

Compuestos químicos del aceite esencial de *Tagetes lucida* y efecto contra *Botrytis cinerea*

Miguel Ángel Ruíz-González¹

Roney Solano-Vidal¹

Ernestina Valadez-Moctezuma¹

Miguel Ángel Serrato-Cruz^{1,§}

1 Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Estado de México, México. CP. 56230. (miguelruiz93@live.com.mx; roneysv@hotmail.com; nestty56@yahoo.com.mx).

Autor para correspondencia: serratocruz@gmail.com.

Resumen

El ambiente influye en la composición química del aceite esencial de las plantas y también con su efecto biológico. El propósito del estudio fue: describir el perfil químico del aceite esencial de *Tagetes lucida* y evaluar el efecto biológico *in vitro* contra *B. cinerea*. El estudio se realizó en Texcoco, México durante octubre de 2021. Por hidrodestilación se obtuvo aceite esencial de plantas en floración; la identificación de compuestos químicos se realizó mediante la técnica GC-MS. Para el bioensayo *in vitro* se empleó el método de agar envenenado y micelio de *B. cinerea* de tres días de crecimiento. Se evaluaron doce tratamientos: aceite esencial 0.1, 0.5, 1 y 2%, Tween 20 al 0.1, 0.3, 0.5, 0.8, 1 y 2%, fungicida comercial y testigo absoluto (solo con agua bidestilada estéril). Cada 24 h se midió crecimiento radial del hongo con un vernier digital y se estimó la velocidad de crecimiento y la inhibición del crecimiento micelial. Se identificaron treinta y un compuestos químicos, (1S)-(-)- β -Pino (36.4%), 1, 3, 5, 7-Ciclooctatetraeno (12.7%), eucaliptol (10.6%) y o-Cimeno (6.1%). Con las concentraciones de 0.1, 0.5, 1 y 2% se inhibió el crecimiento micelial y la esporulación de *B. cinerea*. El fungicida comercial y la concentración del 2% inhibieron totalmente el crecimiento del hongo. Tween 20 también inhibió el crecimiento micelial. La CL₅₀ fue de 0.06% y la CL₉₅ fue de 1.69%. La abundancia de terpenos en el aceite esencial de *T. lucida* mostró efecto fungicida contra *B. cinerea*. El surfactante tuvo efectos menores.

Palabras clave:

Tagetes lucida, *B. cinerea*, aceite esencial.



Introducción

El Yiahtli, pericón o hierba de Santa María (*Tagetes lucida* Cav.) es una planta con distribución en zonas templadas y transicionales, en altitudes de 1 400 a 2 800 m. (Serrato, 2014), crece en vegetación de pino, encino, pino-encino y bosque latifoliado (Turner, 1996). Su altura es de 40 cm hasta 1.8 m, su floración inicia a mediados de agosto hasta octubre (Serrato, 2014).

El actual conocimiento tradicional sobre *T. lucida* revela diversos usos: como relajante en situaciones de cáncer, limpieza de heridas por cesárea, remedio contra picadura de alacrán y de serpiente, para disminuir dolor reumático, controlar garrapatas en aves, suavizar el efecto de la resaca, aromatizar ropa lavada, eliminar huevos de piojos y de pulgas, elaborar alcohol de caña con sabor de anís y saborizante de varios alimentos (Serrato, 2014). Tiene efecto biocida contra patógenos que afectan a humanos (Céspedes *et al.*, 2006; Torres-Martínez *et al.*, 2022) y otros efectos biológicos contra nematodos (Omer *et al.*, 2015) y algunos hongos fitopatógenos (López *et al.*, 2018).

Todos estos efectos se atribuyen a los compuestos químicos que contiene *T. lucida* tales como: terpenoides, cumarinas y flavonoides (Gutiérrez *et al.*, 2018). En el aceite esencial se han detectado alrededor de 40 a 44 metabolitos secundarios, de la clase de monoterpenos, sesquiterpenos y fenilpropanoides (Regalado *et al.*, 2011; Zarate-Escobedo *et al.*, 2018), lo que significa una amplia variabilidad en tipos y cantidad de moléculas. En el aceite esencial de *T. lucida* la abundancia de monoterpenos y fenilpropanoides se relaciona con la variabilidad climática y del suelo (Zárate-Escobedo *et al.*, 2018).

En los estudios realizados con aceite esencial de *T. lucida* contra hongos se usaron poblaciones vegetales de climas templado frío y semifrío (Céspedes *et al.*, 2006; Barajas *et al.*, 2011; López *et al.*, 2018) en las que los fenilpropanoides (anetol y estragol) son componentes mayoritarios y los responsables de efectos biológicos contra hongos.

