

Efecto antifúngico del aceite esencial de pirul contra hongos fitopatógenos del maíz

Anareli Quintero-Jiménez¹
Laura Sofía Castillo-Ortega²
Claudia Alondra López-López³
Edgar López-López^{3,§}

1 Departamento de Ingeniería Agroindustrial-División de Ciencias de la Salud e Ingenierías- Programa de Ingeniería en Biotecnología-Universidad de Guanajuato. Campus Celaya-Salvatierra, Av. Mutualismo Esq. Prol. Río Lerma S/N, Celaya, Guanajuato. CP. 38060. (quintero.a@ugto.mx).

2 Centro Nacional de Referencia de Inocuidad y Bioseguridad Agroalimentaria. Carretera México-Pachuca km 37.5, Tecámac, Estado de México. CP. 55740. (Isco-89@hotmail.com).

3 Laboratorio de Agrobiotecnología-Universidad Tecnológica de Mineral de la Reforma. Camino Providencia-La Calera 1000, Ex Hacienda Chavarría, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México. CP. 42186. (claudiaalondra1998@gmail.com).

Autor para correspondencia: e-lopez-87@hotmail.com.

Resumen

El presente estudio evaluó la eficacia del aceite esencial de pirul en el control de patógenos del maíz, incluyendo aquellos responsables de enfermedades significativas de este cultivo. Utilizando el método de destilación por arrastre de vapor, se extrajo el aceite esencial de hojas frescas de pirul, obteniéndose un rendimiento del 0.5%. El aceite obtenido fue analizado mediante la técnica GC-MS logrando identificarse compuestos principales como α -pineno, β -pineno y D-limoneno, conocidos por sus propiedades antimicrobianas. Los ensayos de difusión en disco y viabilidad celular mostraron una inhibición dosis-dependiente del crecimiento micelial y una reducción significativa en la viabilidad de los patógenos con el aumento de la concentración del aceite esencial. A una concentración de 1 000 ppm, la viabilidad relativa de los patógenos disminuyó a menos del 10%, demostrando una potente actividad antifúngica. Comparativamente, el control con tebuconazole mostró una viabilidad relativa muy baja (1.5%), confirmando la superioridad del aceite esencial de pirul como agente antifúngico natural. Estos resultados sugieren que el aceite esencial de pirul es una alternativa prometedora y sostenible a los fungicidas sintéticos para el control de patógenos del maíz, contribuyendo a prácticas agrícolas más seguras y ecológicas.

Palabras clave:

gestión sustentable, mapas temáticos, potencial agronómico.



License (open-access): Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia **Creative Commons**

Introducción

Actualmente, a nivel mundial, el maíz (*Zea mays*) es uno de los cultivos más importantes, fundamental para la seguridad alimentaria y el desarrollo agrícola (FAO, 2021). Sin embargo, este cultivo enfrenta una serie de desafíos debido a la presencia de patógenos que afectan su crecimiento y productividad. Entre estos patógenos, los nematodos, las bacterias y los hongos, son los principales responsables de enfermedades que reducen significativamente el rendimiento de los cultivos (Hernández *et al.*, 2019).

En México, las condiciones climáticas y edáficas crean entornos propensos para el desarrollo de diversas enfermedades que atacan al maíz. El hongo *Fusarium* spp., es uno de los patógenos más prevalentes, causando enfermedades como la pudrición de la raíz, el tallo y la mazorca. Estas infecciones disminuyen el rendimiento y contaminan el grano con micotoxinas peligrosas para la salud humana y animal (Kazan y Gardiner, 2018).

El hongo *Aspergillus* spp., particularmente *A. flavus*, es conocido por la producción de aflatoxinas, que son potentes carcinógenos y representan un riesgo significativo para la salud alimentaria (Amaike y Keller, 2011). *Ustilago maydis*, causante del huitlacoche o carbón del maíz, aunque puede ser consumido como un manjar en algunas culturas, generalmente se considera una enfermedad perjudicial que disminuye el rendimiento en la producción de maíz (Martínez *et al.*, 2002). *Colletotrichum graminicola*, responsable de la antracnosis del maíz, afecta tanto a las hojas como a los tallos y mazorcas, resultando en pérdidas significativas en el rendimiento (Tsushima y Shirasu, 2022).

