshi>
- Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6th ed.). Sage Publications.



**Table 2.** *Phytochemical screening of teak leaves in aqueous, ethanolic, and ether extracts.*

Metabolitos	Método	Resultado del tipo de extracto		
		Extracto acuoso	Extracto alcohólico	Extracto etéreo
<b>Saponinas</b>	<b>Espuma</b>	+	-	-
<b>Flavonoides</b>	<b>NaOH 20%</b>	++	+	-
	<b>Shinoda</b>	+++	+	+
<b>Fenoles o Taninos</b>	<b>FeCl3</b>	+++	++	-
	<b>acetato de plomo</b>	+++	++	+
<b>Azucares reductores</b>	<b>Fehling A y B</b>	+++	-	-
<b>Aminoácidos</b>	<b>Ninhidrina</b>	+++	++	-
<b>Alcaloides</b>	<b>Mayer</b>	+++	++	+
<b>Alcaloides</b>	<b>Wagner</b>	+++	++	+
<b>Alcaloides</b>	<b>Dragendorff</b>	+++	+++	+
<b>Quinonas</b>	<b>Bortanger</b>	++	+	-

Nota: Ausencia (-), Presencia baja (+), presencia media (++) , presencia alta (+++), (Dahua Gualinga et al., 2024).

### Diseño experimental

En la tabla 3 se presentan los resultados del crecimiento de micelio de tres hongos fitopatógenos *Aspergillus oryzae*, *Rhizopus stolonifer*, y *Aspergillus niger* a los 7 días bajo diferentes concentraciones de un extracto acuoso de hojas de *Tectona grandis*. El hongo fitopatógeno con menor crecimiento a baja dosis (30 mg/ml) fue *Rhizopus stolonifer*, con un diámetro promedio de 9 cm, mientras que *Aspergillus niger* presentó el mayor crecimiento en varias concentraciones, con diámetros de hasta 7,8 cm, es importante mencionar que los controles que se usaron tanto positivo como negativo tuvieron un crecimiento de 1,1cm y 9 cm respectivamente a los 7 días.

**Tabla 3.** Medición del Diámetro de Crecimiento como variable de respuesta del experimento

**Table 3.** Measurement of Growth Diameter as the Response Variable of the Experiment



Experimento	Factor A:Dosis acuoso	Factor 2 B:Hongo	Variable de respuesta Diámetro de crecimiento (cm)
1	68.7	<i>Aspergillus oryzae</i>	4
2	75	<i>Rhizopus stolonifer</i>	1,9
3	75	<i>Aspergillus oryzae</i>	3,7
4	36,02	<i>Aspergillus oryzae</i>	5,3
5	30	<i>Rhizopus stolonifer</i>	9
6	36.3	<i>Aspergillus niger</i>	7,8
7	30	<i>Rhizopus stolonifer</i>	9
8	52.5	<i>Rhizopus stolonifer</i>	6.5
9	36,02	<i>Aspergillus oryzae</i>	5,5
10	75	<i>Rhizopus stolonifer</i>	1,8
11	52.5	<i>Aspergillus niger</i>	6,5
12	68.925	<i>Aspergillus niger</i>	5,8
13	47.1	<i>Aspergillus oryzae</i>	5
14	52.5	<i>Rhizopus stolonifer</i>	6,6
5	57.45	<i>Aspergillus oryzae</i>	4,4
16	30	<i>Aspergillus niger</i>	8,7
17	68.925	<i>Aspergillus niger</i>	5,9

### Resumen de ajuste

La Tabla 4 presentó los resultados del ajuste de modelos, evaluando diferentes niveles de complejidad (lineal, 2FI, cuadrático, cúbico y cuártico) para la respuesta R1. El modelo lineal mostró un ajuste moderado, con un  $R^2$  ajustado de 0,7645 y un  $R^2$  predicho de 0,6543, aunque ambos valores mejoraron notablemente con el modelo 2FI, alcanzando un  $R^2$  ajustado de 0,9617. El modelo cuadrático no presentó mejoras sustanciales en comparación con el 2FI. Finalmente, el modelo cúbico fue el más adecuado, con un  $R^2$  ajustado de 0,9983 y un  $R^2$  predicho de 0,9938, y no mostró una falta de ajuste significativa. El modelo cuártico no fue recomendado debido a problemas de aliasado.



