



Potencial antifúngico de extractos de plantas y aceites esenciales contra fusarium incarnatum

Antifungal potential of plant extracts and essential oils against fusarium incarnatum

Potencial antifúngico de extratos vegetais e óleos essenciais contra Fusarium incarnatum

Karla Bustamante-Morales ^I
kbustaman4@utmachala.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-8665-5387>

Ana Custode-Pérez ^{II}
acustode1@utmachala.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-2602-0256>

Sayda Herrera-Reyes ^{III}
sherrera@utmachala.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-7226-5345>

Edison Jaramillo-Aguilar ^{IV}
ejaramillo@utmachala.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-8241-9598>

Salomón Barrezueta-Unda ^V
sabarrezueta@utmachala.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-4147-9284>

Correspondencia: kbustaman4@utmachala.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 23 de agosto de 2023 * **Aceptado:** 10 de septiembre de 2023 * **Publicado:** 11 de octubre de 2023

- I. Universidad Técnica de Machala, Ecuador.
- II. Universidad Técnica de Machala, Ecuador.
- III. Universidad Técnica de Machala, Ecuador.
- IV. Universidad Técnica de Machala, Ecuador.
- V. Universidad Técnica de Machala, Ecuador.

Resumen

En el sector agrícola, las enfermedades fúngicas causan pérdidas en la producción y calidad, aumentando los costos debido al uso de agroquímicos. Para enfrentar este problema, se investigan soluciones más naturales como extractos vegetales (EV) y aceites esenciales (Aes). Neem, canela y orégano son ejemplos destacados por sus propiedades antifúngicas. El objetivo de este estudio fue evaluar su eficacia como biofungicidas en el control de *Fusarium incarnatum* en la busca de alternativas más sostenibles. El ensayo se realizó en el laboratorio de Sanidad Vegetal de la Universidad Técnica de Machala. Se empleó un DCA no paramétrico, comprendido por catorce tratamientos y cinco repeticiones, con un total setenta unidades experimentales. En la primera fase, se aplicó la técnica de medio envenenado en placas Petri con PDA y se midió el crecimiento micelial. En la segunda fase, se evaluaron las sustancias volátiles en placas bipetritil con medio envenenado y PDA. Además, se realizó una prueba de patogenicidad en plantas de banano variedad Williams de 3 meses. Los datos se analizaron mediante la prueba de Kruskal-Wallis debido a la falta de normalidad y homogeneidad de varianza en los datos. Los resultados de la primera variable indicaron que los tratamientos T4 y T10 a T14 exhibieron un efecto antifúngico significativo. En la segunda variable, los tratamientos T7 y T8 demostraron un impacto más significativo. En conclusión, los aceites esenciales de orégano y canela exhibieron un efecto antifúngico notable a dosis menores en comparación con otros tratamientos, lo que sugiere su prometedor potencial como agentes antifúngicos naturales.

Palabras Clave: Extractos vegetales; Biofungicidas; *Fusarium incarnatum*; Sustancias volátiles.

Abstract

In the agricultural sector, fungal diseases cause losses in production and quality, increasing costs due to the use of agrochemicals. To address this problem, more natural solutions such as plant extracts (EV) and essential oils (Aes) are being investigated. Neem, cinnamon and oregano are notable examples for their antifungal properties. The objective of this study was to evaluate their effectiveness as biofungicides in the control of *Fusarium incarnatum* in search of more sustainable alternatives. The test was carried out in the Plant Health laboratory of the Technical University of Machala. A non-parametric DCA was used, comprising fourteen treatments and five repetitions, with a total of seventy experimental units. In the first phase, the poisoned medium technique was applied in Petri dishes with PDA and mycelial growth was measured. In the second phase, volatile

substances were evaluated on bipetril plates with poisoned medium and PDA. In addition, a pathogenicity test was carried out on 3-month-old Williams variety banana plants. Data were analyzed using the Kruskal-Wallis test due to lack of normality and homogeneity of variance in the data. The results of the first variable indicated that treatments T4 and T10 to T14 exhibited a significant antifungal effect. In the second variable, treatments T7 and T8 demonstrated a more significant impact. In conclusion, oregano and cinnamon essential oils exhibited a notable antifungal effect at lower doses compared to other treatments, suggesting their promising potential as natural antifungal agents.

Keywords: Vegetable extracts; Biofungicides; *Fusarium incarnatum*; Volatile substances.

Resumo

No setor agrícola, as doenças fúngicas causam perdas na produção e na qualidade, aumentando os custos devido ao uso de agroquímicos. Para resolver este problema, soluções mais naturais, como extratos vegetais (EV) e óleos essenciais (Aes), estão sendo investigadas. Neem, canela e orégano são exemplos notáveis por suas propriedades antifúngicas. O objetivo deste estudo foi avaliar sua eficácia como biofungicidas no controle de *Fusarium incarnatum* em busca de alternativas mais sustentáveis. O teste foi realizado no laboratório de Fitossanidade da Universidade Técnica de Machala. Foi utilizado um DCA não paramétrico, composto por quatorze tratamentos e cinco repetições, totalizando setenta unidades experimentais. Na primeira fase foi aplicada a técnica do meio envenenado em placas de Petri com BDA e mensurado o crescimento micelial. Na segunda fase, foram avaliadas substâncias voláteis em placas de bipetril com meio envenenado e BDA. Além disso, foi realizado um teste de patogenicidade em bananeiras da variedade Williams com 3 meses de idade. Os dados foram analisados pelo teste de Kruskal-Wallis devido à falta de normalidade e homogeneidade de variância dos dados. Os resultados da primeira variável indicaram que os tratamentos T4 e T10 a T14 exibiram efeito antifúngico significativo. Na segunda variável, os tratamentos T7 e T8 demonstraram impacto mais significativo. Em conclusão, os óleos essenciais de orégano e canela exibiram um efeito antifúngico notável em doses mais baixas em comparação com outros tratamentos, sugerindo o seu potencial promissor como agentes antifúngicos naturais.