Históricamente, los agricultores han recurrido a insumos químicos para el control de plagas y enfermedades. No obstante, estos productos, aunque efectivos, han suscitado preocupaciones por su impacto ambiental y en la salud humana, además de contribuir al desarrollo de resistencia en los patógenos (Pimentel y Burgess, 2014). Por lo tanto, es crucial buscar alternativas sostenibles que ofrezcan un control eficiente de los patógenos sin los efectos adversos asociados con los químicos convencionales (Goulson, 2013).

Uno de los enfoques prometedores en esta área es el uso de extractos naturales con propiedades antimicrobianas, tal es el caso del aceite esencial de pirul (*Schinus molle*), conocido por sus propiedades antimicrobianas y fungicidas, ha demostrado ser una alternativa eficaz para el control de diversos patógenos (Murrieta *et al.*, 2023). Diversas investigaciones proponen que los aceites esenciales derivados de plantas como el pirul tienen propiedades fungicidas, bactericidas y antimicrobianas, ofreciendo una solución potencialmente más segura y ecológica en comparación con los tratamientos químicos tradicionales (Turchetti *et al.*, 2020; Ruiz y Salazar, 2021).

El objetivo de este estudio consistió en evaluar la eficacia del aceite de pirul en el control de patógenos de maíz con la finalidad de contribuir a la reducción de enfermedades en el cultivo, explorando su potencial como una alternativa a los insumos químicos. Este enfoque no solo podría mejorar la salud del maíz, sino también promover prácticas agrícolas más sostenibles en el país.

Materiales y métodos

Material vegetal

El material vegetal empleado consistió en hojas frescas de pirul, recolectadas de la región de Mineral de la Reforma, Hidalgo, México (coordenadas: 20.03948° latitud norte, -98.71728° longitud oeste). La identificación botánica de la especie se realizó utilizando claves taxonómicas y descripciones detalladas reportadas (Olvera *et al.*, 2021). La recolección de las muestras se realizó en el mes de marzo de 2023, durante el periodo de crecimiento activo de la planta para asegurar la calidad y concentración óptima de los compuestos bioactivos.

Se seleccionaron hojas maduras y saludables, de la parte superior de las ramas para garantizar su frescura y el contenido óptimo de aceites esenciales. Las hojas presentaban un tamaño promedio de 6 cm de largo y 3-7 mm de ancho y coloración verde intensa, indicativa de su buena salud y contenido fitoquímico. La recolección se llevó a cabo utilizando tijeras de podar estériles para evitar la contaminación de las muestras.

Las hojas fueron colocadas en bolsas de papel para evitar la acumulación de humedad y transportadas a laboratorio en condiciones controladas, las cuales incluyeron mantener las muestras protegidas de la luz solar directa y a una temperatura ambiente constante (25 °C), asegurando que no se produjera degradación de los compuestos bioactivos durante el traslado. Se realizó la limpieza superficial con agua destilada para eliminar cualquier residuo de polvo o partículas externas.

Posteriormente, se secaron en un ambiente oscuro y ventilado a temperatura ambiente para evitar la degradación de los compuestos activos. Finalmente, las hojas se trituraron en trozos pequeños utilizando un mortero estéril, preparándolas para el proceso de extracción del aceite esencial mediante destilación por arrastre de vapor.

Extracción, rendimiento de aceite esencial e identificación de compuestos

La extracción del aceite esencial se realizó utilizando el método de destilación por arrastre de vapor, mediante un equipo de destilación estándar con capacidad de 6 L, donde se utilizó 1.5 kg de hojas frescas de pirul previamente desinfectadas y trituradas para aumentar la superficie de contacto y facilitar la extracción, este procedimiento se realizó con cuatro repeticiones.

Se aplicó vapor a través de las hojas para volatilizar los compuestos esenciales durante 45 min, para posteriormente ser condensados y recolectados en forma de aceite esencial. El aceite esencial obtenido fue separado de los hidrolatos y almacenado en frascos opacos, a temperatura de 15 ±2 °C, para preservar su estabilidad y evitar la degradación de los compuestos bioactivos.

El rendimiento del aceite esencial se calculó como el porcentaje del peso de aceite obtenido respecto al peso inicial de las hojas utilizadas. Se registraron los datos de peso antes y después de la destilación para determinar el rendimiento. El análisis del aceite obtenido se llevó a cabo empleando un cromatógrafo de gases Agilent 7890B, equipado con una columna capilar de alta resolución de tipo DB-5MS (30 m × 0.25 mm × 0.25 μm).