El aceite de *T. lucida* que tiene esa procedencia inhibe el crecimiento micelial, la esporulación y formación de esclerocios en *Sclerotium rolfsii* y *Monilinia fructicola* (Barajas *et al.*, 2011). También, inhibe el crecimiento micelial de *Aspergillus niger*, *Fusarium oxysporum*, *Penicillium janthinellum* y *Rhizoctonia solani* (López *et al.*, 2018). En el clima cálido los metabolitos secundarios en el aceite esencial corresponden mayoritariamente a terpenos (Zárate-Escobedo *et al.*, 2018). Por ello, la evaluación del efecto biológico del aceite esencial de esta especie crecida en clima templado cálido es importante.

La variación en la composición química de aceites esenciales depende de diversos factores, entre ellos, genéticos, así como ambientales (Acero-Godoy *et al.*, 2019). Por lo tanto, los estudios toxicológicos con el aceite de *T. lucida* deben considerar las características del hábitat en el que se desarrollan las poblaciones de esta especie en forma natural.

La evaluación de terpenos de *T. lucida* en el crecimiento fúngico complementará la información disponible sobre los efectos fúngicos de los fenilpropanoides que contiene la misma especie crecida en ambientes templados de subtipos fríos. La distribución de las poblaciones naturales de *T. lucida* en pisos altitudinales (Serrato, 2014), asociados con temperaturas que son contrastantes, representa una rica diversidad ambiental para *T. lucida* y también de biomoléculas.

Aunque varios aceites esenciales se han evaluado contra *B. cinerea* (Tan#inová *et al.*, 2022), el aceite esencial de *T. lucida* aún no se ha evaluado contra este hongo. El propósito de este trabajo fue describir el perfil químico del aceite esencial de *T. lucida* y evaluar el efecto biológico *in vitro* contra *B. cinerea*. Se espera que la composición del aceite esencial sea específica y que este aceite tenga efecto biológico contra el hongo fitopatógeno referido.



Materiales y métodos

Material biológico

En octubre de 2021 se recolectaron muestras de *Tagetes lucida* Cav. en etapa de floración (tallos, flores y hojas) en el municipio de Pilcaya, Cacahuamilpa, Guerrero (18° 40' 42.6" latitud norte 99° 32' 31.3" longitud oeste), a 1 479 m de altitud y en clima templado con lluvias en verano (Cw₁) (Köppen, 1948). El corte de tallos florales se hizo a 10 cm encima del suelo para evitar la pérdida de plantas en su hábitat, ya que esta es perenne y vuelve a retoñar. Especímenes de estas muestras se depositaron en el Herbario-Hortorio-JES 'Jorge Espinosa Salas' del Departamento de Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México (registro 35872).

Extracción de aceite esencial

En un destilador de cristal tipo italiano, con capacidad de 6 kg, se agregaron 2 L de agua potable, después, 2 kg de plantas frescas se metieron al matraz de balón previamente trituradas con tijera de poda; por un periodo de 45 min se hizo extracción de aceite esencial por hidrodestilación (Rodríguez *et al.*, 2012). El aceite esencial se conservó en frascos de vidrio ámbar en refrigeración hasta su uso; se obtuvo 1.6 ml de aceite esencial por kilogramo de peso seco de tejido vegetal.

Identificación de compuestos químicos

Con la técnica de microextracción en fase sólida (Zhao *et al.*, 2022) se analizaron las muestras de aceite esencial; para ello, en un frasco ámbar se agregaron 5 µl de aceite esencial y se colocó una fibra de microextracción (PALsystem Ingenious Simple Handling) de fase sólida durante 1 min después, la muestra fue inyectada en un cromatógrafo de gases acoplado a un espectrómetro de masas (GC-MS Agilent Technologies 7890 A GC System), se realizaron dos repeticiones y se utilizó una columna capilar GC column VF-5ms, de 30 × 0.25 (0.25).

La temperatura del horno de la columna se inició en 60 °C, posteriormente, a 120 °C durante 15 min y temperatura final de 230 °C. El incremento de la temperatura fue de 15 °C min⁻¹, se usó helio como gas acarreador a un flujo constante de 0.5 ml min⁻¹. La identificación de los compuestos se hizo al comparar el tiempo de retención y el espectro de masas con la biblioteca espectral NIST y corroborado con índices de Kovats y R match mayor a 800. Como referencias en el cálculo de los índices de Kovats se usaron *n*-alcanos.

Bioensayo *in vitro*

La evaluación se hizo en medio de cultivo agar dextrosa y papa (PDA 39 g L⁻¹) con el método de agar envenenado (Dikshit y Husain, 1984); se preparó una emulsión con 100 ml de agua bidestilada, 100 µl de Tween 20 y aceite esencial de *T. lucida* para obtener cuatro concentraciones (0.1, 0.5, 1 y 2% v/v). Por separado se prepararon seis concentraciones con Tween 20 (0.1, 0.3, 0.5, 0.8, 1 y 2% v/v) y se usó un fungicida comercial (1 g L⁻¹): Cabrio C (Boscalid 25.2% + Pyraclostrobin 12.8%).