Palavras-chave: Extratos vegetais; Biofungicidas; *Fusarium incarnatum*; Substâncias voláteis.

Introducción

En el sector agrícola, las enfermedades fúngicas representan un porcentaje significativo en cuanto a pérdidas en producción y calidad, generando un impacto negativo en los costos de producción derivado por la constante necesidad de la implementación de agroquímicos (da Costa et al., 2012; Quintero et al., 2019). Dado a este hecho, el surgimiento de los agroquímicos se presentó como un momento importante en la historia de la agricultura, se desarrollaron a lo largo del siglo XX considerados como sustancias químicas que se emplean para estimular el desarrollo productivo de los cultivos (Reyes et al., 2022; Visscher et al., 2020). Sin embargo, a pesar de su indudable contribución han demostrado ser sustancias tóxicas y perjudiciales tanto para la salud, como para el entorno ambiental (Valbuena et al., 2021). En la actividad agrícola intensiva se evidencian las consecuencias negativas que presenta la sobreutilización de estos agroquímicos (Gan & Wickings, 2017). En la búsqueda de nuevas alternativas para el control de enfermedades y hongos fitopatógenos que constituyen la principal fuente de infecciones en los cultivos (Wu et al., 2023), se ha desarrollado un creciente interés en la investigación y elaboración de soluciones más naturales y sostenibles (Vaou et al., 2021). Dentro de este marco, los extractos vegetales (EV) y aceites esenciales (AEs) han demostrado una amplia gama de aplicaciones, en particular como agentes antifúngicos (Joya et al., 2015; Mendoza et al., 2022; Olufolaji et al., 2020).

Los EV y AEs son compuestos botánicos derivados de plantas que contienen una variedad de sustancias bioactivas (F. Castillo et al., 2010; Raut & Karuppaiyil, 2014; Sánchez et al., 2011). Específicamente, los AEs son compuestos lipófilos (solubles en grasas), propiedad que les permite atravesar las membranas celulares y llegar al interior de las células, donde pueden actuar de varias maneras para inhibir el crecimiento de patógenos. De este modo, funcionan como efectivos biofungicidas (Tucuch et al., 2021).

Dentro de esta categoría de biofungicidas potenciales se ha reconocido al neem (*Azadirachta indica*) por su principal compuesto activo la azadiractina que interactúa con otros compuestos metabólicos para producir un mayor efecto (Kilani et al., 2021; Megchún et al., 2023). Su composición como extracto es compleja y diversa, con una amplia variedad de compuestos químicos (Hashmat et al., 2012; Manzano et al., 2020). Ha demostrado ser eficaz en el control in vitro de *Colletotrichum* en papaya reduciendo la producción de conidias entre el 96.08 y el 99.9% (Duarte et al., 2021). Un estudio encontró que el extracto de *A. Indica* es efectivo para inhibir el crecimiento de *Aspergillus* en un 67 % (Hurtado et al., 2020; Rodríguez & Torres, 2021). Otro

estudio indica que una mezcla de neem y canela es eficiente para inhibir el crecimiento del hongo *Rhizoctonia solani* in vitro hasta en un 100% (Joeniarti et al., 2020; Rodríguez & Torres, 2021). La canela (*Cinnamomum verum*) se caracteriza por contener cinamaldehído (metabolito secundario) como su principal ingrediente activo, el cual presenta fuertes propiedades antifúngicas (García et al., 2020). Como muestra de su efectividad, un estudio documenta la capacidad del extracto crudo de canela para reducir la incidencia de moho blanco de papa (M. Ojaghian et al., 2015; S. Ojaghian & Davoudi, 2020). Investigaciones anteriores han corroborado que los EV y AEs de canela pueden reducir la severidad de la podredumbre de la zanahoria ocasionada por el hongo *S. sclerotiorum* (S. Ojaghian et al., 2019). Del mismo modo, otro estudio resalta que el extracto de canela a una concentración del 35 % muestra una inhibición del crecimiento en un 62,7 % sobre el crecimiento de *Colletotrichum gloeosporioides* (González et al., 2019).

EL oregano (*Origanum vulgare*) ha sido ampliamente estudiado debido a las valiosas propiedades biológicas que exhiben sus principales componentes carvacrol y timol (metabolitos secundarios) (Cui et al., 2019; Kosakowska et al., 2021; Sidiropoulou et al., 2022). Se ha comprobado su efectividad como biofungicida contra *Rhizoctonia solani* a una concentración de (EC₅₀ =22,89 µg/mL) (Wu et al., 2023). En cuanto a su acción contra otros patógenos el AEs de orégano presenta una concentración inhibitoria mínima de (50 µg/mL.) frente a los patógenos *Fusarium solani* y *Fusarium oxysporum* (Wu et al., 2023).