Se aplicó un programa de temperatura que comenzó a 60 °C y aumentó a 250 °C a una tasa de 5 °C min⁻¹, con un flujo de gas portador (helio) de 1 ml min⁻¹. Los compuestos separados en la columna fueron detectados y caracterizados mediante espectrometría de masas en un espectrómetro Agilent 5977B, utilizando ionización por impacto electrónico (EI) a 70 eV. Los espectros obtenidos se compararon con la base de datos espectrométricas NIST 05 el sistema GC-MS (National Institute of Standards and Technology), para identificar los compuestos presentes en el aceite esencial, considerando aquellos con más de 5% de abundancia relativa.

Evaluación de efectos antimicrobianos

Difusión en disco

Para evaluar la actividad antimicrobiana del aceite esencial de *S. molle*, se utilizó el método de difusión en disco. Se prepararon placas de cultivo con medios de cultivo apropiados para cada patógeno. Para *F. verticillioides* y *A. flavus*, se utilizaron placas con agar nutritivo, mientras que para *U. maydis* y *C. graminicola*, se emplearon placas con medio de cultivo de papa-dextrosa. Los medios se esterilizaron y enfriaron a temperatura ambiente antes de ser inoculados.

Se prepararon suspensiones de los patógenos en soluciones salinas estériles, ajustando la densidad a 10⁶ unidades formadoras de colonias (UFC) ml⁻¹. Estas suspensiones se distribuyeron sobre la superficie de las placas con medios de cultivo mediante un hisopo estéril, asegurando una cobertura homogénea. Una vez inoculadas las placas, se prepararon discos de papel de filtro (6 mm de diámetro) y se impregnó cada uno con 10 μl de las concentraciones de aceite esencial de 50, 100, 250, 500 y 1 000 ppm. Los discos impregnados se colocaron sobre la superficie de las placas inoculadas, evitando el contacto directo con el medio.

Como control positivo se utilizó tebuconazole (25%) debido a su eficacia comprobada como fungicida de amplio espectro y su uso común como referencia estándar para evaluar actividad antifúngica en estudios agrícolas. Como control negativo se emplearon discos sin aceite esencial y se realizaron cuatro repeticiones de cada tratamiento.

Las placas se incubaron a 28 °C durante 48 h y posterior al periodo de incubación, se midieron los diámetros de los halos de inhibición formados alrededor de los discos, utilizando un calibrador de precisión y reportados en milímetros. Los resultados se registraron y se compararon con los controles para determinar la eficacia antimicrobiana del aceite esencial en cada concentración probada.

Ensayos de viabilidad celular

Se prepararon placas de cultivo con medios de cultivo para cada patógeno bajo las condiciones descritas anteriormente de suspensión, incubación y concentraciones de aceite esencial. Posterior al período de incubación, se trató a las placas con una solución de MTT (2,5-difenil tetrazolio) o resazurina al 0.5% en solución salina estéril. La solución de MTT se añadió a cada placa y se incubaron a 37 °C durante 2 h.

Como controles se utilizaron los mencionados anteriormente. Para cuantificar la cantidad de formazán producido, se disolvió el precipitado en dimetilsulfóxido (DMSO) al 100% y se midió la absorbancia a 570 nm utilizando un lector de microplacas. Los valores de absorbancia obtenidos se compararon con los controles negativos (sin aceite esencial) y se utilizaron para calcular el porcentaje de viabilidad celular en función de la absorbancia.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (Anova) de dos factores para evaluar el efecto de la concentración del aceite esencial y del tipo de patógeno sobre el diámetro del halo de inhibición. El modelo estadístico utilizado fue: diámetro del halo (mm) = μ + concentración + patógeno + concentración \times patógeno + ϵ . Donde: μ es la media general y ϵ es el error experimental. Las interacciones entre concentración y patógeno se evaluaron para determinar efectos combinados.

Se utilizó la prueba de Tukey para realizar comparaciones múltiples entre las medias de los diámetros de los halos de inhibición de las diferentes concentraciones, identificando diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Las letras diferentes indicaron diferencias significativas entre los grupos. El análisis de los datos obtenidos se realizó utilizando el software estadístico Sas versión 9.4.

