



B1

ISSN: 2595-1661

ARTIGO ORIGINAL

Listas de conteúdos disponíveis em [Portal de Periódicos CAPES](#)

## Revista JRG de Estudos Acadêmicos

Página da revista:

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



### Evaluación de la actividad antifúngica del liofilizado del extracto de hojas de *Tectona grandis* frente a hongos fitopatógenos

Evaluation of the Antifungal Activity of Lyophilized *Tectona grandis* Leaf Extract Against Phytopathogenic Fungi

DOI: 10.55892/jrg.v8i18.2055

ARK: 57118/JRG.v8i18.2055

Recebido: 11/04/2025 | Aceito: 28/04/2025 | Publicado on-line: 05/05/2025

#### Jannys Lizeth Rivera Barreto<sup>1</sup>

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

Teniente Hugo Ortiz E45, Puyo. 160101, Puyo, Pastaza, Ecuador  
Universidad Estatal Amazónica. Ciencias de la Vida  
E-mail: [jl.riverab@uea.edu.ec](mailto:jl.riverab@uea.edu.ec)

#### Nancy Narcisca Rodríguez Almeida<sup>2</sup>

<https://orcid.org/0009-0000-8843-920X>

Teniente Hugo Ortiz E45, Puyo. 160101, Puyo, Pastaza, Ecuador  
Universidad Estatal Amazónica. Ciencias de la Vida  
E-mail: [nn.rodriguez@uea.edu.ec](mailto:nn.rodriguez@uea.edu.ec)

#### Ruth Dayra Dahua Gualinga<sup>3</sup>

<https://orcid.org/0009-0009-3472-6540>

Teniente Hugo Ortiz E45, Puyo. 160101, Puyo, Pastaza, Ecuador  
Universidad Estatal Amazónica. Ciencias de la Vida  
E-mail: [rd.dahuag@uea.edu.ec](mailto:rd.dahuag@uea.edu.ec)

#### Luis Ramón Bravo Sánchez<sup>4</sup>

<https://orcid.org/0000-0001-5756-6628>

Teniente Hugo Ortiz E45, Puyo. 160101, Puyo, Pastaza, Ecuador  
Universidad Estatal Amazónica. Ciencias de la Vida  
E-mail: [l.bravo@uea.edu.ec](mailto:l.bravo@uea.edu.ec)



### Resumen

Este estudio evalúa la actividad antifúngica del extracto liofilizado de hojas de *Tectona grandis* contra tres hongos fitopatógenos, *Aspergillus oryzae*, *Rhizopus stolonifer* y *Aspergillus niger*. Se realizó un tamizaje fitoquímico que reveló que el extracto acuoso contenía la mayor diversidad de metabolitos bioactivos, incluyendo saponinas, flavonoides y alcaloides. En el experimento en condiciones controladas, se midió el efecto de diferentes concentraciones del extracto acuoso sobre el crecimiento de los hongos, con concentraciones que variaron entre 30 y 75 mg/ml. Los resultados mostraron que *Rhizopus stolonifer* fue el más afectado a bajas dosis, mientras que *Aspergillus niger* presentó un crecimiento notable en concentraciones de 36,3 mg/ml y 52,5mg/ml. El análisis de varianza (ADEVA) del modelo cúbico indicó que todos los términos del modelo, incluidos la dosis y la interacción entre dosis y tipo de hongo, fueron significativos ( $p < 0.0001$ ). Además, el modelo cúbico mostró un  $R^2$  ajustado

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

<sup>2</sup> Graduado(a) en Biología 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

de 0,9983, lo que sugiere un excelente ajuste a los datos observados. Estos hallazgos sugieren que el extracto de *Tectona grandis* tiene un potencial significativo como agente antifúngico, variando su efectividad según el tipo de hongo y la concentración utilizada, lo que podría ser útil en el desarrollo de estrategias de control biológico en cultivos.