El género *Fusarium* comprende un conjunto de hongos filamentosos ampliamente distribuidos. En su mayoría, estas especies son saprófitas, pero algunas poseen la capacidad de causar diversas enfermedades en las plantas, sobre todo durante la etapa de cosecha ocasionando daños irreversibles para el hospedero y pérdidas considerables a nivel productivo y económico (Albarracín et al., 2022; Villa et al., 2014). Dentro de esta variedad de especies de patógenos, *Fusarium incarnatum* se distingue por su capacidad de producir micotoxinas como la fumonisina (Wonglom & Sunpapao, 2020). Además, ejerce un impacto significativo en la agricultura, dado a su potencial como patógeno sobre diversos cultivos tal como en el caso de arroz (Tralamazza et al., 2021), café (S. Castillo et al., 2022), piña (Blanco et al., 2022) y otros cultivos adicionales.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto antifúngico de EV y AEs provenientes de neem (*Azadirachta indica*), canela (*Cinnamomum verum*) y orégano (*Origanum vulgare*) en el hongo fitopatógeno *Fusarium incarnatum*, en busca de enfoques más sostenibles para su control.

Materiales y métodos

Ubicación

El ensayo se realizó en las instalaciones del laboratorio de Sanidad Vegetal, el cual se encuentra ubicado en la Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA) de la Universidad Técnica de Machala, provincia de El Oro - Ecuador. Durante el desarrollo del ensayo, se registraron los valores promedios de temperatura y humedad relativa durante el ensayo fueron 25°C/68%, respectivamente.

Material biológico

El hongo *Fusarium incarnatum* utilizado en la investigación fue adquirido del Banco de Cultivos del Laboratorio de Sanidad Vegetal de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala.

Identificación molecular de especie de *Fusarium*

Se realizó un análisis de identificación molecular de microorganismos a través del servicio proporcionado por IDgen en Ecuador. El proceso implicó el uso de un aislado cultivado en placa Petri como material de partida. La metodología empleada para la identificación se basó en la secuenciación de la región de barcoding ITS (Internal Transcribed Spacer) específicamente diseñado para hongos.

El procedimiento se realizó mediante la extracción de ADN por métodos convencionales, utilizando aproximadamente 100 mg de muestra de micelio. Se evaluó la integridad y calidad del ADN mediante espectrofotometría de microvolúmenes y visualización en gel de agarosa. Se diluyó el ADN hasta una concentración de aproximadamente 20 ng/μL para su amplificación mediante la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR), utilizando los primers ITS1/ITS4. Los productos de PCR fueron purificados previo a la secuenciación por el método Sanger. Las secuencias resultantes fueron limpiadas y ensambladas usando programas bioinformáticos. Posteriormente, se compararon las secuencias ensambladas de las muestras con la base de datos de nucleótidos de GenBank del NCBI para llevar a cabo su identificación taxonómica.

Como resultado del proceso, Se obtuvo ADN de alta calidad para el proceso de amplificación de los fragmentos ITS, visualizándose bandas de aproximadamente 500 pb (**Figura 1**). A partir de las lecturas resultantes de la secuenciación SANGER se obtuvieron secuencias ensambladas de alta calidad que permitieron determinar la especie fúngica analizada.

Tabla 1. Resultado de análisis de PCR.

Código de IDgen	Muestra	Longitud	Calidad	Organismo	Fragmento	% de identidad	Nº Accesoión
H483	Aislado en Caja Petri	501	99.4	<i>Fusarium incarnatum</i>	ITS	100	MT563420.1

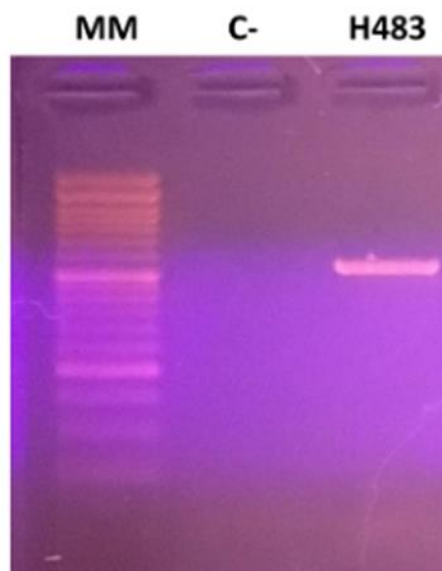


Figura 1. Resultados de la electroforesis para el amplicon obtenido con los primers ITS1/ITS4.

MM: Marcador de peso molecular ABM 100pb plus opti DNA marker.

Además, se obtuvo una secuencia de ADN específica (H483) que se presenta a continuación:

TTACCGAGTTTACAACCTCCCAAACCCCTGTGAACATACCTATACGTTGCCTCGGCGG
 ATCAGCCCGCGCCCCGTAAAACGGGACGGCCCGCCGAGGACCCCTAAACTCTGTTT
 TTAGTGGAACCTTCTGAGTAAAACAAACAAATAAATCAAACTTTCAACAACGGATCT
 CTTGGTTCTGGCATCGATGAAGAACGCAGCAAAATGCGATAAGTAATGTGAATTGCA
 GAATTCAGTGAATCATCGAATCTTTGAACGCACATTGCGCCCGCCAGTATTCTGGCG
 GGCATGCCTGTTGAGCGTCATTTCAACCCTCAAGCTCAGCTTGGTGTGGGACTCGC
 GGTAACCCGCGTTCCCAAATCGATTGGCGGTCACGTCGAGCTTCCATAGCGTAGTA

ATCATACACCTCGTACTGGTAATCGTCGCGGCCACGCCGTAAAACCCCAACTTCTG
AATGTTGACCTCGGATCAGGTAGGAATACCCGCTGAACTTAAGC.