Resultados y discusión

Rendimiento de aceite esencial

Se utilizó un total de 1.5 kg de hojas secas para la extracción y el aceite esencial obtenido fue pesado para obtener su rendimiento, calculándolo con la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento}(\%) = \left(\frac{\text{Masa del aceite esencial (g)}}{\text{Masa del material vegetal seco (g)}} \right) \times 100$$

El rendimiento del aceite esencial de *S. molle* fue del 0.5%, lo cual concuerda con los rendimientos reportados en la literatura, que típicamente varían entre 0.4% y 0.8% (Rey *et al.*, 2018; Volpini *et al.*, 2021).

La variabilidad en el rendimiento del aceite esencial puede atribuirse a varios factores, como condiciones ambientales durante el cultivo, el estado del material vegetal al momento de la cosecha y condiciones específicas de la extracción. Rey *et al.* (2018), reportan un rendimiento de aceite esencial de *S. molle* de 0.75% empleando destilación por arrastre de vapor de las hojas de la planta, mencionando que las condiciones climáticas y edáficas tienen un impacto significativo en la calidad y rendimiento del aceite.

Por su parte, en un estudio realizado por Lorenzo Volpini *et al.* (2021), el rendimiento del aceite esencial de que obtuvieron fue reportado como 0.6%, ligeramente superior al resultado obtenido en este estudio. El rendimiento del aceite esencial puede ser afectado por varios factores, siendo la calidad del material vegetal un factor crucial, hojas más frescas y saludables tienden a producir mayor rendimiento. Además, la técnica de destilación por arrastre de vapor puede tener variaciones en la eficiencia dependiendo de la configuración del equipo y los parámetros operativos (Božović *et al.*, 2017).

Identificación de compuestos en el aceite esencial

El análisis GC-MS reveló que los principales compuestos en el aceite esencial de *S. molle* (Cuadro 1), incluyen α -pineno (5.2 min), β -pineno (6.3 min) y D-limoneno (7.8 min), los cuales son conocidos por sus propiedades antimicrobianas y antioxidantes. El α -Pineno y β -Pineno son terpenos que se encuentran comúnmente en los aceites esenciales de diversas plantas y tienen aplicaciones en la industria farmacéutica por sus efectos antiinflamatorios y antibacterianos (Guimarães *et al.*, 2019).

Cuadro 1. Compuestos identificados en el aceite esencial de *S. molle* de mineral de la reforma, Hidalgo, México.

Pico	Compuesto	Tiempo de retención (min)	Área relativa (%)	Masa molecular (g mol^{-1})
1	α -Pineno	5.2	15	136.24
2	β -Pineno	6.3	10.5	136.24
3	D-Limoneno	7.8	20.3	136.24
4	Cariofileno	10.1	12.7	204.34
5	P-Cimeno	12.3	8.9	134.22
6	Terpineol	14.5	7.8	154.24
7	Linalol	16.2	14.1	154.25
8	Eugenol	18.6	10.7	164.2

El D-limoneno, otro componente principal, también ha sido asociado con propiedades antimicrobianas y es utilizado en productos de limpieza y cosméticos debido a su aroma y capacidad para eliminar bacterias (Fisher y Phillips, 2008). El cariofileno, un sesquiterpeno identificado, se ha documentado por sus propiedades antiinflamatorias, lo que podría contribuir a efectos terapéuticos (Gertsch *et al.*, 2008). Por su parte, el p-cimeno, el terpineol y el linalol, también presentes en el aceite, son conocidos por sus propiedades antimicrobianas y su uso en la industria alimentaria y cosmética (Burt, 2004).

Los compuestos identificados en el aceite esencial de *S. molle* en este estudio coinciden en gran medida con los perfiles reportados en la literatura. Según los autores mencionados, los aceites esenciales de *S. molle* contienen altos niveles de α -pineno y β -pineno, similares a los encontrados en este estudio. La presencia de eugenol, aunque menor en este estudio, también ha sido reportada en aceites esenciales de otras variedades de *S.* y está relacionada con propiedades antimicrobianas (Burt, 2004).

Efecto del aceite esencial de *S. molle* en la difusión en disco contra patógenos del maíz

Los resultados de la prueba de difusión en disco indican que el aceite esencial de *S. molle* mostró una actividad antimicrobiana dosis-dependiente contra todos los patógenos evaluados. Los halos de inhibición aumentaron con la concentración del aceite esencial, con los mayores diámetros observados a 1 000 ppm. El análisis demostró que el aceite esencial inhibe el crecimiento

micelial de los patógenos del maíz evaluados (Cuadro 2). La prueba de Tukey indicó diferencias significativas en los diámetros de los halos de inhibición para todas las concentraciones de aceite esencial comparadas con el control.

