



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Instituto de Ciencias Agropecuarias

**MAESTRÍA EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
AGRÍCOLA Y FORESTAL SUSTENTABLE**

TESIS DE MAESTRÍA

**Evaluación del efecto antifúngico de extractos vegetales a
base de *Cosmos bipinnatus* y *Salvia chamaedryoides* frente
a *Fusarium* sp., *Fusarium verticillioides* y *Phytophthora
infestans***

Para obtener el grado de
Maestro en Ciencias y Tecnología Agrícola y Forestal Sustentable

PRESENTA

Ing. Nestor Gildardo León Islas

Director

Dr. Alfredo Madariaga Navarrete

Codirectora

Dra. Josefa Espitia López

Tulancingo de Bravo, Hidalgo a 26 de marzo del 2026.



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Agropecuarias

**MAESTRÍA EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA AGRÍCOLA Y
FORESTAL SUSTENTABLE**

TESIS DE MAESTRÍA

**Evaluación del efecto antifúngico de extractos vegetales a
base de *Cosmos bipinnatus* y *Salvia chamaedryoides* frente
a *Fusarium* sp., *Fusarium verticillioides* y *Phytophthora
infestans***

Para obtener el grado de

Maestro en Ciencias y Tecnología Agrícola y Forestal Sustentable

PRESENTA

Ing. Nestor Gildardo León Islas

Director

Dr. Alfredo Madariaga Navarrete

Codirectora

Dra. Josefa Espitia López

Asesores

Dra. Nallely Rivero Pérez

Dra. Juana Juárez Muñoz

Dr. Cesar Uriel López Palestina



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

Instituto de Ciencias Agropecuarias

School of Forestry and Environmental Studies

Maestría en Ciencias y Tecnología Agrícola y Forestal Sustentable

Master's in Sciences and Technology of Agriculture and Forestry

ICAP-MCTAFS/001/2023

MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR

P R E S E N T E

Por este conducto se le comunica que el Comité Revisor asignado al alumno **Nestor Gildardo León Islas**, de la Maestría en Ciencias y Tecnología Agrícola y Forestal Sustentable, con número de cuenta **357872**, que presenta el manuscrito de tesis titulado "**Evaluación del efecto antifúngico de extractos vegetales a base de *Cosmos bipinnatus* y *Salvia chamaedryoides* frente a *Fusarium* sp., *Fusarium verticillioides* y *Phytophthora infestans***", ha autorizado la impresión del mismo.

Sin otro particular, reitero a Usted la seguridad de mi atenta consideración.

ATENTAMENTE

"Amor, Orden y Progreso"

Tulancingo de Bravo, Hgo. al día 26 de marzo del 2026.

Dr. Sergio Hernández León
Coordinador de la Maestría en
Ciencias y Tecnología Agrícola y
Forestal Sustentable



Dr. Armando Peláez Acero
Director del ICAP



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

Instituto de Ciencias Agropecuarias

School of Forestry and Environmental Studies

Maestría en Ciencias y Tecnología Agrícola y Forestal Sustentable

Master's in Sciences and Technology of Agriculture and Forestry

COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO DEL ICAP

Actas de la reunión del Comité de Tesis de Maestría en Ciencias y Tecnología Agrícola y Forestal Sustentable

Apertura:

La reunión ordinaria para evaluar los avances de la tesis intitulada: "**Evaluación del efecto antifúngico de extractos vegetales a base de *Cosmos bipinnatus* y *Salvia chamaedryoides* frente a *Fusarium* sp., *Fusarium verticillioides* y *Phytophthora infestans***", que desarrolla el estudiante **Nestor Gildardo León Islas**.

Asistentes:

Dr. Alfredo Madariaga Navarrete

Dra. Josefa Espitia López

Dra. Nallely Rivero Perez

Dra. Juana Juárez Muñoz

Dr. Cesar Uriel López Palestina

A. Revisión de Trabajo de Tesis

Observaciones:

El comité revisó con antelación el trabajo de tesis en extenso propuesto por **Nestor Gildardo León Islas**, comunicando al estudiante, realizó oportunamente las correcciones, adiciones y/o modificaciones que debería considerar para mejorar su trabajo y poder continuar con el proceso de obtención de grado. El estudiante atendió de forma conveniente las sugerencias del comité.

B. Acuerdos

En esta fecha, se comunica atentamente que el comité conformado por los profesores firmantes, otorgamos nuestra autorización para que el estudiante imprima su trabajo final de tesis, y continúe con los trámites necesarios para la obtención del grado de maestría respectivo.