Elaboración de Extractos

Se emplearon 50g de material vegetal de cada especie, el cual fue sometido a un proceso de secado, trituración y extracción exhaustiva por percolación con 200g de etanol (95%), utilizando una relación de 1:4 (m/v). Tras un periodo de tres días se llevó a cabo la filtración del extracto resultante utilizando papel filtro de tipo Whatman, seguido de su almacenamiento en botellas ámbar (Jaramillo et al., 2017).

Aceites esenciales

Los AEs de neem (*Azadirachta indica*), canela (*Cinnamomum verum*) y orégano (*Origanum vulgare*) fueron adquiridos en un centro de productos naturales (Green Harmony). Se verificó la autenticidad de los Aes mediante la medición del índice de refracción, el cual arrojó un valor constante de 1.477, indicando la alta pureza y calidad de los aceites utilizados en el estudio.

Diseño experimental

Se realizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) comprendido por catorce tratamientos que se muestran en la Tabla 2, con el propósito de garantizar la fiabilidad de los resultados y minimizar los sesgos experimentales en cada uno de los tratamientos se implementaron cinco repeticiones, con un total de setenta unidades experimentales. Las unidades experimentales consistieron en cultivos del hongo inoculados en medio Papa Dextrosa – Agar (PDA) dispuestos en placas de Petri.

Tabla 2. Tratamientos utilizados.

Tratamientos	Asignación	Concentraciones (%)
T1	Testigo (PDA)	-
T2	Testigo + etanol	3
T3	Extracto de neem	3
T4	Extracto de canela	3
T5	Extracto de orégano	3
T6	Aceite de neem	0.3
T7	Aceite de canela	0.3
T8	Aceite de orégano	0.3
T9	Extracto de neem	6

T10	Extracto de canela	6
T11	Extracto de orégano	6
T12	Aceite de neem	0.6
T13	Aceite de canela	0.6
T14	Aceite de orégano	0.6

Desarrollo del ensayo

El ensayo se realizó en dos fases secuenciales, en la primera fase para evaluar la actividad antifúngica de EV y AEs contra el hongo *Fusarium incarnatum*, se llevó a cabo la técnica de medio envenenado. Esta técnica consiste en añadir a un medio de cultivo de PDA previamente esterilizado durante 20 minutos a 15 PSI (Jaramillo et al., 2017), los EV y AEs en las concentraciones indicadas de acuerdo a cada tratamiento. El medio envenenado se vertió en placas Petri, donde se colocó un disco de micelio de *Fusarium incarnatum* de 5 mm de diámetro en el centro de cada placa.

En la segunda fase del ensayo, se utilizaron placas bipetri con el propósito de evaluar las sustancias volátiles presentes en los EV y AEs de aquellos tratamientos que demostraron un mejor rendimiento con menores dosis en la fase inicial del estudio. Para ello, se realizó una modificación en el procedimiento de la técnica de medio envenenado, aplicando el tratamiento solo a una mitad de la placa bipetri, mientras que la otra mitad se utilizó medio PDA previamente esterilizado durante 20 minutos a 15 PSI. El disco de micelio se colocó en el centro de la porción que contenía el medio PDA, lo que permitió una comparación más precisa de los efectos de los tratamientos en condiciones específicas.

Variables estudiadas

Se realizó un seguimiento a las siguientes variables:

Crecimiento Micelial: Los datos se recopilaron de forma continua cada 24 horas durante 10 días, desde el inicio del experimento hasta que el hongo alcanzó su máximo crecimiento en el tratamiento testigo. Durante este periodo, se realizó un seguimiento al crecimiento del micelio en cada placa Petri utilizando una regla calibrada. Las mediciones de longitud micelial se tomaron directamente de las placas Petri, donde se tomaron como referencia cuatro cuadrantes (Jaramillo et al., 2017).

Prueba de sustancias volátiles de los EV y AEs: La recolección de datos se efectuó en un intervalo de 24 horas durante un periodo de 4 días, desde el inicio del experimento y continuando

hasta que aproximadamente la mitad de la placa bipetri, que contenía exclusivamente PDA y actuaba como testigo durante la evaluación, proporcionó un punto de referencia esencial para comparar los efectos de los tratamientos.

Prueba de patogenicidad

Se realizó una prueba de patogenicidad utilizando plantas de banano variedad Williams de 3 meses, cultivadas en condiciones de laboratorio. Para ello, se diseñó y utilizó una cámara húmeda que albergó un total de 8 plantas de banano. El procedimiento consistió en la inoculación de un disco de micelio de *Fusarium incarnatum* con un diámetro de 5 mm, en la tercera hoja de cada planta de banano. Previamente, se limpiaron las hojas para asegurar condiciones óptimas. En cada hoja, se marcó la parte superior del lado derecho y se realizaron pequeñas incisiones en esta área para la inoculación del disco de micelio. Por otro lado, en la parte inferior cerca de la base de la hoja, se marcó el lado izquierdo sin heridas la inoculación del disco de micelio. Para garantizar una fijación adecuada del disco de micelio, se utilizaron pinzas diseñadas para llevar a cabo esta tarea de manera precisa y controlada.

Análisis estadístico

Debido a que los datos no cumplían con los supuestos esenciales del análisis de varianza (ANOVA), como la normalidad en la distribución de los datos y la homogeneidad de la varianza, se empleó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis en el análisis estadístico de los datos, con el propósito de comparar las medianas entre los distintos tratamientos.

Resultados y Discusión

La **Tabla 3** presenta los resultados de los datos utilizando la Prueba de Kruskal-Wallis para la primera variable de estudio. Se muestran los valores de mediana, desviación estándar (D.E.), media, estadística H y valor P."