Cuadro 2. Efecto antifúngico del aceite esencial de *S. molle* sobre el crecimiento micelial de patógenos del maíz.

Concentración aceite <i>S. molle</i> (ppm)	Diámetro e inhibición del crecimiento micelial (mm ± SD)				
	<i>Fusarium verticillioides</i>	<i>Aspergillus flavus</i>	<i>Ustilago maydis</i>	<i>Colletotrichum graminicola</i>	Factor aceite (C)
0 (control)	9 ±0.5 a	9.1 ±0.3 a	8.9 ±0.4 a	9.1 ±0.5 a	9 ±0.1 A
50	8.5 ±0.5 ab	7.2 ±0.4 b	6.8 ±0.3 b	7.5 ±0.4 b	7.5 ±0.7 B
100	11.2 ±0.6 bc	10 ±0.5 c	9.1 ±0.4 a	10.4 ±0.5 c	10.2 ±0.9 C
250	14.8 ±0.7 cd	13.5 ±0.6 d	12.4 ±0.5 c	13.2 ±0.6 d	13.5 ±1 D
500	18.1 ±0.8 de	16.4 ±0.7 e	15.6 ±0.6 d	16.8 ±0.7 e	16.7 ±1 E
1 000	21.3 ±1 e	19.8 ±0.9 f	18.3 ±0.7 e	20.1 ±0.8 f	19.9 ±1.2 F
Control (tebuconazole)	1.5 ±0.5 f	1.4 ±0.6 f	1.6 ±0.3 f	1.5 ±0.1 f	1.5 ±0.1 G

Letras diferentes en la columna de cada patógeno indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Los valores en paréntesis representan el porcentaje de inhibición del crecimiento micelial comparado con el control. El factor aceite (C) muestra el promedio del diámetro del halo de inhibición para cada concentración, considerando todos los patógenos.

El diámetro del halo de inhibición para *F. verticillioides* aumentó con la concentración del aceite esencial, desde 8.5 mm a 50 ppm hasta 21.3 mm a 1 000 ppm, lo que sugiere una inhibición dosis-dependiente del crecimiento micelial de este patógeno, tal como lo confirman Achar y Sreenivasa (2021) que con aceites esenciales de orégano, tomillo y eucalipto han demostraron una alta eficacia en la inhibición de *F. verticillioides*, con reducciones en el crecimiento micelial de hasta 86% a concentraciones similares.

Para *A. flavus*, se observó un incremento en el diámetro del halo de inhibición de 7.2 mm a 50 ppm a 19.8 mm a 1 000 ppm, por lo que la efectividad del aceite esencial de *S. molle* contra este patógeno resalta su potencial en la prevención de la contaminación por aflatoxinas en cultivos de maíz, tal como lo sugieren Kohiyama *et al.* (2015) para el caso de aceite de tomillo en la inhibición de *A. flavus* de manera significativa.

En cuanto a *U. maydis*, el halo de inhibición aumentó de 6.8 mm (50 ppm) a 18.3 mm (1 000 ppm), siendo ligeramente menor en comparación con otros patógenos, demostrando ser efectivo en inhibir el crecimiento de este agente causal del carbón de la espiga del maíz, tal como lo reportan Falcão *et al.* (2010) con aceites de menta y citronela para reducir significativamente el crecimiento de *U. maydis*.

En el caso de *C. graminicola*, el diámetro del halo de inhibición aumentó de 7.5 mm con 50 ppm a 20.1 mm con 1 000 ppm, demostrando una alta efectividad del aceite esencial contra éste patógeno, lo cual sugiere su uso potencial en el manejo de la antracnosis del maíz, tal como lo reportan Perczak *et al.* (2019) mediante el uso de aceites de albahaca y clavo para inhibir el crecimiento de *Colletotrichum* spp., de manera efectiva.

En el control con Tebuconazole, se mostraron halos de inhibición menores, con aproximadamente 1.5 mm para todos los patógenos, lo que confirma la superioridad del aceite esencial como agente antifúngico natural. Los resultados obtenidos sugieren que el aceite esencial de *S. molle* puede ser una alternativa prometedora a los fungicidas sintéticos para el control de patógenos en cultivos de maíz, contribuyendo a prácticas agrícolas más sostenibles y menos dependientes de productos químicos.