**Palabras-clave:** actividad antifúngica, *Tectona grandis*, hongos fitopatógenos, metabolitos bioactivos

### **Abstract**

*This study evaluates the antifungal activity of the freeze-dried extract of Tectona grandis leaves against three phytopathogenic fungi, Aspergillus oryzae, Rhizopus stolonifer, and Aspergillus niger. A phytochemical screening revealed that the aqueous extract held the highest diversity of bioactive metabolites, including saponins, flavonoids, and alkaloids. In the experiment under controlled conditions, the effect of different concentrations of the aqueous extract on fungal growth was measured, with concentrations varying between 30 and 75 mg/ml. The results showed that Rhizopus stolonifer was the most affected at low doses, while Aspergillus niger exhibited notable growth at concentrations of 36.3 mg/ml and 52.5 mg/ml. The analysis of variance (ANOVA) of the cubic model showed that all model terms, including dose and the interaction between dose and fungus type, were significant ( $p < 0.0001$ ). Additionally, the cubic model proved an adjusted  $R^2$  of 0.9983, suggesting an excellent fit to the observed data. These findings suggest that Tectona grandis extract has significant potential as an antifungal agent, varying in effectiveness depending on the fungus type and concentration used, which could be useful in developing biological control strategies in crops.*

**Keywords:** antifungal activity, *Tectona grandis*, phytopathogenic fungi, bioactive metabolites

## **1. Introducción**

La teca (*Tectona grandis* L.) es un árbol del que se obtiene una de las maderas duras más valoradas a nivel mundial, conocida por su durabilidad, textura fina y color suave (Nidavani & Am, 2014). Su distribución natural se limita a India, Myanmar, Laos y Tailandia, aunque fue introducida en Java (Indonesia), hace entre 400 y 600 años. Actualmente, también se cultiva en varias regiones tropicales de Asia, África (incluyendo Nigeria y Tanzania), América Latina (Ecuador, Colombia y Venezuela), y en algunas islas del Pacífico, como Papúa Nueva Guinea, Fiyi y las Islas Salomón.

La madera de teca es conocida por sus propiedades antifúngicas naturales, las cuales se deben a la presencia de compuestos químicos como los taninos y los aceites naturales (Monsalve & Bello, 2019). Estos componentes protegen a la madera contra la acción de hongos, lo que la convierte en una opción preferida para usos en exteriores y en ambientes húmedos, en los que la proliferación de hongos es una preocupación (Ramesha et al., 2006).

La relevancia de la teca radica en la durabilidad de su madera y su resistencia a termitas, gracias a la presencia de compuestos bioactivos como la tectoquina, lapachol, desoxilapachol, antraquinonas, naftoquinonas y quinonas isoprenoides, que ejercen efectos toxicológicos o farmacológicos sobre otros organismos (Chávez-Salgado et al., 2022). Además, la teca contiene fitoquímicos como triterpenoides, esteroides, lignanos y compuestos fenólicos, estos metabolitos cumplen

principalmente una función repelente frente a termitas y disuasoria en hongos, y los fitoquímicos proporcionan protección contra macro y microorganismos (Pooja et al., 2018).

La corteza del árbol de teca se utiliza en la medicina tradicional para tratar el estreñimiento, y también se emplea en casos de bronquitis, hiperacidez, ardor, diabetes, lepra y enfermedades de la piel. Las hojas se utilizan como depurativos, antiinflamatorios y en el tratamiento de hemorragias y úlceras. Además, los extractos de su madera tienen propiedades sedantes, y el aceite extraído de la misma es comúnmente utilizado para aliviar dolores de cabeza (Khera, 2013). Se ha comprobado que tres extractos crudos de teca poseen actividad antifúngica contra patógenos vegetales como *Alternaria cajani*, *Fusarium sp.*, *Helminthosporium sp.*, y *Bipolaris sp.* (Kouassi et al. 2016).

Diversos estudios han demostrado que los extractos de hojas de teca contienen compuestos con notables propiedades antifúngicas. Los taninos en estas hojas han sido identificados como agentes efectivos para inhibir el crecimiento y la proliferación de varios hongos (Flores et al., 2014). Estas características hacen que la teca sea una opción atractiva para aplicaciones en las que la resistencia al moho y la degradación por hongos son factores clave (Monsalve & Alarcón, 2019).

En la actualidad existe el desafío global por parte de los científicos, investigadores, farmacéuticos y académicos en la búsqueda de nuevos y más efectivos agentes antibióticos y antifúngicos naturales (Singh et al., 2021), ya que muchos agentes infecciosos se vuelven resistentes a los medicamentos sintéticos y también generan efectos secundarios es por ello que existe un gran interés en las propiedades antifúngicas que posee la *Tectona grandis* L. (Neha & Sangeeta, 2013).