Tabla 2. Prueba de Kruskal Wallis (Variable 1)

Trat.	N	Medias	D.E.	Medianas	H	P
T1	5	0,31	0,05	0,34	53,46	< 0,0001
T10	5	0,00	0,00	0,00		
T11	5	0,00	0,00	0,00		
T12	5	0,18	0,02	0,18		
T13	5	0,00	0,00	0,00		
T14	5	0,00	0,00	0,00		

T2	5	0,31	0,05	0,31
T3	5	0,30	0,08	0,30
T4	5	0,00	0,00	0,00
T5	5	0,35	0,01	0,35
T6	5	0,35	0,04	0,36
T7	5	0,00	0,00	0,00
T8	5	0,00	0,00	0,00
T9	5	0,00	0,00	0,00

El análisis de la **Figura 2** revela diferencias significativas entre los tratamientos en términos de su efecto antifúngico ($p < 0,0001$). Los tratamientos T2, T3, T5, T6 y T12 muestran valores de media similares al T1 (Testigo absoluto), lo que indica que estos tratamientos no tienen un efecto antifúngico significativo. Por otro lado, los tratamientos T4, T7, T8, T9, T10, T11, T13 y T14, que exhiben valores de media diferentes al T1, muestran un efecto antifúngico significativo

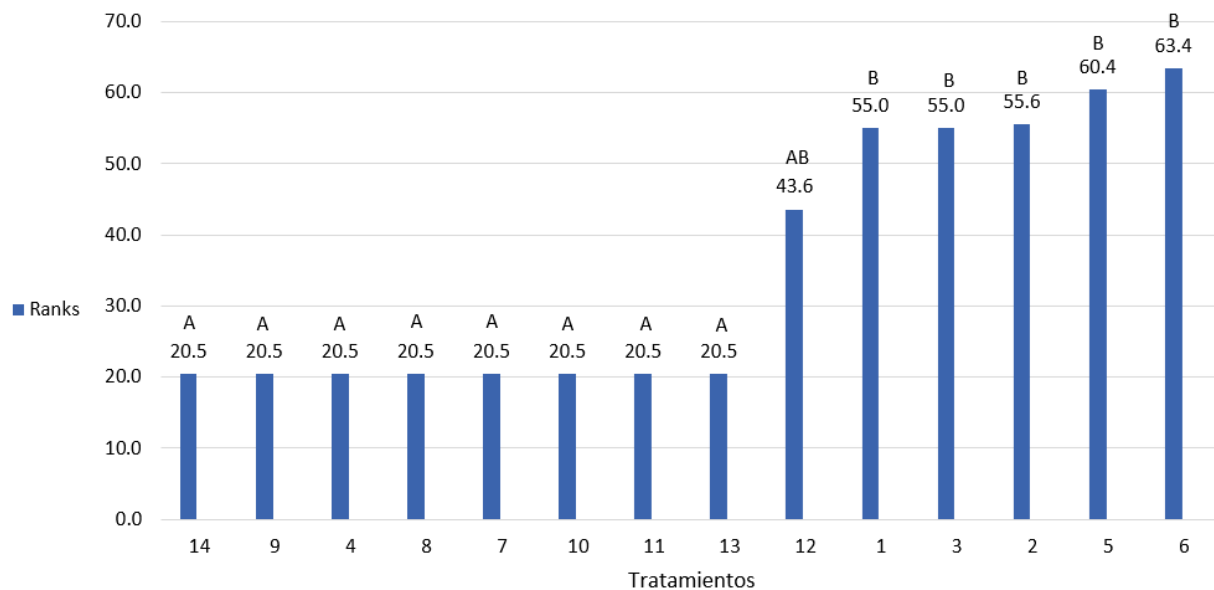


Figura 2. Los tratamientos con los rangos más bajos fueron los más efectivos para inhibir el crecimiento del hongo.

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes de ($p > 0,05$).

Los resultados del estudio respaldan la efectividad de los EV y AEs de neem, canela y orégano en la inhibición del crecimiento del hongo *Fusarium incarnatum* en las diferentes dosis. En

comparación con otras investigaciones donde (González et al., 2019; Pazmiño et al., 2017) evaluaron la eficacia de extractos etanólicos de canela en diferentes dosis y frecuencias de aplicación. Los resultados sugieren que el extracto y AEs de canela podrían ser una opción sostenible para el control de patógenos debido al porcentaje que contiene de cinamaldehído. De igual forma (Santos et al., 2021) en su estudio encontró que una mezcla de extractos de neem y canela fue completamente efectiva para inhibir el crecimiento de patógenos del género *Fusarium*. (Valenzuela et al., 2023) y (Andrade et al., 2018) indican que el extracto y AEs de orégano fueron altamente efectivos para inhibir el crecimiento de patógenos del género de *Fusarium* entre 90 y 100 %. Los EV y AEs que demostraron un efecto antifúngico debido a que poseen compuestos químicos capaces de dañar las membranas celulares de los patógenos lo que los hace efectivos en la prevención y el control de enfermedades fúngicas. Sin embargo, la eficacia puede variar según la concentración y composición de los compuestos.

La **Tabla 4** se presentan los resultados del análisis de datos para la segunda variable en evaluación, relacionada con el efecto antifúngico de los tratamientos. Se incluyen las medias, la desviación estándar (D.E.), las medianas, la estadística H y el valor P.

Tabla 3. Prueba de Kruskal Wallis (Variable 2).