**Tabla 4. Resumen de ajuste**  
**Table 4. Summary of Fit**

Fuente	Valor p secuencial	Valor p de falta de ajuste	R <sup>2</sup> ajustado	R <sup>2</sup> predicho	
Lineal	< 0.0001	< 0.0001	0,7645	0,6543	
2FI	< 0.0001	0,0003	0,9617	0,9452	
Cuadrática	0,0678	0,0005	0,9703	0,9423	
<b>Cúbico</b>	<b>&lt; 0.0001</b>	<b>0,3046</b>	<b>0,9983</b>	<b>0,9938</b>	<b>Sugerido</b>
Cuartica	0,3046		0,9985		<b>Aliasado</b>

### ADEVA para el modelo cúbico

En la tabla 5 se observaron que los factores están codificados, y la suma de cuadrados corresponde al análisis clásico tipo II. El valor F del modelo, 1052,23, indica que el modelo es significativo, con solo un 0,01% de probabilidad de que dicho valor F ocurra por casualidad o ruido.

Los valores de P inferiores a 0,0500 muestran que los términos del modelo son importantes; en este caso, los términos A, B, AB, A<sup>2</sup> y A<sup>2</sup>B son significativos. Si los valores de P superan 0,1000, los términos no son significativos. Si hay varios términos no significativos (sin afectar la jerarquía del modelo), reducir el modelo podría mejorar su rendimiento.

El valor F de falta de ajuste de 1,52 indica que este ajuste no es considerable en relación con el error puro, con una probabilidad del 30,46% de que el valor sea causado por el ruido. Una falta de ajuste no significativa es deseable, ya que garantiza un buen ajuste del modelo.

**Tabla 5. Tabla ADEVA del modelo cúbico**  
**Table 5. ANOVA Table for the Cubic Model**

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Cuadrado medio	F-valor	p-valor	
Modelo	76,18	9	8,46	<b>1052,23</b>	<b>&lt; 0.0001</b>	significativo
A-Dosis	47,3	1	47,3	5879,74	< 0.0001	
B-Hongo	6,11	2	3,06	380,09	< 0.0001	
AB	6,32	2	3,16	392,63	< 0.0001	
A <sup>2</sup>	0,5933	1	0,5933	73,75	< 0.0001	
A <sup>2</sup> B	1,31	2	0,6569	81,66	< 0.0001	
A <sup>3</sup>	0,0003	1	0,0003	0,041	0,8453	
Residual	0,0563	7	0,008			
Falta de ajuste	0,0213	2	0,0107	<b>1,52</b>	<b>0,3046</b>	no significativo
Error puro	0,035	5	0,007			
Cor Total	76,24	16				



### Estadística de ajuste

En la tabla 6 el  $R^2$  Predicho de 0,9938 muestra una buena concordancia con el  $R^2$  Ajustado de 0,9983, lo que significa que la diferencia entre ambos es inferior a 0,2. La medida de precisión adecuada evalúa la relación entre la señal y el ruido, siendo preferible un valor superior a 4. Con una relación de 103,942, se indica que la señal es adecuada. Por lo tanto, este modelo es útil para explorar el espacio de diseño.

**Tabla 6. estadística de ajuste del diseño experimental**  
**Table 6. Statistical Fit of the Experimental Design**

<b>Desviación estándar</b>	0,0897		<b><math>R^2</math></b>	0,9993
<b>Promedio</b>	5,73		<b><math>R^2</math> Ajustado</b>	0,9983
<b>C.V. %</b>	1,57		<b><math>R^2</math> predicho</b>	0,9938
			<b>Precisión Adecuada</b>	103,9417

Para cada hongo, se presenta la ecuación ajustada en términos de los coeficientes correspondientes:

**Hongo: *Aspergillus niger***

$$R1=14.50908-0.257424(\text{Dosis})+0.002208(\text{Dosis}^2) -4.27\times 10^{-6}(\text{Dosis}^3)$$