La liofilización, al reducir casi por completo el contenido de humedad, permite que el extracto de hojas vegetales se conserve indefinidamente. A pesar de su larga estabilidad, el proceso mantiene las propiedades originales del producto. Además, el bajo peso del producto liofilizado hace que sea fácil de manejar, sin necesidad de refrigeración durante su almacenamiento y transporte. Este proceso elimina entre el 95% y el 99.5% del agua, lo que contribuye a su prolongada vida útil (Tocagon et al., 2020).

Por ello la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la actividad antifúngica del liofilizado del extracto de hojas de *Tectona grandis* frente a tres hongos fitopatógenos.

## 2. Metodología

### Localización

Este estudio se realizó en los laboratorios de Química, Biología y Bromatología de la Universidad Estatal Amazónica, ubicada en la ciudad de Puyo, provincia de Pastaza, Ecuador.

### Recolección y acondicionamiento del material vegetal

Se recolectaron hojas de *Tectona grandis* en las cercanías de Santa Clara, una zona limítrofe entre las provincias de Pastaza y Napo. Para el acondicionamiento de la materia prima se siguió la metodología descrita por Luna-Fox et al. (2024), con algunas modificaciones. Las hojas fueron lavadas primero con agua potable y luego con agua destilada, se secaron al aire libre por dos horas, girándolas cada 15 a 20 minutos. Posteriormente, se secaron en una estufa durante 24 horas a 50°C.

### **Obtención y concentración de los extractos acuosos**

Se colocaron 75 g de polvo de hoja de teca en un matraz de un litro de capacidad y se añadieron 500 mL de agua destilada. La mezcla fue sometida a un baño ultrasónico Branson 38000, serie CPXH (Branson ultrasonic BV, Utrecht, Holanda), a 60°C durante 30 minutos con máxima potencia de ultrasonido. Posteriormente, se filtró por gravedad usando papel de filtro Whatman No. 1, y el filtrado se almacenó en frascos de vidrio ámbar para su posterior análisis. Finalmente, el extracto se almacenó a 4°C hasta su liofilización.

### **Tamizaje fitoquímico del extracto de teca**

El tamizaje fitoquímico del extracto de *Tectona grandis* se realizó siguiendo el método de García et al. (2023) con modificaciones.

Para la detección de saponinas, se diluyó 1 mL de extracto en 9 mL de agua destilada y se agitó; la formación de espuma persistente indicó un resultado positivo. En cuanto a los flavonoides, se empleó la prueba de Shinoda, donde la mezcla del extracto con ácido clorhídrico concentrado y zinc mostró coloraciones específicas que confirmaron su presencia. Se utilizó FeCl<sub>3</sub> para la detección de fenoles y taninos, en la que a aparición de colores indicativos y turbidez con acetato de plomo sugirieron la presencia de estos compuestos (Nwaeze, y otros, 2020). Los azúcares reductores se identificaron mediante el ensayo de Fehling, observándose un color rojo o naranja tras el calentamiento. Para los aminoácidos, se utilizó ninhidrina al 2%, donde un color azul-violeta indicó su presencia (Nayeem & Karvekar, 2015). La identificación de alcaloides se realizó a través de las pruebas de Dragendorff, Mayer y Wagner, donde se observó la formación de precipitados o cambios de color característicos (Irinmwina, y otros, 2023). Finalmente, la presencia de quinonas se verificó mediante la disolución de extractos en cloroformo y la adición de NaOH, con resultados positivos indicados por coloraciones rosadas o rojas (Nayeem & Karvekar, 2010).

### **Determinación de sólidos disueltos totales (SDT)**

Para la determinación de sólidos totales se siguió la metodología descrita por Jácome (2014), se utilizaron tres cápsulas de porcelana las cuales previamente se las pesaron vacías en una balanza analítica RADWAG modelo AS2020.02, posteriormente se midieron 5 mL de los extractos y se colocaron en cada cápsula, las cuales se sometieron a Baño María durante una hora.

Después, se colocaron en la estufa marca Binder DS-115 a 105°C, por tres horas. Al finalizar este tiempo, se enfriaron en un desecador durante 15 minutos antes de volver a pesarlas. Se repitió el proceso en la estufa por una hora más a 105°C hasta alcanzar un peso constante. Los cálculos de ST se realizaron usando la ecuación 1.