La esterilización fue durante 20 min en autoclave a 120 °C. Después, el medio PDA se vertió en cajas Petri de vidrio estériles de 90 mm. Transcurridas 24 h, se inoculó *B. cinerea* obtenido del Laboratorio de Resistencia Genética de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH). La cepa de *B. cinerea* utilizada cuenta con identificación molecular con indicadores NL4 e ITS5HP (Toju *et al.*, 2012) y registro GenBank PP401673.1.

Diseño experimental y análisis de datos

El experimento se estableció con un diseño completamente al azar (DCA) con 12 tratamientos: cuatro concentraciones de aceite esencial, seis concentraciones de Tween 20, 1 g L⁻¹ de fungicida Cabrio C (Boscalid 25.2% + Pyraclostrobin 12.8%) y un testigo, cada tratamiento con cinco repeticiones. Con un vernier digital se midió el crecimiento radial del hongo cada 24 h durante cinco días. Se evaluaron velocidad de crecimiento (VC) (Sinclair y Cantero, 1989) y la inhibición del crecimiento micelial (%) (Kagezi *et al.*, 2015).

En un microscopio estereoscópico se observó si se presentaba esporulación desde el quinto hasta el octavo día después de la siembra del hongo. Se utilizó una escala de medición nominal. Los datos se analizaron con pruebas de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) mediante el software académico SAS (SAS Institute Inc, 2023). Con los resultados de las concentraciones de aceite esencial evaluada *in vitro* se determinaron las concentraciones Probit (CL_{50} y CL_{95}) en software académico SAS (Finney, 1971; Castillo, 2007; SAS Institute Inc, 2023).

Resultados y discusión

Compuestos químicos

En el aceite esencial se identificaron treinta y un compuestos, cuatro de ellos mayoritarios: (1S)-(-)- β -pineno (36.4%), 1, 3, 5, 7-ciclooctatetraeno (12.7%), eucaliptol (10.6%) y o-cimeno (6.1%) (Cuadro 1), de todos los compuestos, los sesquiterpenos representaron el 40%, monoterpenos 30%, otros terpenos 3% y el resto correspondieron a alcoholes menos abundantes. Compuestos como estragol, anetol, metil eugenol (Bicchi *et al.*, 1997), β -ocimeno, β -cubebeno, β -mirceno, germacreno, cariofileno, nerolidol (Regalado *et al.*, 2011) y acetato de geranilo (Zarate-Escobedo *et al.*, 2018) se han reportado como compuestos mayoritarios en *T. lucida*, lo cual significa que los metabolitos secundarios que resultaron mayoritarios en la población Pilcaya (Cuadro 1), distintos de los reportados previamente en otros estudios (Cuadro 2), amplían el conocimiento de la fitoquímica de esta especie.

Cuadro 1. Abundancia relativa (%) de compuestos químicos en aceite esencial de *Tagetes lucida*, mediante cromatografía de gases/espectrometría de masas (GC/MS) e índice de Kovats (IK).

Compuesto	(%)	IK	Compuesto	(%)	IK
(1S)-(-)- β -Pineno	36.4	961	2-Furanmetanol, 5-eteniltetrahydro- $\alpha,\alpha,5$ -trimetil-, cis-	0.4	1070
1,3,5,7- ciclooctatetraeno	12.7	880	5-Hepten-2- one, 6-metil-	0.4	958
Eucaliptol	10.6	1032	Ácido acético, éster hexílico δ -	0.4	1010
o-Cimeno	6.1	1024	Elemeno	0.4	1361
(-)- β -Bourboneno	2.4	1390	Ciclosativeno	0.4	1379
Cubenol	2.1	1651	Ciclotrisiloxano, hexametil-	0.4	825
Ciclohexeno, 1-metil-4-(1- metiletenil)-, (S)-	1.7	1029	2- furancarboxaldehído, 5-metil-	0.2	913
4-Hexen-1-ol, (4E)-, acetato	1.6	1003	α -Amorfenol	0.1	1453
trans- β -Ocimeno	1.5	1044	α -Muuroleno	0.1	1504
β -acoreno	1.3	1598	1,3,5-cicloheptatrieno	0.1	771
(1S)-2,6,6- Trimetilbicio	1.2	931	3-Penten-2- ona, 4-metil-	0.1	778
[3.1.1]hept-2-eno					
Dihidroedulan II (cis)	1.1	1193	Trans-calameneno	0.1	1537
Isovalerato de n-amilo	0.8	1103	Gleenol	0.1	1630

Compuesto	(%)	IK	Compuesto	(%)	IK
Óxido de cariofileno	0.7	1598	γ-Muuroleno	0.09	1522
Ciclotetrasiloxano, octametil-	0.7	1004	Aromandendreno	0.05	1439
2-Butenal, 3-metil-	0.5	748			

Cuadro 2. Compuestos químicos mayoritarios encontrados en el aceite esencial de *T. lucida* evaluada por Zarate-Escobedo *et al.* (2018).