ATENTAMENTE
"AMOR, ORDEN Y PROGRESO"
Tulancingo de Bravo, Hidalgo a 26 de marzo de 2026

Dr. Alfredo Madariaga Navarrete

Dra. Josefa Espitia López

Dra. Nallely Rivero Perez

Dra. Juana Juárez Muñoz

Dr. Cesar Uriel López Palestina



Avenida Universidad Km. 1 s/n, Exhacienda Aquetzalpa
Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México; C.P. 42600
Teléfono: 771 71 72000 ext 2430
maestria_agricola_forestal@uaeh.edu.mx



www.uaeh.edu.mx

Agradecimientos

Este trabajo no es solo mío, es fruto de un tejido de voces, abrazos, consejos y acompañamientos que me sostuvieron en cada etapa:

Primero quiero agradecer a quien fue, es y siempre será, agradezco por la vida, la inspiración y la fortaleza que me sostuvieron en este trayecto. Reconozco en esa presencia la fuente de esperanza y de sentido que me permitió perseverar y culminar este trabajo.

A mi familia, especialmente a mis papás y a mis abues, quienes me han apoyado en mis decisiones a lo largo de toda mi vida. A mi hermano y hermana por los consejos y su apoyo incondicional. A Sebas por su compañía, comprensión y amor. Gracias por estar a mi lado en cada etapa de este proceso, por alentarme cuando las fuerzas parecían agotarse y por celebrar conmigo cada pequeño logro.

A mis directores, el Dr. Alfredo y la Dra. Jose, que con gran entusiasmo llevaron a cabo la dirección de este trabajo, por su guía constante, paciencia, exigencia académica y su apoyo incondicional, que me siguen impulsando a crecer como investigador y como persona.

A mis asesores, por sus enseñanzas y el ejemplo de compromiso que me inspiró a mantener la disciplina y el rigor necesarios para concluir este proyecto.

A mis profesores y colegas del área académica de ciencias agrícolas y forestales, especialmente a las Dras. Eliazar Aquino y Mariana Saucedo, gracias por todo el apoyo brindado dentro del laboratorio y por las conversaciones que enriquecieron mi perspectiva.

A mis hermanos de vida, Álvaro, Tania, Montse, Getzael, Diana, Pili, Gaby, Alex, Bere, Adri... gracias por su apoyo, consejos y compañía, que hicieron de este viaje mucho más llevadero y divertido. Más que amigos son parte de mi familia.

A las chicas y chicos a quienes conocí dentro de los laboratorios, que vinieron a mí buscando consejo (y aún lo hacen). Gracias por creer en mí incluso cuando yo no podía.

Al Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, por los espacios y equipo brindados para realizar mi trabajo y por educarme desde hace 10 años dentro de sus muros.

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo brindado gracias a la beca con No. de apoyo 4021387.

Y en general a todas las personas que, de manera silenciosa o evidente, estuvieron presentes: gracias por ser parte de esta sinfonía de esfuerzos, por ser catalizadores de mis procesos y por recordarme que la ciencia, como la vida, se construye en comunidad.

Índice general

Resumen.....	I
Abstract.....	III
1. Introducción.....	1
2. Fundamentos teóricos	3
2.1. Sector agrícola.....	3
2.2. Importancia y producción en el sector agrícola	3
2.2.1. Cultivo de jitomate	3
2.2.2. Cultivo de maíz	3
2.2.3. Cultivo de papa	4
2.3. Enfermedades ocasionadas por agentes fitopatógenos.....	4
2.3.1. <i>Fusarium sp.</i>	5
2.3.2. <i>Fusarium verticillioides</i>	6
2.3.3. <i>Phytophthora infestans</i>	6
2.4. Uso de agroquímicos en el control de hongos fitopatógenos.....	7
2.5. Uso de extractos vegetales en el control de hongos fitopatógenos.....	11
2.6. Extractos vegetales a partir de plantas de uso medicinal.	12
2.6.1. Familia Asteraceae	13
<i>Cosmos bipinnatus</i>	13
2.6.2. Familia Lamiaceae	14
<i>Salvia chamaedryoides</i>	14
2.7. Extracción de metabolitos secundarios	15
2.7.1. Extracción asistida por ultrasonido	16
3. Planteamiento del problema.....	18
4. Justificación.....	19
5. Objetivo	20
5.1. Objetivo general	20
5.2. Objetivos específicos.....	20
6. Hipótesis	21
7. Materiales y métodos	22
7.1. Obtención de los extractos	22
7.1.1. <i>Colecta e identificación del material vegetal</i>	22