Fórmula para el cálculo de sólidos disueltos totales (SDT)

$$\text{Ecuación [1] SDT} = (A-B) / V \text{ (mL)} * 1000$$

Donde:

A= peso de la cápsula + el sólido seco (g)

B= peso del Cápsula (g)

V= volumen del extracto concentrado (mL)

## Liofilización de los extractos acuosos

Luego de que los extractos alcanzaron un mínimo del 20% de sólidos totales, se siguió la metodología descrita por (Ramírez, 2006) los extractos acuosos de hojas de teca se sometieron a liofilización en un liofilizador LABOGENE-SCANVAC durante 5 días, obteniendo los extractos en forma de polvo seco.

## Diseño experimental

Para diseñar el experimento se utilizó el software Design Expert versión 19, (Dahua Gualinga et al., 2024) que permitió implementar un diseño factorial 2x3, el programa arrojó un total de 17 experimentos los cuales se realizaron por triplicado y se reportó sus promedios, este diseño consistió en dos niveles para el factor de dosis y tres para el tipo de hongo, como se detalla a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1. Diseño experimental del software Design Expert versión 19  
Table 1. Experimental design using Design Expert software version 19

Experimento	Factor A: Concentración del extracto teca  (mg/ml)	Factor B: Hongo Fitopatógeno
1	68.7	<i>Aspergillus oryzae</i>
2	75	<i>Rhizopus stolonifer</i>
3	75	<i>Aspergillus oryzae</i>
4	36,02	<i>Aspergillus oryzae</i>
5	30	<i>Rhizopus stolonifer</i>
6	36.3	<i>Aspergillus niger</i>
7	30	<i>Rhizopus stolonifer</i>
8	52.5	<i>Rhizopus stolonifer</i>
9	36,02	<i>Aspergillus oryzae</i>
10	75	<i>Rhizopus stolonifer</i>
11	52.5	<i>Aspergillus niger</i>
12	68.925	<i>Aspergillus niger</i>
13	47.1	<i>Aspergillus oryzae</i>
14	52.5	<i>Rhizopus stolonifer</i>
15	57.45	<i>Aspergillus oryzae</i>
16	30	<i>Aspergillus niger</i>
17	68.925	<i>Aspergillus niger</i>

## Evaluación de la actividad antifúngica

Para analizar la actividad antifúngica del extracto liofilizado de *Tectona grandis*, se utilizaron tres tipos de hongos fitopatógenos *Rhizopus stolonifer*, *Aspergillus niger* y *Aspergillus oryzae* adquirida a través de la distribuidora Medibac y conservadas en el laboratorio de microbiología de la Universidad Estatal Amazónica. Las cepas fúngicas fueron cultivadas en cajas Petri con Agar Papa Dextrosa (PDA), y se aplicó

el extracto liofilizado de teca en concentraciones que variaron entre 30 y 75 mg/mL, empleando la técnica de medio envenenado (Rivero González et al., 2009).

Se vertieron 30 mL del medio suplementado con el extracto de teca en placas de Petri de vidrio (9 cm x 1,5 cm). Se prepararon placas de control negativo, en las que no se añadió extracto de teca, pero que siguieron el mismo procedimiento (Guerrero-Rodríguez et al., 2007). Todas las placas se incubaron a 27°C durante 7 días, y diariamente se registró el diámetro de las colonias. La efectividad del extracto se evaluó midiendo el crecimiento micelar que tuvieron los hongos de estudio envenenados con diferentes concentraciones de extracto de teca reportados en la Tabla 1 y se usó como control positivo un antifúngico comercial que tenía como principio activo difenoconazole y propiconazole. Por otro lado, como control negativo se usó medio de cultivo PDA sin envenenar (Patel & Patel, 2022).