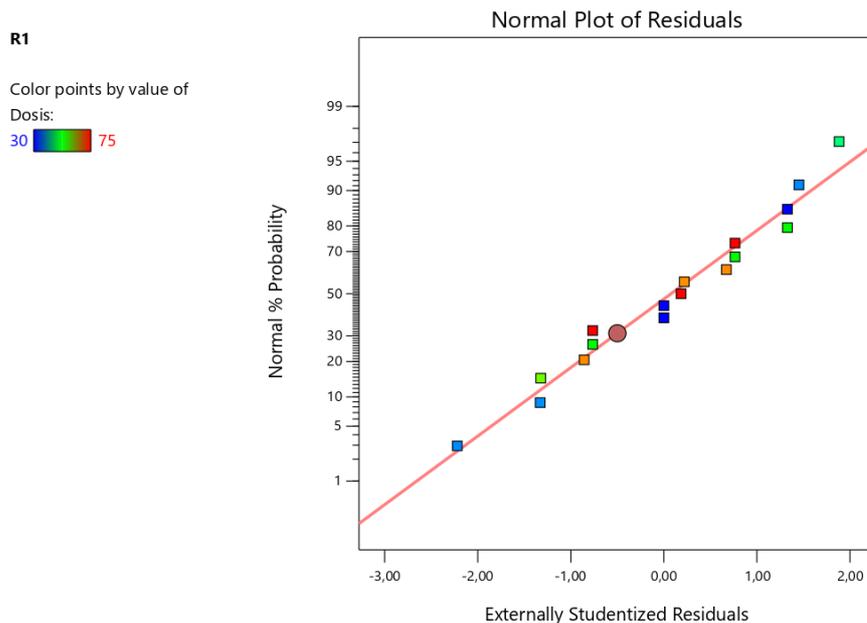
**Hongo: *Aspergillus oryzae***

$$R1=7.61294-0.08073(\text{Dosis})+0.0007(\text{Dosis}^2) -4.27\times 10^{-6}(\text{Dosis}^3)$$

**Hongo: *Rhizopus stolonifer***

$$R1=9.27161+0.041263(\text{Dosis})-0.001549(\text{Dosis}^2) -4.27\times 10^{-6}(\text{Dosis}^3)$$

Se obtuvieron tres ecuaciones que describieron la relación entre la dosis aplicada y el crecimiento de tres hongos fitopatógenos: *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae* y *Rhizopus stolonifer*. Para *A. niger*, se observó una disminución en la respuesta conforme aumentaba la dosis, reflejada en el coeficiente negativo del término lineal, mientras que los términos cuadrático y cúbico indicaron un comportamiento más complejo. En el caso de *A. oryzae*, la respuesta al incremento de la dosis fue más moderada en comparación, mostrando una variación menos pronunciada. Finalmente, *R. stolonifer* mostró un aumento inicial en la respuesta, pero el término cuadrático negativo sugirió una reducción en dosis más altas. Estos resultados permitieron modelar el efecto de las dosis aplicadas sobre el crecimiento de cada hongo.



**Figura 1.** Interacción entre dosis y tipo de hongo sobre el crecimiento (R1).  
**Figure 1.** Interaction between Dose and Type of Fungus on Growth (R1).

La Figura 1 muestra una buena alineación de los residuos con la línea de normalidad se puede concluir que el modelo utilizado para evaluar el crecimiento de los hongos en función de las dosis extracto de teca es robusto y que las suposiciones de normalidad se sostienen. Esto respalda la validez de los resultados del experimento.

**Tabla 8.** Resumen de valores reales y predichos, junto con residuos y otras métricas de ajuste del modelo.

**Table 8.** Summary of Actual and Predicted Values, Along with Residuals and Other Fit Metrics of the Model.

Orden de ejecución	Valor real	Valor predicho	Residual	Apalancamiento	Residual es Estudentizados Internos	Residual es Estudentizados Externos	Distancia de cook	Influencia en Valor Ajustado (DFFITS)	Orden Estándar
1	4	3,99	0,0142	0,55	0,236	0,22	0,007	0,243	10
2	1,9	1,85	0,05	0,5	0,788	0,765	0,062	0,765	17
3	3,7	3,69	0,0062	0,88	0,2	0,186	0,029	0,502	11
4	5,3	5,41	-0,1137	0,491	-1,777	-2,22	0,304	-2,18	6
5	9	9	0	0,5	0	0	0	0	13
6	7,8	7,87	-0,0695	0,623	-1,262	-1,329	0,263	-1,708	2
7	9	9	0	0,5	0	0	0	0	12



8	6,5	6,55	-0,05	0,5	-0,788	-0,765	0,062	-0,765	14
9	5,5	5,41	0,0863	0,491	1,349	1,452	0,176	1,426	7
10	1,8	1,85	-0,05	0,5	-0,788	-0,765	0,062	-0,765	16
11	6,5	6,46	0,0386	0,883	1,262	1,329	1,205 <sub>(1)</sub>	3,657 <sup>(1)</sup>	3
12	5,8	5,86	- 0,0555	0,498	-0,874	-0,857	0,076	-0,853	4
13	5	4,92	0,0826	0,674	1,613	1,884	0,537	2,708 <sup>(1)</sup>	8
14	6,6	6,55	0,05	0,5	0,788	0,765	0,062	0,765	15
15	4,4	4,48	- 0,0757	0,55	-1,257	-1,323	0,193	-1,462	9
16	8,7	8,66	0,0419	0,863	1,262	1,329	1	3,330 <sup>(1)</sup>	1
17	5,9	5,86	0,0445	0,498	0,699	0,671	0,048	0,668	5