Trat.	N	Medias	D.E.	Medianas	H	P
T1	5	0,60	0,06	0,58	15,39	0,0007
T4	5	0,71	0,09	0,71		
T7	5	0,00	0,00	0,00		
T8	5	0,06	0,014	0,00		

Los resultados de la **Figura 3** indican diferencias significativas entre los tratamientos en lo que respecta a su efecto sobre esta segunda variable ($p = 0,0007$). Específicamente, el tratamiento T4 exhibe un valor similar a la media del T1 (Testigo absoluto), lo cual sugiere la ausencia de un efecto antifúngico significativo. Por otro lado, los tratamientos T7 y T8 presentan valores de media distintos en comparación con el T1, indicando así un efecto significativo en esta variable.

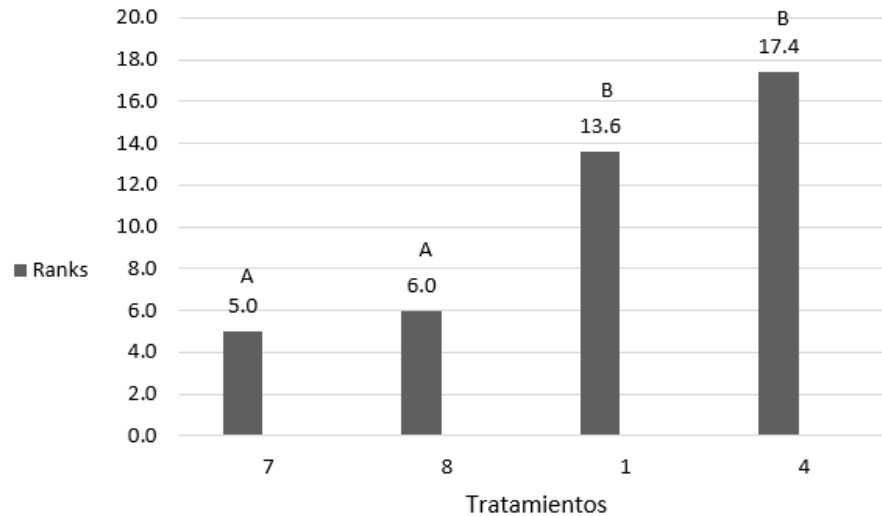


Figura 3. Los tratamientos que fueron más efectivos en la inhibición del crecimiento del hongo tuvieron los rangos más bajos.

Medias con una letra comun no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

La comparación de los AEs de canela y orégano con estudios previos revela que ambos demuestran un excelente efecto antifúngico (Andrade et al., 2018; Chávez et al., 2019; Cui et al., 2019; González et al., 2019; Valenzuela et al., 2023; Wu et al., 2023). Estas investigaciones han identificado que estos AEs contienen una rica variedad de compuestos bioactivos, como el cinamaldehído en la canela y el carvacrol en el orégano, que han demostrado ser altamente efectivos contra una amplia gama de hongos patógenos. Estos compuestos tienen la capacidad de alterar las membranas celulares, interferir con procesos metabólicos cruciales y suprimir la germinación de esporas fúngicas.

Conclusión

Los resultados evidencian que los aceites esenciales (AEs) de orégano y canela han exhibido una notable eficacia en la inhibición del crecimiento del hongo *Fusarium incarnatum*, con dosificaciones significativamente inferiores en comparación con otros tratamientos. Estos hallazgos resaltan el promisorio potencial de estos AEs como agentes antifúngicos naturales, destacando su eficacia a concentraciones reducidas, lo que podría conllevar ventajas tanto económicas como aplicativas.

Referencias

- Albarracin, L. D., Hortua, S., & Acero, J. (2022). Efecto inhibitorio del aceite esencial de *Lippia graveolens* sobre *Fusarium oxysporum* en la familia Solanaceae. Una revisión. *Revista Tecnología En Marcha*. <https://doi.org/10.18845/tm.v36i1.5877>
- Andrade, G., Cervantes, L., Aíl, C. E., Del Toro, C. L., Borboa, J., Preciado, P., Martínez, F. E., & Rueda, E. (2018). Potential of oregano and cachanilla extracts for the control of phytopathogenic fungi in tomato fruits. *ITEA Informacion Tecnica Economica Agraria*, 114(4), 344–352. <https://doi.org/10.12706/itea.2018.020>
- Blanco, M., Castro, O., & Umaña, G. (2022). Estudio preliminar de especies de *Fusarium* presentes en piña (*Ananas comosus*) en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. <https://doi.org/10.15517/rac.v46i1.49867>
- Castillo, F., Hernández, D., Gallegos, G., Mendez, M., Rodríguez, R., Reyes, A., & Aguilar, C. N. (2010). In vitro antifungal activity of plant extracts obtained with alternative organic solvents against *Rhizoctonia solani* Kühn. *Industrial Crops and Products*, 32(3). <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.05.013>
- Castillo, S., Miller, S., & Stewart, J. (2022). *Colletotrichum* spp. and other fungi associated with anthracnose on *Coffea arabica* L. in Mérida State, Venezuela. *Summa Phytopathologica*, 48(3). <https://doi.org/10.1590/0100-5405/245876>
- Chávez, M. E., Gutiérrez, P., Montaña, B., & González, R. R. (2019). Evaluación in vitro del quitosano y aceites esenciales para el control de dos especies patógenas de *Colletotrichum* aisladas de aguacate (*Persea americana* Mill). *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 22. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2019.0.189>
- Cui, H., Zhang, C., Li, C., & Lin, L. (2019). Antibacterial mechanism of oregano essential oil. *Industrial Crops and Products*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111498>
- da Costa, R., Viana, L., da Silva, D. D., Fernandes, W., & Lanza, F. E. (2012). Viabilidade técnica e econômica da aplicação de estrobilurinas em milho. *Tropical Plant Pathology*, 37(4). <https://doi.org/10.1590/S1982-56762012000400003>
- Duarte, T. P., Ramírez, S. I., López, O., & Morillo, A. C. (2021). Extractos vegetales para el control in vitro de *Colletotrichum Gloeosporioides* P. aislado de *Carica Papaya* L. *Revista Espacio I+D Innovación Más Desarrollo*, X(26), 102–118. <https://doi.org/10.31644/IMASD.26.2021.a05>