### 3. Resultados

#### Tamizaje fitoquímico

En el experimento se evaluaron los metabolitos secundarios presentes en tres tipos de extractos (acuoso, alcohólico y etéreo) utilizando métodos cualitativos. Las saponinas se detectaron solo en el extracto acuoso mediante la prueba de espuma. Los flavonoides se encontraron en los tres extractos, siendo el acuoso el que presentó mayor concentración mediante la prueba de Shinoda. Los fenoles y/o taninos estuvieron presentes en el extracto acuoso y alcohólico, según las pruebas con FeCl<sub>3</sub> y acetato de plomo. Los azúcares reductores se identificaron exclusivamente en el extracto acuoso con Fehling A y B, mientras que los aminoácidos también se encontraron en este extracto y, en menor medida, en el alcohólico con la ninhidrina. Los alcaloides fueron abundantes en los extractos acuoso y alcohólico, detectados con los reactivos de Mayer, Wagner y Dragendorff. Por último, las quinonas se identificaron principalmente en el extracto acuoso mediante el método de Bortanger. Este análisis reveló que el extracto acuoso contenía una mayor cantidad y diversidad de metabolitos en comparación con los otros extractos, la información antes mencionada se reportó en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Tamizaje fitoquímico de hojas de teca en extracto acuoso, etanólico y etéreo.

**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
Saponinas	Espuma	+	-	-
Flavonoides	NaOH 20%	++	+	-
	Shinoda	+++	+	+
Fenoles o Taninos	FeCl <sub>3</sub>	+++	++	-
	acetato de plomo	+++	++	+
Azúcares reductores	Fehling A y B	+++	-	-
Aminoácidos	Ninhidrina	+++	++	-
Alcaloides	Mayer	+++	++	+

<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 presión 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>R<sup>2</sup></b>	0,9993
<b>Promedio</b>	5,73		<b>R<sup>2</sup> Ajustado</b>	0,9983
<b>C.V. %</b>	1,57		<b>R<sup>2</sup> 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***