Compuesto	Abundancia relativa (%)
β-Ocimeno	24
Acetato de geranilo	19.2
Nerolidol	12.5
β-Cubebeno	7.3
Cariofileno	6.7
1,3,6,10-Dodecatetraeno, 3,7,11-trimetil-, (E,E)-	4.3
Verbenona, (L)-	3.5
Óxido de cariofileno	2.6
β-pineno-(1S)-(-)	1.1

Al comparar los compuestos encontrados en la población de estudio (Cuadro 1), denominada Pilcaya (1 479 msnm), con los encontrados por Zarate-Escobedo *et al.* (2018) en la localidad denominada El Mogote-Pilcaya (1 493 msnm), ambos puntos cercanos, los compuestos mayoritarios en el aceite esencial de ambas poblaciones no coinciden (Cuadro 2). El compuesto (-)-β-pineno que, en Pilcaya presentó 36.4% de abundancia (Cuadro 1) en el Mogote-Pilcaya la abundancia fue 1.1% (Cuadro 2) (Zarate-Escobedo *et al.*, 2018).

El sitio Pilcaya es más cálido, posiblemente en 2 °C y de menor altitud (1 479 m), respecto del sitio El Mogote-Pilcaya. En otras especies se ha registrado que la temperatura, régimen hídrico y otros factores influyen la síntesis de metabolitos secundarios (Karalija *et al.*, 2022; Valkovszki *et al.*, 2023). El resultado es valioso para seleccionar áreas de recolección y de posible cultivo, debido a la importancia que pueden tener los cambios en la temperatura y altitud en el tipo y cantidad de compuestos químicos.

Bioensayo *in vitro*

En cuanto al efecto biocida del aceite esencial, se encontró que, con 1 y 2% se inhibió el crecimiento micelial de *B. cinerea* con diferencias estadísticas con respecto a la concentración de 0.1% (Cuadro 3) y no hubo esporulación del hongo. Por ello, la concentración de 1% es adecuada para verificar si el efecto observado a nivel *in vitro* también se podría reproducir a nivel *in vivo* con el debido cuidado de no conllevar efectos de fitotoxicidad.

Cuadro 3. Valores de medias de las variables porcentaje de inhibición y velocidad de crecimiento.

Tratamientos	Inhibición (%)	Velocidad de crecimiento (mm)
Testigo absoluto	0 e	10.54 a
FC	100 a	0 e
TL2	100 a	0 e
TL1	94 ab	2.83 d
TL0.5	72.46 bc	4.9 cd
TL0.1	66.15 c	6.33 bc

Tratamientos	Inhibición (%)	Velocidad de crecimiento (mm)
Tween 20 (2%)	24.02 d	6.51 bc
Tween 20 (1%)	21.65 de	6.58 bc
Tween 20 (0.8%)	15.14 de	6.76 bc
Tween 20 (0.5%)	14.74 de	6.86 bc
Tween 20 (0.3%)	12.68 de	7.2 bc
Tween 20 (0.1%)	5.15 de	8.03 ab
CV	18.28	20.4
DMS	23.72	2.69

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05), CV= coeficiente de variación; DMS= diferencia mínima significativa; *= nivel de significancia ($p(0.05)$); TL2= aceite esencial 2%; TL1= aceite esencial 1%; TL0.5= aceite esencial 0.5%; TL0.1= aceite esencial 0.1%; FC= fungicida comercial Cabrio C.

El aceite esencial de *T. lucida* también inhibe a *Penicillium notatum*, *Fusarium moniliforme*, *Fusarium sporotrichum*, *Trichophyton mentagrophytes* (Céspedes *et al.*, 2006), *Sclerotium rolfsii* y *Monilinia fructicola* (Barajas *et al.*, 2011), *Aspergillus niger*, *Fusarium oxysporum*, *Penicillium janthinellum* y *Rhizoctonia solani* (López *et al.*, 2018). En el presente trabajo por primera vez se presentan resultados contra *B. cinerea* (Cuadro 3). Se destaca el efecto biológico del aceite de *T. lucida* al 1% ya que estadísticamente iguala al fungicida comercial y con ello, se abren posibilidades técnico-económicas para analizar un posible aprovechamiento del mencionado recurso natural.

El efecto inhibitorio ocasionado por el aceite esencial contra hongos se debe a que causan daños en la membrana citoplasmática, interrumpen varias capas de polisacáridos, ácidos grasos y fosfolípidos (Helal *et al.*, 2006; Rammanee y Hongpattarakere, 2011). También, dañan las hifas, vacuolaciones, fuga de protoplastos o destrucción mitocondrial (Rasooli *et al.*, 2006). Soylyu *et al.* (2010) revelan alteraciones morfológicas en las hifas de *B. cinerea* causadas por la aplicación de aceites esenciales de *Origanum syriacum*, *Lavandula stoechas* y *Rosmarinus officinalis*.