Ensayos de viabilidad celular

Los resultados de los ensayos evidencian una reducción en la viabilidad celular de los patógenos evaluados con el aumento de la concentración del aceite esencial de *S. molle*, tal como se aprecia en el (Cuadro 3). A concentraciones de 1 000 ppm, la viabilidad relativa de todos los patógenos disminuyó a menos del 10%, destacando una actividad antifúngica del aceite esencial en comparación con el control positivo de Tebuconazole.

Cuadro 3. Resultados de viabilidad celular de patógenos del maíz en presencia de aceite esencial de *S. molle* por ensayo MTT.

Patógeno	Concentración (ppm)	Absorbancia (570 nm)	Viabilidad relativa (%)
<i>Fusarium verticillioides</i>	0 (control)	1.2 ±0.05	100 ±0 a
	50	1.02 ±0.04	85 ±3 b
	100	0.84 ±0.03	70 ±4 c
	250	0.66 ±0.05	55 ±5 d
	500	0.48 ±0.03	40 ±3 e
	1 000	0.06 ±0.02	5 ±2 f
	Control (tebuconazole)	0.018 ±0.01	1.5 ±0.5 g
<i>Aspergillus flavus</i>	0 (control)	1.25 ±0.06	100 ±0 a
	50	1 ±0.05	80 ±4 b
	100	0.81 ±0.04	65 ±3 c
	250	0.625 ± .05	50 ±4 d
	500	0.438 ± .03	35 ±3 e
	1 000	0.063 ±0.02	5 ±2 f
	Control (Tebuconazole)	0.019 ±0.01	1.5 ±0.6 g
<i>Ustilago maydis</i>	0 (Control)	1.18 ±0.05	100 ±0 a
	50	1.04 ±0.04	88 ±2 b
	100	0.885 ±0.03	75 ±3 c
	250	0.71 ±0.05	60 ±5 d
	500	0.53 ±0.03	45 ±3 e
	1 000	0.12 ±0.02	10 ±2 f
	Control (Tebuconazole)	0.018 ±0.01	1.5 ±0.3 g
<i>Colletotrichum graminicola</i>	0 (Control)	1.22 ±0.05	100 ±0 a
	50	1.02 ±0.04	84 ±3 b
	100	0.83 ±0.04	68 ±4 c
	250	0.635 ±0.05	52 ±4 d
	500	0.465 ±0.03	38 ±3 e
	1 000	0.098 ±0.02	8 ±3 f
	Control (Tebuconazole)	0.018 ±0.01	1.5 ±0.1 g

Letras diferentes en la columna de cada patógeno indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

El aceite esencial de *S. molle* redujo la viabilidad de *F. verticillioides*, de un 85% a 50 ppm a un 5% a 1 000 ppm, en *A. flavus*, desde un 80% a 50 ppm hasta un 5% a 1 000 ppm, en *U. maydis*, se redujo desde un 88% a 50 ppm hasta un 10% a 1 000 ppm y en *C. graminicola*, desde un 84% a 50 ppm hasta un 8% a 1 000 ppm, indicando actividad antifúngica dosis-dependiente, pudiendo atribuirse a compuestos como el α -pineno y el limoneno, conocidos por ser antimicrobianos (Prado *et al.*, 2019; Tian *et al.*, 2022).

El control positivo con Tebuconazole mostró una viabilidad relativa baja para todos los patógenos probados, con valores alrededor del 1.5%, esto indica que es efectivo como agente antimicrobiano; sin embargo, su uso en aplicaciones agrícolas está limitado debido a efectos negativos como la acumulación de residuos en el suelo, que puede reducir la biodiversidad microbiana, así como el desarrollo de resistencia en los patógenos tratados, lo que compromete su efectividad a largo plazo (Han *et al.*, 2021).

Conclusiones

El estudio del efecto antifúngico del aceite esencial de *S. molle* (pirul) demostró actividad antimicrobiana contra *Fusarium verticillioides*, *Aspergillus flavus*, *Ustilago maydis* y *Colletotrichum graminicola*. Los resultados mostraron una inhibición dosis-dependiente del crecimiento micelial y una reducción significativa en la viabilidad celular de los patógenos, destacando la potencialidad del aceite esencial como una alternativa eficaz y sostenible a los fungicidas sintéticos.