7.1.2. Secado del material vegetal.....	22
7.1.3. Técnica de extracción	22
7.1.4. Prueba de solubilidad y esterilidad	23
7.2. Actividad antifúngica	24
7.2.1. Material biológico.....	24
7.2.2. Resiembra de cepas	24
7.2.3. Evaluación de actividad antifúngica por método de dilución en agar	25
7.2.4. Análisis estadístico	25
7.3. Determinación cuantitativa de compuestos y capacidad antioxidante..	26
7.3.1. Cuantificación de fenoles y flavonoides totales	26
7.3.2. Determinación de la actividad antioxidante	27
7.3.3. Análisis estadístico	27
7.4. Efecto alelopático	28
7.4.1. Análisis estadístico	28
8. Resultados y discusión	29
8.1. Obtención del extracto	29
8.1.1. Colecta e identificación del material vegetal.....	29
8.1.2. Rendimiento del extracto.....	29
8.1.3. Prueba de solubilidad y esterilidad	30
8.2. Actividad antifúngica	30
8.2.1. Resiembra de cepas	30
8.2.2. Evaluación de actividad antifúngica por método de dilución en agar	32
8.3. Determinación cuantitativa de compuestos y capacidad antioxidante..	40
8.3.1. Cuantificación de fenoles y flavonoides totales	40
8.3.2. Determinación de actividad antioxidante	45
8.4. Efecto alelopático	48
9. Conclusión	50
Referencias	51

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación de los principales fungicidas y sus modos de acción.	9
Tabla 2. Rendimiento de los extractos hidroalcohólicos de <i>Cosmos bipinnatus</i> y <i>Salvia chamaedryoides</i>	29
Tabla 3. Porcentaje de inhibición del crecimiento de <i>Fusarium</i> sp., <i>Fusarium verticillioides</i> y <i>Phytophthora infestans</i> , utilizando como tratamiento tres concentraciones de extracto hidroalcohólico de <i>Salvia chamaedryoides</i>	34
Tabla 4. Porcentaje de inhibición del crecimiento de <i>Fusarium</i> sp., <i>Fusarium verticillioides</i> y <i>Phytophthora infestans</i> , utilizando como tratamiento tres concentraciones de extracto hidroalcohólico de <i>Cosmos bipinnatus</i>	38

Resumen

Las enfermedades fúngicas ocasionadas por fitopatógenos, como *Fusarium* y *Phytophthora infestans*, representan una amenaza significativa para la producción de cultivos básicos como tomate, maíz y papa. Si bien los métodos convencionales de control químico han demostrado eficacia, su aplicación conlleva riesgos ambientales y de salud pública, lo que ha impulsado la búsqueda de alternativas sostenibles y seguras. En este contexto, los extractos vegetales se perfilan como opciones prometedoras para el manejo fitosanitario.

En el presente estudio se evaluó *in vitro* la actividad antifúngica de extractos obtenidos de la parte aérea de *Salvia chamaedryoides* y *Cosmos bipinnatus*, mediante maceración asistida por ultrasonido. La actividad antifúngica se determinó a través de la técnica de dilución en agar, mientras que el contenido de compuestos fenólicos y flavonoides se cuantificó mediante los métodos de Folin-Ciocalteu y cloruro de aluminio, respectivamente. Asimismo, se evaluó la capacidad antioxidante por los ensayos DPPH y ABTS, y se analizó el efecto alelopático del extracto con mayor actividad antifúngica.

Los resultados mostraron que el extracto de *Salvia chamaedryoides* presentó un efecto fungistático superior ($80.44 \pm 1.37\%$ de inhibición) al de *Cosmos bipinnatus* ($45.84 \pm 0.98\%$ de inhibición) a una concentración de 100 mg/mL, particularmente frente a *Phytophthora infestans*. Además, este extracto exhibió mayores concentraciones de compuestos fenólicos (90.53 mg EAG/g) y flavonoides (82.43 mg EQ/g), en comparación con *Cosmos bipinnatus* (56.87 mg EAG/g y 55.02 mg EQ/g respectivamente). De igual manera, la capacidad antioxidante observada por los métodos DPPH y ABTS fue ligeramente superior en *Salvia chamaedryoides* (170.38 mg Trolox/g y 60.20 mg Trolox/g respectivamente) en comparación a *Cosmos bipinnatus* (162.23 mg Trolox/g y 58.12 mg Trolox/g respectivamente).