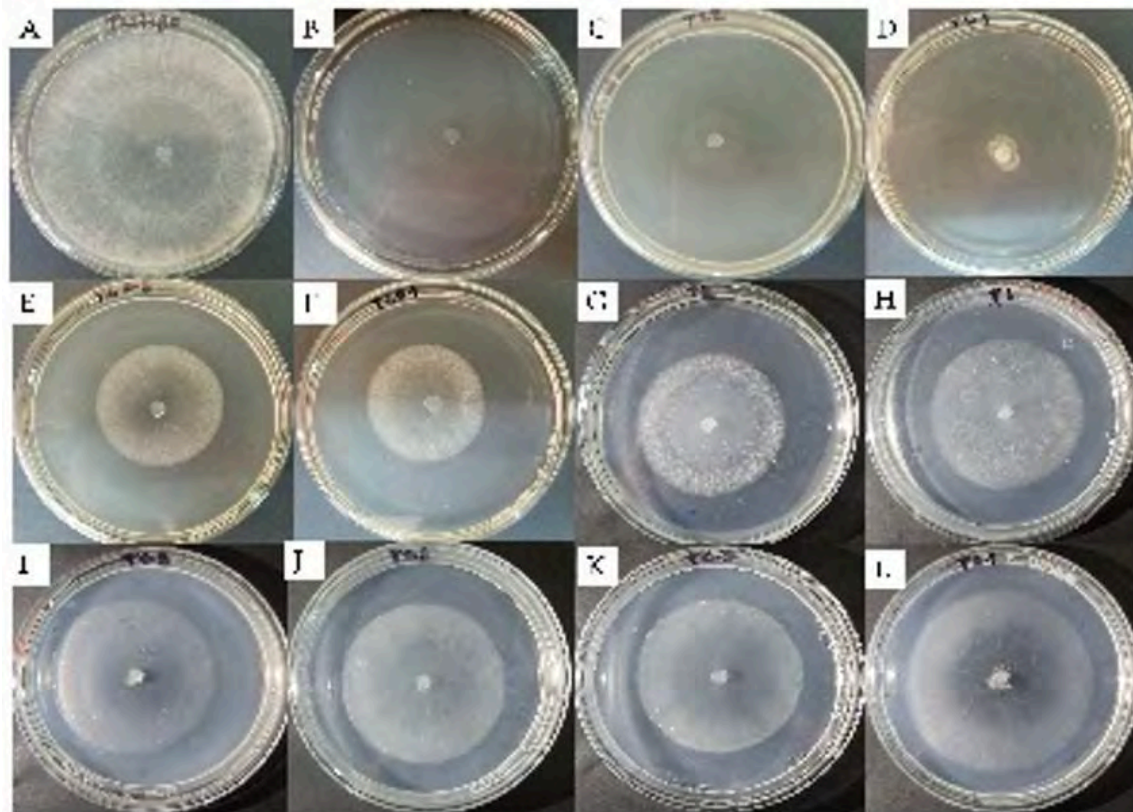
El tratamiento con Tween 20 (2%) mostró inhibición de 24.02% (Figura 1) con una velocidad de crecimiento del micelio de 6.51 mm d⁻¹, mientras que con la menor concentración (0.1%) la inhibición fue de 5.15% y la velocidad de crecimiento se incrementó a 8.03 mm d⁻¹ (Cuadro 3); las concentraciones 0.1, 0.5, 0.8 y 1% que se probaron del surfactante, no fueron estadísticamente diferentes al testigo.

Aparentemente, el efecto de Tween es antifúngico dependiente y podría estar relacionado con la solubilidad del antifúngico en el medio utilizado; por ello, es importante estandarizar la concentración de surfactante para su uso en la preparación del inóculo o al hacer la emulsión con la finalidad de asegurar resultados confiables (Gómez-López *et al.*, 2005), ya que se ha observado que Tween 20 (0.1%) inhibe la germinación de conidios de *Beauveria bassiana* en un 20% (Mwamburi *et al.*, 2015). En el presente experimento, el uso de Tween 20 al 0.1% prácticamente no tuvo efecto inhibitorio. Sin embargo, las concentraciones mayores (>0.1%) si inhibieron a *B. cinerea*.

En los tratamientos con aceite esencial y con fungicida comercial, no hubo esporulación de *B. cinerea* (Figura 1), mientras que, en el testigo y el tratamiento con Tween 20 hubo esporulación hasta el octavo día, lo que refuerza la actividad biológica que tiene el aceite de *T. lucida* que se evaluó.



Figura 1. Crecimiento micelial de *B. cinerea* a los cinco días en cajas Petri con los tratamientos. A= testigo; B= fungicida comercial; C= aceite esencial 2%; D= aceite esencial 1%; E= aceite esencial 0.5%; F= aceite esencial 0.1%; G= Tween 20 2%; H= Tween 20 1%; I= Tween 20 0.8%; J= Tween 20 0.5%; K= Tween 20 0.3%; L= Tween 20 0.1%.