- Gan, H., & Wickings, K. (2017). Soil ecological responses to pest management in golf turf vary with management intensity, pesticide identity, and application program. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 246. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.05.014>
- García, A., Pérez, E., & Fernández, I. (2020). Antimicrobianos de origen natural frente a virus y esporas.
- González, M. V., Paredes, V., Erazo, F., Sánchez, T., & Naranjo, J. C. (2019). Evaluación “in vitro” de la Actividad Antifúngica del Aceite Esencial de Canela (*Cinnamomum zeylanicum*) Sobre *Botrytis* sp Aislado de Mora de Castilla (*Rubus glaucus*). *European Scientific Journal ESJ*, 15(12). <https://doi.org/10.19044/esj.2019.v15n12p377>
- Hashmat, I., Azad, H., & Ahmed, A. (2012). Neem (*Azadirachta indica* A. Juss)-A Nature’s Drugstore: An overview. In *International Research Journal of Biological Sciences* (Vol. 1, Issue 6). www.isca.in
- Hurtado, E., Ballesteros, F., & Banchón, C. (2020). Actividad fúngica de *Aspergillus* spp. mediante la aplicación de *Azadirachta Indica* y *Eucalyptus* spp. *Universidad Ciencia y Tecnología*, 24(104), 18–27. <https://doi.org/10.47460/uct.v24i104.362>
- Jaramillo, E., Barrezueta, S., Luna, E., & Castillo, S. (2017). Efecto biofungicida del gel de Aloe vera sobre *Mycosphaerella fijiensis*, agente causal de la Sigatoka negra en Musa (AAA). *Scientia Agropecuaria*, 8(3). <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.03.10>
- Joeniarti, E., Masfufatun, Indahsari, N. K., & Noerhartati, E. (2020). Effects of curcumin on stability and efficacy of neem leaves extract as botanical insecticides. *Agrivita*, 42(2), 331–340. <https://doi.org/10.17503/agrivita.v42i2.2651>
- Joya, J. G., Ramírez, S. I., López, O., & Alvarado, Á. E. (2015). Efecto antifúngico de hidrodestilados de *Zingiber officinale* Roscoe sobre *Moniliophthora roreri* (Cif&Par). *Ciencia y Agricultura*, 12(2). <https://doi.org/10.19053/01228420.4350>
- Kilanii, S., Morakchi, H., & Sifi, K. (2021). Azadirachtin-Based Insecticide: Overview, Risk Assessments, and Future Directions. In *Frontiers in Agronomy* (Vol. 3). <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.676208>
- Kosakowska, O., Węglarz, Z., Pióro, E., Przybył, J., Kraśniewska, K., Gniewosz, M., & Bączek, K. (2021). Antioxidant and antibacterial activity of essential oils and hydroethanolic extracts of Greek oregano (*O. vulgare* L. subsp. *hirtum* (link) ietswaard) and common

- oregano (o. vulgare L. subsp. vulgare). *Molecules*, 26(4).
<https://doi.org/10.3390/molecules26040988>
- Manzano, P., García, O. B., Malusín, J., Villamar, J., Quijano, M., Viteri, R., Barragán, A., & Orellana-Manzano, A. (2020). Larvicidal activity of ethanolic extract of *azadirachta indica* against *aedes aegypti* larvae. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 73(3).
<https://doi.org/10.15446/rfnam.v73n3.80501>
- Megchún, J. V., Castañeda, M. del R., & Lucho, G. G. (2023). Monitoreo de las poblaciones de insectos plaga en limón Persa por efecto del neem *Azadirachta indica*. *Rev. Iberoam. Bioecon. Cambio Clim.*, 9(17), 2129–2139. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v9i17.15495>
- Mendoza, J. C., Fuertes, C. M., & Jahuirá, M. H. (2022). Análisis fitoquímico preliminar y actividad antifúngica In vitro del extracto etanólico de las hojas de *Solanum hispidum* pers. colectadas en la localidad Obraje - Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2022.393.11381>
- Ojaghian, M., Sun, X., Zhang, L., Li, X., Xie, G. L., Zhang, J., & Wang, L. (2015). Effect of E-cinnamaldehyde against *Sclerotinia sclerotiorum* on potato and induction of glutathione S-transferase genes. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 91. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2015.06.002>
- Ojaghian, S., & Davoudi, A. (2020). Effect of crude extracts and essential oils of aromatic plants against *sclerotinia sclerotiorum* in potato fields. *Idesia*, 38(1). <https://doi.org/10.4067/S0718-34292020000100007>
- Ojaghian, S., Wang, L., Xie, G. L., & Zhang, J. Z. (2019). Inhibitory efficacy of different essential oils against storage carrot rot with antifungal and resistance-inducing potential. *Journal of Phytopathology*, 167(9). <https://doi.org/10.1111/jph.12822>
- Olufolaji, D., Adeosun, B., & Onasanya, R. (2020). In vitro investigation on antifungal activity of some plant extracts against *Pyricularia oryzae*. *Nigerian Journal of Biotechnology*, 29(1). <https://doi.org/10.4314/njb.v29i1.6>
- Pazmiño, P., Velástegui, G. P., Curay, S., Yáñez, W., & Vásquez, C. (2017). Efecto de los extractos hidro-etanólicos de canela (*Cinnamomum zeylanicum* Blume) y cola de caballo (*Equisetum arvense* L.) sobre la incidencia y severidad de *Botrytis cinerea* en fresa. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 5(1). <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2017.050100029>