La tabla 8 ofrece un análisis exhaustivo de los resultados del experimento sobre el crecimiento de hongos fitopatógenos, comparando los valores reales y predichos. Incluye métricas como los residuos, que reflejan la precisión del modelo.

El análisis de los datos experimentales resalta la alta precisión y robustez del modelo ajustado. Por ejemplo, el residual promedio cercano a cero, como se observa en casos como el valor real de 9, que coincide perfectamente con su valor predicho (residual = 0), demuestra la exactitud del modelo en la estimación. Este comportamiento es recurrente en observaciones como las de los órdenes estándar 7 y 5, lo que refleja la estabilidad del ajuste.

Los valores de apalancamiento, en su mayoría cercanos a 0,5, como se observa en datos con órdenes estándar 14 y 8, indican una influencia moderada de estas observaciones en el modelo. Por otro lado, aunque algunas observaciones, como la del orden estándar 11, presentan apalancamientos más altos (0,883), el modelo sigue mostrando una capacidad adecuada para integrarlas sin comprometer su robustez general.

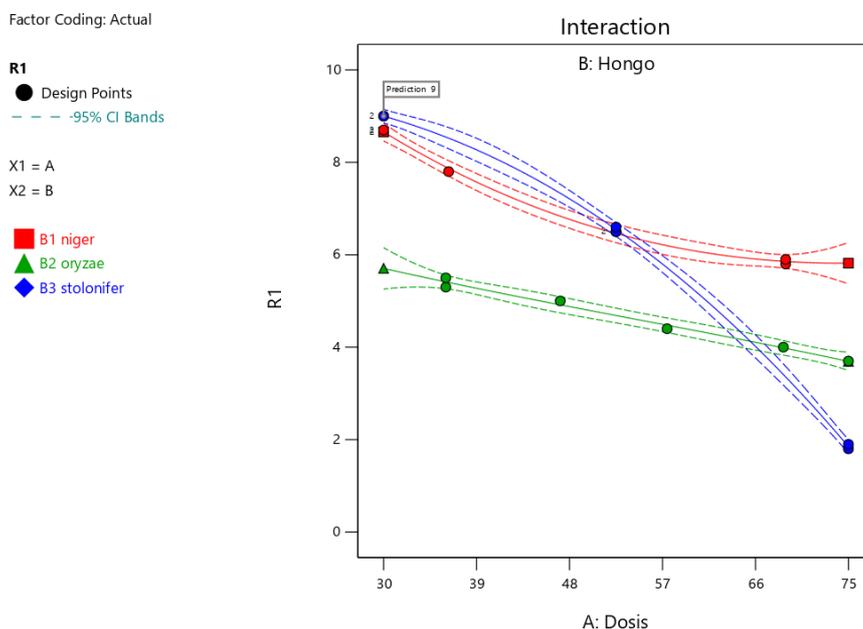
Las distancias de Cook, en la mayoría de los casos, son bajas (por ejemplo, 0,062 en órdenes estándar 14 y 8), lo que sugiere que las observaciones individuales no afectan de manera significativa el ajuste global. Sin embargo, algunas observaciones como las de los órdenes estándar 11 y 16 muestran valores más elevados (1,205 y 1, respectivamente), destacando puntos con mayor influencia, aunque dentro de límites aceptables para garantizar la estabilidad del modelo.

Los valores residuales estudentizados externos son otro punto clave del análisis. En la mayoría de los casos, como en las observaciones de órdenes estándar 5 (residual = 0) y 14 (residual = -0,765), estos valores son cercanos a cero, reflejando una alta congruencia entre las predicciones y los datos observados. Incluso en casos con residuales más notables, como en el orden estándar 4 (-2,22), el modelo mantiene su capacidad predictiva global.

Por ello el análisis de los datos experimentales demuestra que el modelo es altamente confiable y preciso. La consistencia en los valores residuales, junto con la distribución equilibrada de los apalancamientos y distancias de Cook, confirma que el



modelo es adecuado para describir el fenómeno estudiado, proporcionando un marco sólido para el desarrollo de conclusiones científicas.