Con la aplicación *in vitro* de aceites esenciales de *Thymus vulgaris*, *Origanum vulgare*, *Origanum dictamnus* y *Origanum majorana* también se disminuyó la producción y germinación de conidios en *Penicillium digitatum* (Daferera *et al.*, 2000). El efecto antiesporulante en *Aspergillus fumigatus* se relacionó con la actividad inhibidora de la respiración debido al efecto de los aceites esenciales (Inouye *et al.*, 1998)

Las concentraciones Probit del aceite esencial de *T. lucida* proveniente de Pilcaya, fueron de 0.06% (v/v) para CL₅₀ y de 1.69% (v/v) para CL₉₅ (Cuadro 4), referencias que permiten sugerir que el aceite de *T. lucida* es una sustancia vegetal candidata para el biocontrol de *B. cinerea*. En perspectiva se contempla la evaluación *in vivo* del mejor tratamiento considerando la referencia del análisis Probit, así como verificar el efecto biológico de cada compuesto mayoritario.

Cuadro 4. Concentraciones letales (CL) y límites de confiabilidad obtenidos con el aceite esencial de *T. lucida* evaluado en *B. cinerea*.

Aceite esencial (v/v)	Concentraciones letales	Límites de confiabilidad (95%)
<i>T. lucida</i>	CL ₅₀ 0.06	0.02704-0.09868
	CL ₉₅ 1.69	1.07514-3.5546

Las poblaciones naturales de *T. lucida* en Pilcaya, Cacahuamilpa, Guerrero, son abundantes y constituyen un recurso natural promisorio para su aprovechamiento sustentable a nivel de las comunidades propietarias de esas tierras, sobre todo si la exploración sobre efectos biológicos se amplía a plagas insectiles, diversos hongos fitopatógenos, ácaros, bacterias y otros organismos de importancia en medicina humana y veterinaria, arrojará resultados favorables.

Desde luego, conviene evaluar la viabilidad financiera del proceso de destilación del aceite para tener un panorama real del potencial de aprovechamiento del recurso fitogenético en cuestión. Hay que considerar que el rendimiento de 1.6 ml se obtiene de 1 kg de tejido seco, entonces para lograr la obtención de 1 L de aceite se ocuparía 625 kg de tejido seco, lo que equivaldría aproximadamente a un volumen de 5 t de planta fresca, un escenario que orienta a reflexionar sobre posible manejo agroecológico de las poblaciones nativas o llevarlas a cultivo convencional.

Conclusiones

El aceite esencial de *T. lucida* contiene treinta y un compuestos químicos. Los compuestos mayoritarios son terpenos y su abundancia se asocia con el clima templado cálido de donde proviene el material vegetal. El aceite esencial evaluado tiene efecto fungicida *in vitro* contra *B. cinerea* y validado con la evaluación Probit. Tween 20 inhibe el crecimiento de forma parcial, entonces, la cantidad de surfactante para disolver el aceite debe ajustarse.

Bibliografía

- 1 Acero-Godoy, J.; Guzmán-Hernández, T. y Muñoz-Ruíz, C. 2019. Revisión documental de uso de los aceites esenciales obtenidos de *Lippia alba* (Verbenaceae), como alternativa antibacteriana y antifúngica. *Tecnología en Marcha*. 32(1):3-11. Doi: 10.8845/tm.v32.i1.4114.
- 2 Barajas, P. J. S.; Montes-Belmont, R.; Castrejón, F. A.; Flores-Moctezuma, H. E. y Serrato, C. M. A. 2011. Propiedades antifúngicas en especies del género *Tagetes*. *Scientia Fungorum*. 3(34):85-91.
- 3 Bicchi, C.; Fresia, M.; Rubiolo, P.; Monti, D.; Franz, C. and Goehler, I. 1997. Constituents of *Tagetes lucida* Cav. ssp. *lucida* essential oil. *Flavour and Fragrance Journal*. 12(1):47-52. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/%28SICI%291099-1026%28199701%2912%3A1%3C47%3A%3AAID-FFJ610%3E3.0.CO%3B2-7>.
- 4 Castillo, M. L. E. 2007. Introducción al SAS para Windows. Universidad Autónoma Chapingo (UACH). 3^{ra} Ed. 295 p.
- 5 Céspedes C. L.; Avila, J. G.; Martínez, A.; Serrato, B.; Calderón-Mugica, J. C. and Salgado-Garciglia, R. 2006. Antifungal and antibacterial activities of Mexican tarragon (*Tagetes lucida*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54(10):3521-3527. 10.1021/jf053071w.
- 6 Daferera, D. J.; Ziogas, B. N. and Polissiou, M. G. 2000. GC-MS analysis of essential oils from some Greek aromatic plants and their fungitoxicity on *Penicillium digitatum*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48(6):2576-2581. 10.1021/jf990835x.
- 7 Dikshit, A. and Husain, A. 1984. Antifungal action of some essential oils against animal pathogens. *Fitoterapia LV*. 171-176 pp.
- 8 Finney, D. J. 1971. Probit analysis. Third edition. Cambridge University Press. Cambridge. 333 p.
- 9 Gómez-López, A.; Aberkane, A.; Petrikou, E.; Mellado, E.; Rodríguez-Tudela, J. L. and Cuenca-Estrella, M. 2005. Analysis of the influence of concentration, inoculum size, assay medium, and reading time on susceptibility testing of *Aspergillus* spp. *Journal of Clinical Microbiology*. 43(3):1251-1255. 10.1128/jcm.43.3.1251-1255.2005.
- 10 Gutiérrez, G. Y.; Scull, L. R.; García, S. G. y Montes, A. A. 2018. Evaluación farmacognóstica, fitoquímica y biológica de un extracto hidroalcohólico de *Tagetes lucida* Cavanilles. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*. 23(2). <https://revplantasmedicinales.sld.cu/index.php/pla/article/view/669/308>.