Finalmente, la prueba de efecto alelopático realizada al extracto de *Salvia chamaedryoides* evidenció que, de las tres concentraciones evaluadas (25, 50 y 100 mg/mL), la menor actividad se observó en 25 mg/mL, mientras que a mayor

concentración se incrementó la inhibición de la germinación de semillas de jitomate. Estos hallazgos consolidan el potencial de *Salvia chamaedryoides* como alternativa ecológica para el control de enfermedades fúngicas en cultivos agrícolas, al demostrar su potencial fungistático.

Palabras clave: *Fusarium*, *Phytophthora infestans*, extractos vegetales, *Cosmos bipinnatus*, *Salvia chamaedryoides*, hongos fitopatógenos.

Abstract

Fungal diseases caused by phytopathogens such as *Fusarium* and *Phytophthora infestans* pose a significant threat to the production of staple crops such as tomatoes, corn, and potatoes. Although conventional chemical control methods have proven effective, their use carries environmental and public health risks, which has prompted the search for sustainable and safe alternatives. In this context, plant extracts are emerging as promising options for phytosanitary management.

In the present study, the antifungal activity of extracts obtained from the aerial parts of *Salvia chamaedryoides* and *Cosmos bipinnatus* was evaluated *in vitro* using ultrasound-assisted maceration. Antifungal activity was determined using the agar dilution technique, while the content of phenolic compounds and flavonoids was quantified using the Folin-Ciocalteu and aluminum chloride methods, respectively. Antioxidant capacity was also evaluated using the DPPH and ABTS assays, and the allelopathic effect of the extract with the highest antifungal activity was analyzed.

The results showed that the *Salvia chamaedryoides* extract had a higher fungistatic effect ($80.44 \pm 1.37\%$ inhibition) than *Cosmos bipinnatus* ($45.84 \pm 0.98\%$ inhibition) at a concentration of 100 mg/mL, particularly against *Phytophthora infestans*. In addition, this extract exhibited higher concentrations of phenolic compounds (90.53 mg EAG/g) and flavonoids (82.43 mg EQ/g) compared to *Cosmos bipinnatus* (56.87 mg EAG/g and 55.02 mg EQ/g, respectively). Similarly, the antioxidant capacity observed by the DPPH and ABTS methods was slightly higher in *Salvia chamaedryoides* (170.38 mg Trolox/g and 60.20 mg Trolox/g, respectively) compared to *Cosmos bipinnatus* (162.23 mg Trolox/g and 58.12 mg Trolox/g, respectively).

Finally, the allelopathic effect test performed on the *Salvia chamaedryoides* extract showed that, of the three concentrations evaluated (25, 50, and 100 mg/mL), the lowest activity was observed at 25 mg/mL, while at higher concentrations, the inhibition of tomato seed germination increased. These findings consolidate the

potential of *Salvia chamaedryoides* as an ecological alternative for the control of fungal diseases in agricultural crops, demonstrating its fungistatic potential.

Keywords: *Fusarium*, *Phytophthora infestans*, plant extracts, *Cosmos bipinnatus*, *Salvia chamaedryoides*, phyto-pathogenic fungi.

1. Introducción

La agricultura en México ha sido, desde tiempos prehispánicos, uno de los pilares fundamentales para el desarrollo económico, social y cultural del país. A lo largo de la historia, los sistemas agrícolas han permitido no solo la subsistencia de las comunidades, sino también la consolidación de México como un actor relevante en la producción de alimentos a nivel mundial. En la actualidad, la agricultura continúa siendo un sector estratégico, pues contribuye significativamente al Producto Interno Bruto y constituye la base de la seguridad alimentaria nacional (Ramírez Juárez, 2022; SADER, 2020a).

Entre los cultivos de mayor importancia en el mercado mexicano destacan el maíz (*Zea mays*), el jitomate (*Solanum lycopersicum*) y la papa (*Solanum tuberosum*) los cuales se encuentran en el 6°, 7° y 31° lugar respectivamente en cuanto a producción en el país. El maíz, considerado un símbolo de identidad cultural, es el cereal más cultivado en el país y representa un insumo esencial en la dieta de la población (SADER, 2021). El jitomate, por su parte, se posiciona como uno de los principales productos hortícolas de exportación (Montaño Méndez et al., 2021; SADER, 2022), mientras que la papa ocupa un lugar relevante en la alimentación y en la industria agroalimentaria (Cobos Mora et al., 2022; SADER, 2020b). La producción de estos cultivos refleja la diversidad y riqueza agrícola de México, pero también enfrenta retos significativos que amenazan su rendimiento y calidad.