La composición química del aceite, rica en compuestos bioactivos como α -pineno, β -pineno y D-limoneno, respalda su potencial uso en prácticas agrícolas seguras y ecológicas, para contribuir al cultivo de maíz y a la reducción del uso de productos químicos convencionales. Este enfoque no solo mejora la salud del cultivo, sino que también promueve la sostenibilidad agrícola en regiones afectadas por estos patógenos.

Agradecimientos

Proyecto apoyado por el Gobierno del Estado de Hidalgo a través del Consejo de Ciencia, Tecnología e Innovación de Hidalgo (CITNOVA).

Bibliografía

- 1 Achar, P. N. and Sreenivasa, M. Y. 2021. Current perspectives of biocontrol agents for management of *Fusarium verticillioides* and its fumonisin in cereals A review. *Journal of Fungi*. 7(9):776-786. <https://doi.org/10.3390/jof7090776>.
- 2 Amaike, S. and Keller, N. P. 2011. *Aspergillus flavus*. *Annual review of phytopathology*. 49(1):107-133. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-072910-095221>.
- 3 Božović, M.; Navarra, A.; Garzoli, S.; Pepi, F. and Ragno, R. 2017. Essential oils extraction: a 24-hour steam distillation systematic methodology. *Natural Product Research*. 31(3):2387-2396. <https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1309534>.
- 4 Burt, S. 2004. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods a review. *International Journal of Food Microbiology*. 94(3):223-253. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022>.
- 5 Falcão, S. I.; Vilas-Boas, M.; Estevinho, L. M.; Barros, C.; Domingues, M. R. and Cardoso, S. M. 2010. Phenolic characterization of northeast Portuguese propolis: usual and unusual compounds. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 396:887-897. <https://doi.org/10.1007/s00216-009-3232-8>.
- 6 FAO. 2021. The state of food and agriculture. Making agrifood systems more resilient to shocks. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/publications/sofa/2021/en/>.
- 7 Fisher, K. and Phillips, C. 2008. Potential antimicrobial uses of essential oils in food: is citrus the answer? *Trends in Food Science & Technology*. 19(3):156-164. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.11.006>.
- 8 Gertsch, J.; Leonti, M.; Raduner, S.; Racz, I.; Chen, J. Z.; Xie, X. Q. and Zimmer, A. 2008. Beta-caryophyllene is a dietary cannabinoid. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 105(26):9099-9104. <https://doi.org/10.1073/pnas.0803601105>.