- 11 Helal, G. A.; Sarhan, M. M.; Shahla, A. N. K. A. and El-Khair, E. K. A. 2006. Effects of *Cymbopogon citratus* L. essential oil on the growth, lipid content and morphogenesis of *Aspergillus niger* ML2-strain. Journal Of Basic Microbiology. 46(6):456-469. 10.1002/jobm.200510106.
- 12 Inouye, S.; Watanabe, M.; Nishiyama, Y.; Takeo, K.; Akao, M. and Yamaguchi, H. 1998. Antisporulating and respiration-inhibitory effects of essential oils on filamentous fungi. Mycoses. 41(9-10):403-10. 10.1111/j.1439-0507.1998.tb00361.x.
- 13 Kagezi, G. H.; Kucel, P.; Olal, S.; Pinard, F.; Seruyange, J.; Musoli, P. and Kangire, A. 2015. *In vitro* inhibitory effect of selected fungicides on mycelial growth of ambrosia fungus associated with the black coffee twig borer, *Xylosandrus compactus* Eichhoff (Coleoptera: curculionidae) in Uganda. African Journal of Agricultural Research. 10(23):2322-2328. 10.5897/ajar12.1705. <https://academicjournals.org/journal/AJAR/article-full-text/D7529FA53326>.
- 14 Karalija, E.; Dahija, S.; Tarkowski, P. and #avar-Zeljko, S. 2022. Influence of climate-related environmental stresses on economically important essential oils of mediterranean *Salvia* sp. Frontiers in Plant Science. 13:864807. Doi: 10.3389/fpls.2022.864807. <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2022.864807/full>.
- 15 Köppen, W. 1948. Climatología: con un estudio de los climas de la tierra. Fondo de Cultura Económica (FCE). México, DF. 479 p. https://books.google.com.mx/books/about/Climatolog%C3%ADa.html?id=kA-IGwAACAAJ&redir_esc=y.
- 16 López, L. E.; Peña M. G. O.; Colinas L. M. T.; Diaz, C. F. y Serrato, C. M. A. 2018. Fungistasis del aceite esencial extraído de una población de *Tagetes lucida* de Hidalgo, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 9(2):329-341. 10.29312/remexca.v9i2.1075. <https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S2007-09342018000200329>.
- 17 Mwamburi, L. A.; Laing, M. D. and Miller, R. M. 2015. Effect of surfactants and temperature on germination and vegetative growth of *Beauveria bassiana*. Brazilian Journal of Microbiology. 46(1):67-74. 10.1590/s1517-838246120131077. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4512050/>.
- 18 Omer, E. A.; Hendawy, S. F.; El-Deen, A. M. N.; Zaki, F. N.; Abd-Elgawad, M. M.; Kandeel, A. M. and Ismail, R.F. 2015. Some biological activities of *Tagetes lucida* plant cultivated in Egypt. Advances in Environmental Biology. 9(2):82-88. <https://www.researchgate.net/publication/309111820-Some-biological-activities-of-Tagetes-lucida-plant-cultivated-in-Egypt>.
- 19 Rammanee, K. and Hongpattarakere, T. 2011. Effects of tropical citrus essential oils on growth, aflatoxin production, and ultrastructure alterations of *Aspergillus flavus* and *Aspergillus parasiticus*. Food and Bioprocess Technology. 4:1050-1059. 10.1007/s11947-010-0507-1. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11947-010-0507-1#citeas>.
- 20 Rasooli, I.; Rezaei, M. B. and Allameh, A. 2006. Growth inhibition and morphological alterations of *Aspergillus niger* by essential oils from *Thymus eriocalyx* and *Thymus x-porlock*. Food Control. 17(5):359-364. 10.1016/j.foodcont.2004.12.002. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956713505000162>.
- 21 Regalado, E. L.; Fernández, M. D.; Pino, J. A.; Mendiola, J. and Echemendia, O. A. 2011. Chemical composition and biological properties of the leaf essential oil of *Tagetes lucida* Cav from Cuba . Journal of Essential Oil Research. 23(5):63-67. 10.1080/10412905.2011.9700485. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10412905.2011.9700485>.
- 22 Rodríguez, A. M.; Alcaraz, M. L. y Real, C. S. M. 2012. Procedimientos para la extracción de aceites esenciales en plantas aromáticas. SAGARPA-CONACYT. México, DF. 47 p.
- 23 SAS Institute Inc. 2023. SAS® OnDemand for Academics. <https://www.sas.com/es-mx/software/on-demand-for-academics.html>.