**Figura 2.** Gráfico de los residuos estandarizados del modelo de crecimiento en función de la dosis y el tipo de hongo.

**Figure 2.** Plot of the Standardized Residuals of the Growth Model as a Function of Dose and Type of Fungus

La figura 2 de interacción se muestra la relación entre las dosis aplicadas y el tipo de hongo en cuanto al diámetro de crecimiento (R1). A medida que se incrementan las dosis, se observa una tendencia general de disminución en el crecimiento para todos los hongos, con diferencias notables en la respuesta según el tipo de hongo. Las líneas de colores indican que *Rhizopus stolonifer* presenta una mayor reducción en comparación con los otros hongos a dosis más altas. Las bandas de confianza del 95% sugieren que hay variaciones significativas en los resultados, lo que implica que el efecto de la dosis varía dependiendo del hongo específico. Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar tanto la dosis como el tipo de hongo al optimizar condiciones de cultivo.

#### 4. Discusión

El tamizaje fitoquímico que se realizó a la planta de teca identificó la presencia de saponinas en los extractos acuosos, como se observa en la Tabla 2, sugiere un potencial efecto surfactante y propiedades inmunomoduladores (Adeniyi, Orjiekwe, Ehiagbonare, & Arimah, 2012). Las saponinas son conocidas por su capacidad para interactuar con membranas celulares, lo que puede resultar en efectos antitumorales y antiinflamatorios (Edeoga, Okwu, & Mbaebie, 2005). Los flavonoides fueron identificados en los extractos acuoso y alcohólico mediante métodos analíticos. Estos compuestos polifenólicos han demostrado poseer propiedades antioxidantes significativas (Havsteen, 2012). Su capacidad para neutralizar radicales libres contribuye a la prevención de enfermedades crónicas, como enfermedades cardiovasculares y cáncer (Rice-Evans, Miller, & Paganga, 2016). Además, los flavonoides pueden actuar como moduladores de la respuesta inmune, lo que resalta su importancia en la salud general (Nijveldt, y otros, 2001).



Lin et al. (2016) menciona que los fenoles y taninos, evaluados con reactivos como el acetato de plomo y  $\text{FeCl}_3$ , también son metabolitos de interés. Estos compuestos son conocidos por sus propiedades antioxidantes y su capacidad para quelar metales, lo que puede contribuir a la protección contra el daño celular (HuangBoxin, Ou, & Prior, 2005). Los taninos, en particular, han mostrado actividad antimicrobiana, lo que los convierte en candidatos prometedores para el desarrollo de conservantes naturales (Burt, 2004).

La identificación de azúcares reductores mediante los métodos de Fehling A y B es relevante, ya que estos compuestos pueden influir en el metabolismo energético y tienen implicaciones en la regulación de la glucosa en sangre (Horecker, 2017). Su presencia puede indicar el potencial de los extractos para ser utilizados en el tratamiento de trastornos metabólicos (Khan & Ullah, 2021).

Los aminoácidos, reportados en la Tabla 2, son esenciales para el crecimiento y desarrollo celular (Mäkelä & Kallio, 2020). La detección de aminoácidos en los extractos sugiere que estos pueden contribuir a la actividad biológica de las plantas, actuando como precursores de proteínas y metabolitos secundarios (Wallsgrove, 2010). Finalmente, los alcaloides, son conocidos por sus efectos farmacológicos, que incluyen propiedades analgésicas, antidepresivas y antitumorales (Bruneton, 2013). La diversidad de alcaloides presentes en los extractos de plantas puede ser un indicador de su potencial terapéutico (Wink, 2015).

Por otro lado la Tabla 3 muestra el impacto de diferentes dosis de extracto acuoso y la especie de hongo en el diámetro de crecimiento de tres cepas diferentes *Rhizopus stolonifer*, *Aspergillus niger* y *Aspergillus oryzae*. Los resultados indican variaciones significativas en el crecimiento del hongo en función de los tratamientos aplicados, lo que es consistente con estudios previos que han demostrado la influencia de factores ambientales y nutricionales en el desarrollo micelial de los hongos (Makhuvele, Naidu, Gbashi, Thipe, & Adebo, 2024).