- Quintero, L. A., Fajardo, M., & Spíritus, S. (2019). Sistema Experto para el diagnóstico presuntivo de enfermedades fúngicas en los cultivos Expert System for the presumptive diagnosis of fungal diseases in crops. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 13(1).
- Raut, J. S., & Karuppayil, S. M. (2014). A status review on the medicinal properties of essential oils. In *Industrial Crops and Products* (Vol. 62). <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.05.055>
- Reyes, S., Dominga, M., & Cano, C. (2022). Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad Effects of intensive agriculture and climate change on biodiversity Sección: Artículo de revisión. *Revista de Investigaciones Altoandinas-Journal of High Andean Research*, 24(1).
- Rodríguez, E., & Torres, J. (2021). Árbol de Neem (*Azadirachta indica*) en Colombia: una alternativa para el desarrollo agroambiental del sector agrícola. *Revista Ciencias Agropecuarias*, 93–115. <https://doi.org/10.36436/24223484.522>
- Sánchez, L., Vargas, M., González, C., Chiralt, A., & Cháfer, M. (2011). Use of Essential Oils in Bioactive Edible Coatings: A Review. In *Food Engineering Reviews* (Vol. 3, Issue 1). <https://doi.org/10.1007/s12393-010-9031-3>
- Santos, E., Ayvar, S., Díaz, J., & Mena, A. (2021). Control orgánico de *Fusarium oxysporum* aislado de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) (Vol. 8, Issue 1). www.fesgro.mx
- Sidiropoulou, E., Marugán, V., Skoufos, I., Giannenas, I., Bonos, E., Aguiar, K., Lazari, D., Papagrorgoriou, T., Fotou, K., Grigoriadou, K., Blake, D. P., & Tzora, A. (2022). In Vitro Antioxidant, Antimicrobial, Anticoccidial, and Anti-Inflammatory Study of Essential Oils of Oregano, Thyme, and Sage from Epirus, Greece. *Life*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/life12111783>
- Tralamazza, S. M., Piacentini, K. C., Savi, G. D., Carnielli, L., de Carvalho Fontes, L., Martins, C. S., Corrêa, B., & Rocha, L. O. (2021). Wild rice (*O. latifolia*) from natural ecosystems in the Pantanal region of Brazil: Host to *Fusarium incarnatum-equiseti* species complex and highly contaminated by zearalenone. *International Journal of Food Microbiology*, 345. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109127>
- Tucuch, M. A., Bojórquez, J. J., Arredondo, R., Hernández, F. D., & Anguiano, J. C. (2021). Actividad biológica de extractos vegetales del semidesierto mexicano para manejo de

- Fusarium oxysporum de tomate. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(2).
<https://doi.org/10.19136/era.a8n2.2745>
- Valbuena, D., Cely, M., & Obregón, D. (2021). Agrochemical pesticide production, trade, and hazard: Narrowing the information gap in Colombia. *Journal of Environmental Management*, 286. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112141>
- Valenzuela, G., Ortega, M., Burboa, M., Gutiérrez, L., López, J., Rentería, M., Jiménez, J., Curtalango, J., & Guerrero, J. (2023). Actividad antifúngica del aceite esencial y extracto acuoso del oregano *Lippia palmeri* W. sobre *Fusarium oxysporum* y *Thanatephorus* sp. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i2.1903>
- Vaou, N., Stavropoulou, E., Voidarou, C., Tsigalou, C., & Bezirtzoglou, E. (2021). Towards advances in medicinal plant antimicrobial activity: A review study on challenges and future perspectives. In *Microorganisms* (Vol. 9, Issue 10). MDPI. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9102041>
- Villa, A., Pérez, R., Morales, H. A., Basurto, M., Soto, J. M., & Martínez, E. (2014). Situación actual en el control de *Fusarium* spp. y evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales. *Acta Agronómica*, 64(2). <https://doi.org/10.15446/acag.v64n2.43358>
- Visscher, A. M., Vanek, S., Meza, K., de Goede, R. G. M., Valverde, A. A., Ccanto, R., Olivera, E., Scurrah, M., & Fonte, S. J. (2020). Eucalyptus and alder field margins differ in their impact on ecosystem services and biodiversity within cropping fields of the Peruvian Andes. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 303. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107107>
- Wonglom, P., & Sunpapao, A. (2020). *Fusarium incarnatum* is associated with postharvest fruit rot of muskmelon (*Cucumis melo*). *Journal of Phytopathology*, 168(4). <https://doi.org/10.1111/jph.12882>
- Wu, T. L., Zhang, B. Q., Luo, X. F., Li, A. P., Zhang, S. Y., An, J. X., Zhang, Z. J., & Liu, Y. Q. (2023). Antifungal efficacy of sixty essential oils and mechanism of oregano essential oil against *Rhizoctonia solani*. *Industrial Crops and Products*, 191. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115975>