- 24 Serrato, C. M. A. 2014. El recurso genético cempoalxóchitl (*Tagetes* spp.) de México (Diagnóstico). México, DF. 185 p.
- 25 Sinclair, C. G. and Cantero, D. 1989. Fermentation modelling. *In*: fermentation a practical approach. McNeil, B. L. and Harvey, M. (Eds.). IRL Press, New York. 65-112 pp. <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/2077/3209>.
- 26 Soyulu, E. M.; Kurt, #. and Soyulu, S. 2010. *In vitro* and *in vivo* antifungal activities of the essential oils of various plants against tomato grey mould disease agent *Botrytis cinerea*. International Journal of Food Microbiology. 143(3):183-189. 10.1016/j.ijfoodmicro.2010.08.015. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168160510004757>.
- 27 Tan#inová, D.; Mašková, Z.; Mendelová, A.; Foltinová, D.; Barboráková, Z. and Medo, J. 2022. Antifungal activities of essential oils in vapor phase against *Botrytis cinerea* and their potential to control postharvest strawberry gray mold. Foods. 11(19):2945. Doi.org/10.3390/foods11192945. <https://www.mdpi.com/2304-8158/11/19/2945>.
- 28 Torres-Martínez, R.; Moreno-León, A.; García-Rodríguez, Y. M.; Hernández-Delgado, T.; Delgado-Lamas, G. and Espinosa-García, F. J. 2022. *Tagetes lucida* Cav. essential oil and the mixture of its main compounds are antibacterial and modulate antibiotic resistance in multi-resistant pathogenic bacteria. Letters in Applied Microbiology. 75(2):210-223. 10.1111/lam.1372. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35419861/>.
- 29 Toju, H.; Tanabe, A. S.; Yamamoto, S. and Sato, H. 2012. High-Coverage ITS primers for the DNA-Based identification of Ascomycetes and Basidiomycetes in environmental samples. Plos One. 7(7):1-11. 10.1371/journal.pone.0040863. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0040863>.
- 30 Turner, B. L. 1996. The comps of Mexico: A systematic account of the family Asteraceae, vol. 6. Tageteae and Anthemideae. Phytologia Memoirs. Texensis Publishing. Gruver, Texas, USA. 93 p. https://books.google.com.mx/books/about/The-Comps-of-Mexico-Tageteae-and-Anthemideae.html?id=6gZHAAYAAJ&redir_esc=y.
- 31 Valkovszki, N. J.; Szalóki, T.; Székely, Á.; Kun, Á.; Kolozsvári, I.; Zima, I. S.; Tavaszi-Sárosi, S. and Jancsó, M. 2023. Influence of soil types on the morphology, yield, and essential oil composition of common sage (*Salvia officinalis* L.). Horticulturae. 9(9):1037. 10.3390/horticulturae9091037. <https://www.mdpi.com/2311-7524/9/9/1037>.
- 32 Zarate-Escobedo, J.; Castañeda-González, E. L.; Cuevas-Sánchez, J. A.; Carrillo-Fonseca, C. L.; Ortiz-Torres, C.; Ibarra-Estrada, E. y Serrato-Cruz, M. A. 2018. Aceite esencial de algunas poblaciones de *Tagetes lucida* Cav. de las regiones norte y sur del Estado de México. Revista Fitotecnia Mexicana. 41(2):199-209. 10.35196/rfm.2018.2.199-209. <https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S0187-73802018000200199>.
- 33 Zhao, J.; Quinto, M.; Zakia, F. and Li, D. 2023. Microextraction of essential oils: a review. Journal of Chromatography A. 1708:464357. 10.1016/j.chroma.2023.464357. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021967323005824>.



Compuestos químicos del aceite esencial de *Tagetes lucida* y efecto contra *Botrytis cinerea*

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 December 2024
Date accepted: 01 March 2025
Publication date: 06 May 2025
Publication date: Apr-May 2025
Volume: 16
Issue: 3
Electronic Location Identifier: e3613
DOI: 10.29312/remexca.v16i3.3613

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

Tagetes lucida

B. cinerea

aceite esencial

Counts

Figures: 1

Tables: 4

Equations: 0

References: 33

Pages: 0