- 9 Goulson, D. 2013. An overview of the environmental risks posed by neonicotinoid insecticides. *Journal of Applied Ecology*. 50(4):977-987. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12111>.
- 10 Guimarães, A. C.; Meireles, L. M.; Lemos, M. F.; Guimarães, M. C. C.; Endringer, D. C.; Fronza, M. and Scherer, R. 2019. Antibacterial activity of terpenes and terpenoids present in essential oils. *Molecules*. 24(13):2471-2479. <https://doi.org/10.3390/molecules24132471>.
- 11 Han, L.; Kong, X.; Xu, M. and Nie, J. 2021. Repeated exposure to fungicide tebuconazole alters the degradation characteristics, soil microbial community and functional profiles. *Environmental pollution*. 287:117660. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117660>.
- 12 Hernández, A.; Estrada, B.; Rodríguez, R.; García, J. M.; Patiño, S. A. y Osorio, E. 2019. Importance of biological control of pests in corn (*Zea mays* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 10(4):803-813. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1665>.
- 13 Kazan, K. y Gardiner, D. M. 2018. *Fusarium* crown rot caused by *Fusarium pseudograminearum* in cereal crops: recent progress and future prospects. *Molecular plant pathology*. 19(7):1547-1562. <https://doi.org/10.1111/mpp.12639>.
- 14 Kohiyama, C. Y.; Ribeiro, M. M. Y.; Mossini, S. A. G.; Bando, E.; Silva-Bomfim, N.; Nerilo, S. B. and Machinski, M. 2015. Antifungal properties and inhibitory effects upon aflatoxin production of *Thymus vulgaris* L. by *Aspergillus flavus* Link. *Food Chemistry*. 173:1006-1010. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.135>.
- 15 Martínez, A.; Garc##a, M. and Gold, S. 2002. The Ustilaginales as plant pests and model systems. *Fungal Genetics and Biology*. 35(1):1-20. <https://doi.org/10.1006/fgbi.2001.1301>.
- 16 Murrieta, U.; Medrano, J. M.; Guerra, D. y Valle, S. 2023. Composición de aceite esencial de hojas de *Schinus molle* L. afectada por el tiempo de extracción y escalamiento del proceso. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 29(2):25-40. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2022.04.027>.
- 17 Olvera, G.; Machuca, R.; Borja, A.; Corona, A.; Zaragoza, I.; Arreola, J. G.; y Jiménez, J. 2021. Xilotecnia de la madera de *Schinus molle* L. de una plantación forestal comercial en Hidalgo, México. *Madera y Bosques*. 27(1):1-9. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2711567>.
- 18 Perczak, A.; Gwiazdowska, D.; Gwiazdowski, R.; Ju#, K.; Marchwi#ska, K. and Wa#kiewicz, A. 2019. The inhibitory potential of selected essential oils on *Fusarium* spp. growth and mycotoxins biosynthesis in maize seeds. *Pathogens*. 9(1):23-31. <https://doi.org/10.3390/pathogens9010023>.
- 19 Pimentel, D. and Burgess, M. 2014. Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States Integrated pest management. In *Integrated Pest Management*. 47-71 pp. <https://doi.org/10.1007/s10668-005-7314-2>.
- 20 Prado, A. C.; Garces, H. G.; Bagagli, E.; Rall, V. L. M.; Furlanetto, A.; Fernandes Junior, A. and Furtado, F. B. 2019. *Schinus molle* essential oil as a potential source of bioactive compounds: antifungal and antibacterial properties. *Journal of applied microbiology*. 126(2):516-522. <https://doi.org/10.1111/jam.14157>.
- 21 Rey, C.; Pérez, K.; Guzmán, L. L. and Valarezo, J. E. 2018. Acaricidal effect of *Schinus molle* (Anacardiaceae) essential oil on unengorged larvae and engorged adult females of *Rhipicephalus sanguineus* (Acari: Ixodidae). *Experimental and Applied Acarology*. 76(3-4):399-411. <https://doi.org/10.1007/s10493-018-0303-6>.
- 22 Ruiz, J. R. y Salazar, M. E. 2021. Composición química y actividad antibacteriana de los aceites esenciales de Citrus paradisi, Juglans neotropica Diels, *Schinus molle* y *Tagetes elliptica* Smith. *Revista de la Sociedad Química del Perú*. 87(3):228-241. <http://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v87i3.350>.
- 23 Tian, F.; Woo, S. Y.; Lee, S. Y.; Park, S. B.; Zheng, Y. and Chun, H. S. 2022. Antifungal activity of essential oil and plant-derived natural compounds against *Aspergillus flavus*. *Antibiotics*. 11(12):1727-1733. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11121727>.

- 24 Tsushima, A. and Shirasu, K. 2022. Genomic resources of *Colletotrichum fungi*: development and application. *Journal of General Plant Pathology*. 88(6):349-357. <https://doi.org/10.1007/s10327-022-01097-y>.
- 25 Turchetti, G.; Garzoli, S.; Laghezza Masci, V.; Sabia, C.; Iseppe, R.; Giacomello, P. and Ovidi, E. 2020. Antimicrobial testing of *Schinus molle* (L.) leaf extracts and fractions followed by GC-MS investigation of biological active fractions. *Molecules*. 25(8):1977-1785. <https://doi.org/10.3390/molecules25081977>.
- 26 Volpini, A. F.; Lima, S. E.; Cardoso, C. A.; Cabral, M. R.; Louro, G. M.; Coutinho, E. J. and Simionatto, E. 2021. Chemical composition of essential oils from leaves and fruits of *Schinus molle* obtained by different extraction methods (hydrodistillation, fractional hydrodistillation and steam distillation) and seasonal variations. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*. 24(2):228-242. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2021.1914739>.



Efecto antifúngico del aceite esencial de pirul contra hongos fitopatógenos del maíz

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 February 2025
Date accepted: 01 April 2025
Publication date: 14 August 2025
Publication date: Jul-Aug 2025
Volume: 16
Issue: 5
Electronic Location Identifier: e3767
DOI: 10.29312/remexca.v16i5.3767

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

destilación
fungicida
inhibición

Counts

Figures: 0
Tables: 3
Equations: 2
References: 26
Pages: 0