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

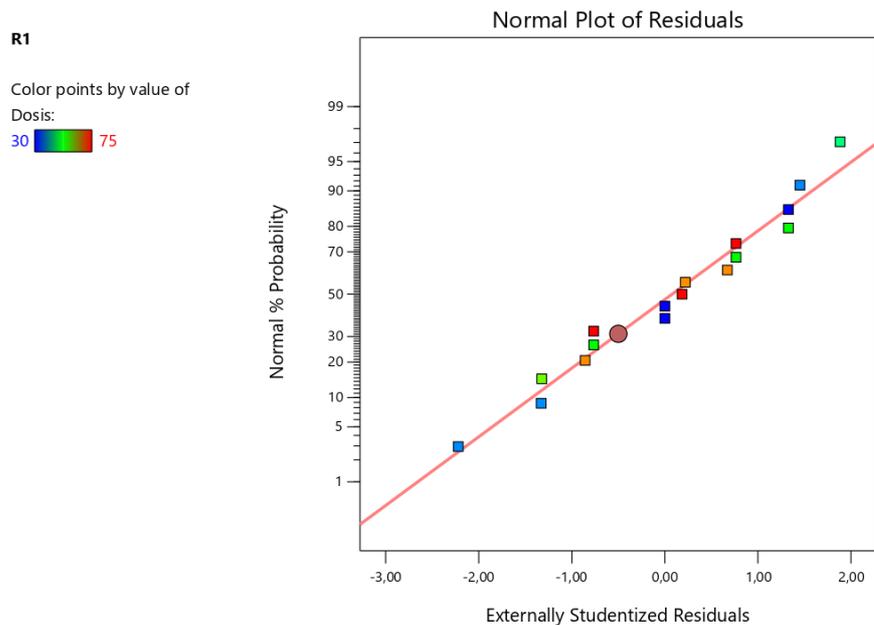
**Hongo: *Aspergillus oryzae***

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

**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.

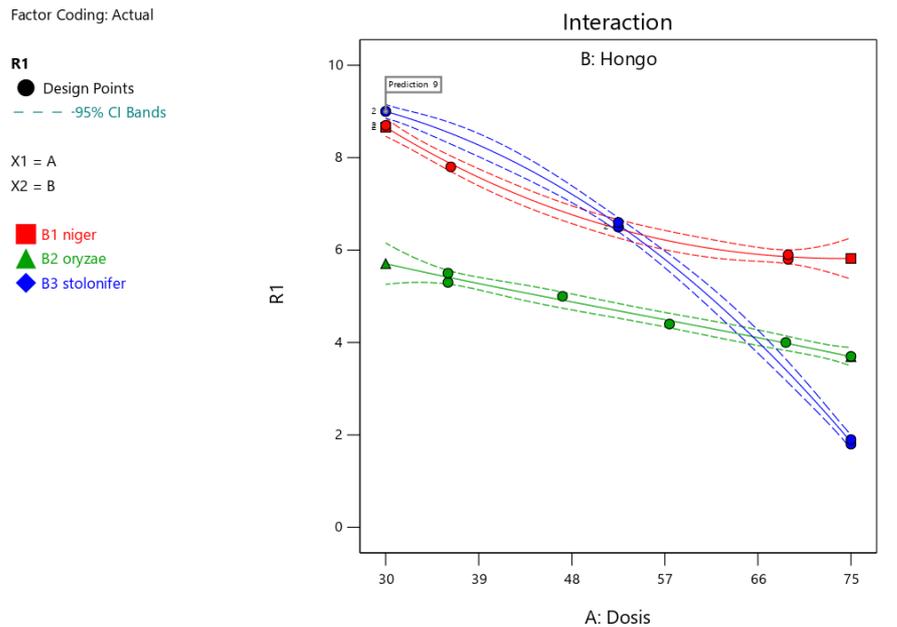
El análisis de los datos experimentales resalta la alta precisión y robustez del modelo ajustado. Por ejemplo, el residual promedio cercano a cero, como se observa en casos como el valor real de 9, que coincide perfectamente con su valor predicho (residual = 0), demuestra la exactitud del modelo en la 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 -Kepler, 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 alta 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
- Bruneton, J. (2013). *Pharmacognosy, phytochemistry, medicinal plants*. ed 2. Obtenido de <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19940303123>
- Burt, S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223-253. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022>
- Brown, D., & Pandey, C. (2000). FAO.org. Recuperado de <https://www.fao.org/3/x4565e/x4565e03.htm#TopOfPage>
- Chávez-Salgado, L., Vandebossche, V., & Vilarem, G. (2022). *Tectona grandis* Linn. f. secondary metabolites and their bioactive potential: a review. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 15(2), 112–120. <https://doi.org/10.3832/ifer3714-015>
- Cortés-Rivera, H. J., González-Estrada, R. R., Huerta-Ocampo, J. Á., Blancas-Benítez, F. J., & Gutiérrez-Martínez, P. (2021). Evaluación de quitosano comercial y extractos acuosos de mesocarpio de coco (*Cocos nucifera* L.) para el control de *Rhizopus stolonifer* aislado de guanábana (*Annona muricata* L.): Pruebas in vitro. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 24, 1-11. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2021.0.293>
- Dahua Gualinga, R. D., Rivera Barreto, J. L., Rodríguez Almeida, N. N., & Sancho Aguilera, D. (2024). Actividad antimicrobiana, antifúngica y tamizaje fitoquímico de *Simira cordifolia*. *Gaea Ciencia Contemporánea*, 5(1). <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v5/n1/382>
- Dean, A., & Bos, D. (2010). *Fractional Factorial Experiments: Design and Analysis of Experiments*. New York : Springer Texts in Statistics ((STS)). doi:[https://doi.org/10.1007/0-387-22634-6\\_15](https://doi.org/10.1007/0-387-22634-6_15)
- Edeoga, H., Okwu, D., & Mbaebie, B. (2005). Phytochemical constituents of some Nigerian medicinal plants. *African Journal of Biotechnology*, 4(7), 685-688. doi:10.5897/AJB2005.000-3127
- Flores Jeimy, B., Trugilho Paulo, F., Lima José, T., Gherardi Paulo, R., & Moreira José, R. (2014). Caracterización de la madera joven de *Tectona grandis* L. F. plantada en Brasil. *Madera y Bosques*, 20(1), 11-20. <https://doi.org/10.21829/myb.2014.201172>
- Frisvad, J. C., Møller, L. L. H., Larsen, T. O., Kumar, R., & Arnau, J. (2018). Safety of the fungal workhorses of industrial biotechnology: Update on the mycotoxin and secondary metabolite potential of *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae*, and *Trichoderma reesei*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(22), 9481-9515. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9354-1>
- García-Conde, K. B., Cerna-Chávez, E., Ochoa-Fuentes, Y. M., & Velázquez-Guerrero, J. J. (2024). *Aspergillus oryzae*: Una oportunidad para la agricultura. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 42(1), 1. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2302-2>
- García, J., Rodríguez, M., Hernández, L., & Vargas, C. (2023). Estandarización de técnicas para el tamizaje fitoquímico de plantas medicinales. *Revista de Farmacología y Terapéutica*, 15(2), 2, 45-59.