Los datos indican que las dosis más altas de extracto acuoso (68.7 mg/ml y 75 mg/ml) redujeron el crecimiento en comparación con dosis más bajas (30 mg/ml y 36.02 mg/ml), esto se observa en la Tabla 3 lo que sugiere que un aumento en la concentración del extracto potencia la inhibición del crecimiento fúngico debido a la mayor presencia de compuestos químicos o metabolitos de las plantas. Por ejemplo, la investigación de Tharuka y Baojun (2023) encontró que los extractos vegetales pueden actuar como inhibidores del crecimiento de hongos fitopatógenos por sus compuestos bioactivos. Además, las diferencias observadas entre las especies de hongo, como *Aspergillus niger* y *Rhizopus stolonifer*, resaltan la importancia de la selección de cepas en estudios microbiológicos. La variabilidad en la respuesta del crecimiento puede atribuirse a las adaptaciones fisiológicas y metabólicas específicas de cada especie frente a las condiciones del medio de cultivo (Sakamoto, 2018). En este contexto, la interacción entre la dosis del extracto y la especie de hongo podría ser fundamental para optimizar el crecimiento y la producción de metabolitos de interés.

La Figura 2 evidencia que el crecimiento de las tres especies de hongos disminuye de forma notable con el incremento de la dosis del extracto acuoso, aunque la magnitud de esta reducción varía entre ellas. *Rhizopus stolonifer* (B3) es la especie que muestra la mayor reducción del diámetro de crecimiento con dosis más altas, lo que sugiere que es más sensible a los compuestos bioactivos presentes en el extracto en comparación con las otras dos especies. Este patrón coincide con lo reportado en estudios como el de Safari, Ardakani, Parroni, Becaccioli y Reverberi (2020), que



señalan cómo ciertas especies de hongos pueden ser más susceptibles a compuestos naturales específicos dependiendo de su fisiología y mecanismos de defensa.

*Aspergillus niger* como se observa en la Figura 2 (B1), aunque también presenta una disminución en el crecimiento, es menos afectado en dosis más altas en comparación con *Rhizopus stolonifer*, lo que podría sugerir una mayor sensibilidad a los compuestos inhibidores del extracto. Esta variabilidad entre especies fúngicas ha sido documentada por Philippe (2021), quien encontró que la sensibilidad de los hongos a inhibidores naturales varía considerablemente dependiendo de las características metabólicas y estructurales de cada cepa, ya que *Rhizopus stolonifer*, probablemente debido a que su micelio, menos complejo y con una membrana celular más frágil en comparación con las especies de *Aspergillus*, lo hace más vulnerable a los compuestos bioactivos presentes en el extracto (Velázquez-del Valle et al., 2008). A nivel celular, el micelio cenocítico de *Rhizopus* carece de la compartimentación interna que caracteriza a otras especies, lo que podría facilitar la entrada y difusión de los metabolitos inhibitorios en su citoplasma (Cortés-Rivera et al., 2021). Por el contrario, *Aspergillus niger* (B1) y *Aspergillus oryzae* (B2) presentan micelios septados y paredes celulares más gruesas y complejas, características que les otorgan una mayor capacidad para resistir agentes externos (García-Conde et al., 2024). Estas diferencias estructurales podrían ser la clave de por qué *Rhizopus stolonifer* muestra una menor inhibición en condiciones de dosis elevadas.

Además de las características estructurales, las capacidades metabólicas también parecen jugar un papel importante en la resistencia diferencial de estos hongos. *Aspergillus niger* y *Aspergillus oryzae* tienen sistemas enzimáticos más versátiles, que les permiten neutralizar de manera más efectiva los compuestos antimicrobianos presentes en el extracto (Philippe, 2021). Estas especies producen enzimas antioxidantes como catalasas y peroxidasas en mayores cantidades, lo que las protege del daño oxidativo causado por los metabolitos secundarios (Frisvad et al., 2018). Por otro lado, *Rhizopus stolonifer* no cuenta con estos mecanismos enzimáticos tan desarrollados, lo que lo hace más susceptible a los efectos fungistáticos, como la alteración de su membrana celular y la inhibición de procesos metabólicos esenciales (Hernández-Lauzardo et al., 2007). Estos hallazgos destacan la relevancia de considerar las diferencias estructurales y metabólicas entre las especies de hongos al evaluar la efectividad de agentes bioactivos.