- Ghazal, E., Higgins -Keppler, A., Scott, D., & Heather, B. (2020). Inhibition of Fungal Growth and Induction of a Novel Volatilome in Response to *Chromobacterium vaccinii* Volatile Organic Compounds. *Pub Med*, 20(11), 1035. doi: 10.3389/fmicb.2020.01035
- Guerrero-Rodríguez, E., Solís-Gaona, S., Hernández-Castillo, F. D., Flores-Olivas, A., Sandoval-López, V., & Jasso-Cantú, D. (2007). Actividad biológica in vitro de extractos de *Flourensia cernua* D.C. en patógenos de postcosecha: *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl., *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y *Sacc.* y *Penicillium digitatum* (Pers.) Sacc. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 25(1). [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)
- Havsteen, B. (2012). Havsteen, B. H. (2002). The biochemistry and medical significance of the flavonoids. *Pharmacology & therapeutics*, 96(2-3), 67-202. *Pharmacology & therapeutics.*, 96(2-3), 67-202. doi:[https://doi.org/10.1016/S0163-7258\(02\)00298-X](https://doi.org/10.1016/S0163-7258(02)00298-X)
- Horecker, B. (2017). The biochemistry of sugars. *Pub Med*, 15(1), 1-21. Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/182650/>
- HuangBoxin, D., Ou, B., & Prior, R. (2005). The Chemistry behind Antioxidant Capacity Assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(6), 1841-1856. doi:<https://doi.org/10.1021/jf030723c>
- Irinmwinuwa, E., Cherechi, N., Oyate, G., Ifeyinwa, O., Chinedu, J., & Iganga, A. (2023). A comprehensive review of phytochemistry and antibacterial action of *Tectona grandis*. *International Journal of Science and Research Archive*, 9(2), 133-143. doi:<https://doi.org/10.30574/ijrsra.2023.9.2.0527>
- Jácome, J. (2014). Validación de métodos analíticos para la determinación de la demanda química de oxígeno (rango bajo, rango medio, rango alto), sólidos totales disueltos y sólidos totales suspendidos en matrices de agua clara y residual en el Centro de Investigaciones y Control Ambiental [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/8461>
- Khan, M. I., & Ullah, N. (2021). Bioactive Compounds in Medicinal Plants and Their Role in Metabolic Disorders. *Molecules*, 26(4), 1001. <https://doi.org/10.3390/molecules26041001>
- Khera, N., & Bhargava, S. (2013). Phytochemical and Pharmacological Evaluation of *Tectona grandis*. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 5(3), 923-927. <https://bit.ly/47UXan0>
- Kouassi, E. K., Coulibaly, I., M'boh, G. M., Ouattara, S., Koffi, M. K. A., Oniga, I., & Allico, J. D. (2016). Comparison of anti-aspergillar activity of extracts of *Tectona grandis* Linn according to two antifungal susceptibility testing. *The Journal of Phytopharmacology*, 5(3), 93-99. <https://doi.org/10.31254/phyto.2016.5301>
- Lin, D., Xiao, M., Zhao, J., Li, Z., Xing, B., Li, X., Kong, M., Li, L., Zhang, Q., Liu, Y., Chen, H., Qin, W., & Wu, H. (2016). Overview of plant phenolic compounds and their importance in human nutrition and type 2 diabetes treatment. *Molecules*, 21(10), 1374. <https://doi.org/10.3390/molecules21101374>
- Luna-Fox, S. B., Uvidia-Armijo, J. H., & Rivera-Barreto, J. L. (2024). Kinetic study of solid-liquid extraction of caffeine in *Ilex guayusa* Loes. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, 41(3), e244128. [https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v41.n3.08](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v41.n3.08)
- Makhuvele, R., Naidu, K., Gbashi, S., Thipe, V., & Adebo. (2024). The use of plant extracts and their phytochemicals for control of toxigenic fungi and mycotoxins.

- Trend and immunology*, 45(10), 15-848. Obtenido de [https://www.cell.com/trends/immunology/current?utm\\_campaign=STMJ\\_1728563399\\_CP\\_ALT&utm\\_medium=BAN&utm\\_source=WEB&dgcid=STMJ\\_1728563399\\_CP\\_ALT](https://www.cell.com/trends/immunology/current?utm_campaign=STMJ_1728563399_CP_ALT&utm_medium=BAN&utm_source=WEB&dgcid=STMJ_1728563399_CP_ALT)
- Mäkelä, P., & Kallio, H. (2020). Amino Acids: Importance and Analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(35), 9463-9475. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c03654>
- Monsalve, M., & Alarcón, A. (2019). Redalyc.org. Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/5826/582661898006/html/>
- Monsalve Meribary, P., & Bello Adonis, A. (2020). Evaluación antimicrobiana de extractos obtenidos de los residuos de la corteza de Teca (*Tectona grandis* L.F). *UNEMI*, 13(32), 63-68. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=582661898006>
- Nayeem, N., & Karvekar, M. (2010). Comparative phytochemical and pharmacological screening of the methanolic extracts of the frontal and mature leaves of *Tectona grandis*. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 1(3), 1-7. Obtenido de [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/41833068/ANTIOXIDANT\\_AND\\_CYTOTOXIC\\_ACTIVITIES\\_OF\\_20160131-7671-1uznr9p-libre.pdf?1454308888=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DANTIOXIDANT\\_AND\\_CYTOTOXIC\\_ACTIVITIES\\_OF.pdf&Expires=1730300053&Signature=Q](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/41833068/ANTIOXIDANT_AND_CYTOTOXIC_ACTIVITIES_OF_20160131-7671-1uznr9p-libre.pdf?1454308888=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DANTIOXIDANT_AND_CYTOTOXIC_ACTIVITIES_OF.pdf&Expires=1730300053&Signature=Q)
- Nayeem, N., & Karvekar, M. (2015). Comparative phytochemical and pharmacological screening of the methanolic extracts of the frontal and mature leaves of *Tectona grandis*. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 1(3), 1-7. Obtenido de <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=5530b34665126ee979d82f540481ec92e00bf233>
- Neha, K., & Sangeeta, B. (2013). Phytochemical and pharmacological evaluation of *Tectona Grandis*. Linn. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 5, 923–927
- Nijveldt, R., Nood, E., Hoorn, D., Boelens, P., Norren, K., & Van, P. (2001). Flavonoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 74(4), 418-425. doi: <https://doi.org/10.1093/ajcn/74.4.418>
- Nidavani, R. B., & Am, M. (2014). Teak (*Tectona grandis* Linn.): A renowned timber plant with potential medicinal values. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 6(1), 48–54.
- Nwaeze, K., Ayola, G., Anyakora, C., Oparah, B., Chiedu, D., Shode, F., Smith, P. (2020). Phytochemical Screening, Antioxidant and Antiplasmodial Activities of methanol and n-hexane extracts from Stem Bark of *Tectona grandis* (Lamiaceae). *Nigerian Journal of Pharmaceutical and Applied Science Research*, 7(2), 67-74. Obtenido de <https://nijophasr.net/index.php/nijophasr/article/view/221>
- Patel, R., & Patel, K. (2022). Comparative study of antifungal activity of natural extracts. *Asian Journal of Pharmaceutical Research*, 12(3), 100-107. doi: DOI: 10.22270/ajpr.v12i3.1234.
- Philippe, D. (2021). Applications of predictive modeling techniques to fungal growth in foods. *Current Opinion in Food Science*, 38, 86-90. doi: 10.1016/j.cofs.2020.10.028

- Pooja, V., Yadav, D. K., & Khandelwal, P. (2018). *Tectona grandis* (teak) - A review on its phytochemical and therapeutic potential. *Natural Product Research*, 33(16), 2338-2354. <https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1440217>
- Rachid, L., Said, E., Radouane, R., Kenfaoui, J., Esmaeel, Q., Hamss, H., . . . Barka, E. (2022). Biological Control of Plant Pathogens: A Global Perspective. *Microorganisms*, 10(3), 596. doi: <https://doi.org/10.3390/microorganisms10030596>
- Ramesha, Bawa, K., & Ganeshaiyah. (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 annuum* 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>