Con los resultados obtenidos se consiguió el modelo estadístico presente en la Tabla 4 el cual indicó que el modelo cúbico fue el más adecuado, con un  $R^2$  ajustado de 0,9983 y un  $R^2$  predicho de 0,9938, y no mostró una falta de ajuste significativa, esto se pudo confirmar en la Figura 1, en la que se ilustra cómo la interacción entre dosis y el tipo de hongo impactan el diámetro de crecimiento. A medida que las dosis aumentan, el crecimiento de los hongos tiende a reducirse, aunque cada hongo responde de manera diferente (Dean & Bos, 2010). Las líneas de colores de la Figura 2 muestran que *Rhizopus stolonifer* sufre una mayor reducción de crecimiento a dosis más altas en comparación con los otros hongos evaluados. Las bandas de confianza del 95% reflejan diferencias significativas en los resultados, lo que indica que el efecto de la dosis depende del tipo de hongo. Estos resultados destacan la necesidad de ajustar tanto la dosis como el tipo de hongo para optimizar las condiciones de cultivo (Ghazal, Higgins -Keppler, Scott, & Heather, 2020).

En cuanto a las bandas de confianza del 95% de la Figura 2, se observó que no se solapan significativamente en muchas de las dosis aplicadas, lo que sugiere que las diferencias entre las especies de hongos en respuesta a la dosis son estadísticamente significativas. La importancia de tener en cuenta estas diferencias



inter-especies es fundamental, como lo destacan estudios de inhibición fúngica (Rachid, y otros, 2022), en los que se enfatiza la necesidad de ajustar las dosis de los tratamientos en función de la sensibilidad específica de los hongos evaluados. Estos resultados resaltan la importancia de seleccionar adecuadamente la especie de hongo objetivo en estudios microbiológicos, dado que el efecto de los tratamientos puede variar considerablemente. Además, demuestran la necesidad de optimizar las concentraciones de los compuestos bioactivos para maximizar la inhibición del crecimiento en hongos fitopatógenos.

## 5. Conclusiones

En este estudio, se evaluó la actividad antifúngica del liofilizado del extracto de hojas de *Tectona grandis* frente a tres especies de hongos fitopatógenos *Rhizopus stolonifer*, *Aspergillus niger* y *Aspergillus oryzae*. Los resultados obtenidos demuestran que el extracto acuoso de esta planta tiene un efecto inhibitorio significativo sobre el crecimiento de las cepas de hongos evaluadas. A medida que se aumentó la dosis del extracto, se observó una reducción en el diámetro de crecimiento de los hongos, con una mayor inhibición en *Rhizopus stolonifer*. Este hongo fue el más sensible a las dosis más bajas de 30 mg/ml, y presentó la mayor inhibición a la concentración más altas de 75 mg/ml, con un crecimiento de solo 1.8 cm. En contraste, *Aspergillus niger* mostró un crecimiento robusto en varias concentraciones, alcanzando un máximo de 8.7 cm, lo que se aproxima al control negativo de 9 cm, indicando que, a esa concentración, la inhibición sobre este hongo fue mínima. Este hallazgo sugiere que la respuesta de los hongos a las concentraciones del extracto es altamente dependiente de la dosis aplicada.

El análisis fitoquímico de *Tectona grandis* reveló la presencia de compuestos bioactivos como saponinas, flavonoides, taninos y alcaloides, los cuales han mostrado propiedades antioxidantes, antimicrobianas y moduladoras del sistema inmune en investigaciones previas. Estos metabolitos secundarios podrían ser responsables de la actividad antifúngica observada en este estudio. Además, las diferencias estructurales y metabólicas entre las especies de hongos jugaron un papel crucial en su respuesta al extracto. *Aspergillus niger* y *Aspergillus oryzae* presentaron una mayor resistencia a los efectos del extracto debido a su estructura celular más compleja y su capacidad para neutralizar los compuestos antimicrobianos. Por otro lado, *Rhizopus stolonifer*, debido a su micelio cenocítico y su falta de mecanismos enzimáticos tan desarrollados, mostró una mayor vulnerabilidad a los compuestos inhibitorios presentes en el extracto.

El modelo estadístico ajustado, con un  $R^2$  de 0.9983, validó la relación significativa entre la dosis de extracto y el diámetro de crecimiento fúngico. Las diferencias en la respuesta de los hongos indican la importancia de considerar las características de cada especie al optimizar la dosis de extracto. Las bandas de confianza al 95% mostraron diferencias significativas en la respuesta de los hongos, lo que refuerza la necesidad de ajustar las concentraciones de los compuestos bioactivos en función de la especie de hongo para maximizar la inhibición de su crecimiento.

En conclusión, *Tectona grandis* demuestra un alto potencial como fuente de agentes antifúngicos naturales, especialmente frente a *Rhizopus stolonifer*, que mostró una mayor sensibilidad a las concentraciones del extracto. Sin embargo, la variabilidad observada en la respuesta de las especies fúngicas destaca la importancia de realizar estudios adicionales que profundicen en las interacciones entre los compuestos bioactivos de la planta y las características específicas de cada



hongo, lo que podría contribuir al desarrollo de estrategias más efectivas para el control de enfermedades fúngicas en la agricultura.

## 6. Referencias

- Adeniyi, S., Orjiekwe, C., Ehiagbonare, J., & Arimah, B. (2012). Evaluation of chemical composition of the leaves of *Ocimum gratissimum* and *Vernonia amygdalina*. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6(3), 1316-1323. doi:10.4314/ijbcs.v6i3.34
- Brown, D., & Pandey, C. (2000). FAO.org. Recuperado de <https://www.fao.org/3/x4565e/x4565e03.htm#TopOfPage>
- Ramesha, Bawa, K., & Ganeshiah. (2006). *The Teak Book: Ecology, Silviculture, Management and Utilization*. India: International Book Distributors, p. 308.
- Ramírez Juan, S. N. (2006). Liofilización de alimentos. ReCiTela. [https://file:///C:/Users/Usuario/Downloads/2006Ramrez-Navas-LiofilizacionAlimentos%20\(2\).pdf](https://file:///C:/Users/Usuario/Downloads/2006Ramrez-Navas-LiofilizacionAlimentos%20(2).pdf)
- Rice-Evans, A., Miller, N., & Paganga, G. (2016). Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biology and Medicine*, 20(7), 933-956. doi: [https://doi.org/10.1016/0891-5849\(95\)02227-9](https://doi.org/10.1016/0891-5849(95)02227-9)
- Rivero González, D., Cruz Triana, A., Martínez Coca, B., Ramírez Arrebato, M. Á., & Rodríguez Pedroso, A. T. (2009). Actividad antifúngica in vitro de la quitosana Sigma frente a hongos fitopatógenos causantes del manchado del grano en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.). *Fitosanidad*, 13(2), 93-97. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1562-30092009000200005&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1562-30092009000200005&script=sci_arttext)
- Safari, N., Ardakani, H., Parroni, A., Becaccioli, M., & Reverberi, M. (2020). The Potential of Plant-Based Bioactive Compounds on Inhibition of Aflatoxin B1 Biosynthesis and Down-regulation of aflR, aflM and aflP Genes. *Antibiotics*, 9(11), 728. doi: <https://doi.org/10.3390/antibiotics9110728>
- Sakamoto, Y. (2018). Influences of environmental factors on fruiting body induction, development and maturation in mushroom-forming fungi. *Fungal biology reviews*, 32(4), 236-248. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2018.02.003>
- Singh, S. N., Coordinator, A., Agarwal, A., & Moses, A. S. (2019). Antimicrobial activity of *Tectona grandis* against MDR enteric pathogens. ~ 1833 ~ *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(5), 1833–1836. <http://www.phytojournal.com>
- Terrones, G. (2013). Efecto antifúngico del extracto etanólico de frutos secos de *Capsicum annum* var. *annuum* “pimentón” sobre el crecimiento de *Alternaria solani*, *Fusarium oxysporum* y *Aspergillus niger*. *Sagasteguiana*, 1(2), 31-40. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0185-33092007000100007&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0185-33092007000100007&script=sci_arttext)
- Tharuka, W., & Baojun, X. (2023). Health-Promoting Effects of Bioactive Compounds from Plant Endophytic Fungi. *Journal Fungi*, 9(10), 997. doi:10.3390/jof9100997
- Tocagon, W., et al. (2020). *Proceso conservación alimentos por el método de liofilización* [Trabajo de titulación, Universidad de Colombia]. Repositorio CUN. <https://repositorio.cun.edu.co/handle/cun/1151>.
- Velázquez-del Valle, M. G., Bautista-Baños, S., Hernández-Lauzardo, A. N., Guerra-Sánchez, M. G., & Amora-Lazcano, E. (2008). Estrategias de control de *Rhizopus stolonifer* Ehrenb. (Ex Fr.) Lind, agente causal de pudriciones postcosecha en productos agrícolas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 26(1), 22-33. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-33092008000100003](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092008000100003)



- Wallsgrave, R. (2010). *Amino acids and their derivatives in higher plants*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511527085>
- Wink, M. (2015). *Alkaloids: Biochemistry, Ecology, and Medicinal Applications*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-15753-9>