Uno de los principales desafíos en la producción agrícola es la incidencia de enfermedades ocasionadas por hongos fitopatógenos. En el caso del jitomate, especies del género *Fusarium* provocan marchitez vascular y pérdidas considerables en la productividad (Colak-Ates et al., 2019). En la papa, *Phytophthora infestans* es responsable del tizón tardío, una de las enfermedades más devastadoras que históricamente ha ocasionado crisis alimentarias (Yuen, 2021). Por su parte, en el cultivo de maíz, *Fusarium verticillioides* genera pudriciones y la producción de micotoxinas, afectando tanto la calidad del grano como la salud de los consumidores (De la Torre-Hernández et al., 2014). Estas

problemáticas evidencian la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas frente a los patógenos y la necesidad de estrategias de control efectivas.

Tradicionalmente, el manejo de estas enfermedades se ha basado en el uso intensivo de agroquímicos (Zepeda-Jazo, 2018). Sin embargo, su aplicación indiscriminada ha generado consecuencias negativas tanto para la salud pública como para el medio ambiente, incluyendo la contaminación de suelos y aguas, la afectación de organismos benéficos y la aparición de resistencia en patógenos (Guzmán-Plazola et al., 2016; Meléndez et al., 2019). Ante este panorama, resulta indispensable explorar alternativas sostenibles que permitan reducir la dependencia de insumos químicos y promover prácticas agrícolas más seguras.

En este contexto, los extractos vegetales se han consolidado como una opción prometedora para el control de enfermedades agrícolas. Diversas plantas medicinales poseen compuestos bioactivos con propiedades antifúngicas y antioxidantes, capaces de inhibir el crecimiento de patógenos y contribuir a la protección de los cultivos (Mesa et al., 2019). Entre ellas, plantas del género *Salvia* y *Cosmos* destacan por su riqueza en metabolitos secundarios, como fenoles y flavonoides, que han mostrado potencial antimicrobiano (Ben Akacha et al., 2024; Olajuyigbe & Ashafa, 2014a). Sin embargo, se desconoce el potencial que albergan especies locales como *Salvia chamaedryoides* o *Cosmos bipinnatus* para el control de microorganismos fitopatógenos y como posible alternativa sustentable al uso de agroquímicos.

En este trabajo se evaluó la actividad antifúngica, la capacidad antioxidante y el efecto alelopático de extractos vegetales a base de *Salvia chamaedryoides* y *Cosmos bipinnatus*, así como la cuantificación de fenoles y flavonoides.

2. Fundamentos teóricos

2.1. Sector agrícola

La agricultura en México es un sector vital, tanto histórica como económicamente, que ha sustentado la economía y cultura del país desde tiempos prehispánicos. Durante la época colonial se introdujeron cultivos europeos como trigo, caña de azúcar y cítricos, ampliando la diversidad productiva (Sánchez Verín, 2018). En México el sector agrícola es el sector con mayor producción a nivel nacional, con el 90.9% de la producción agropecuaria y pesquera total, lo que equivale a una generación de 922 mil millones de pesos. Esta producción se traduce en 20 millones de hectáreas cultivadas de las 23.4 millones de hectáreas destinadas a la agricultura (SIAP, 2024). Sin embargo, enfrenta retos como el cambio climático, presión sobre recursos hídricos, alta presencia de plagas y enfermedades resistentes a agroquímicos, etc. (Pio Martínez, 2021). Por lo que es necesario fortalecer la soberanía alimentaria mediante la aplicación de nuevas tecnologías.

2.2. Importancia y producción en el sector agrícola

2.2.1. Cultivo de jitomate

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) o también conocido como tomate rojo, es una de las hortalizas más consumidas a nivel mundial, esto debido a sus múltiples aplicaciones, principalmente en el sector gastronómico. En 2024, México se posicionaba como el 7° productor mundial de jitomate, con una producción total de 3,636,927 toneladas, de las cuales el Estado de Sinaloa produjo el 19.57% con una producción de 712,013 toneladas. Entre las principales variedades cultivadas se encuentran saladette, bola, coctel, uva y cherry (Gerszberg et al., 2014; SIAP, 2024).

2.2.2. Cultivo de maíz

El maíz (*Zea mays* L.) es el grano básico de mayor importancia en México y el mundo, siendo México el centro de origen y de domesticación de este grano. Es un cultivo el cual posee una amplia variedad de colores, siendo los colores amarillo y blanco los más comunes y que están destinados a la industria pecuaria, alimenticia

y al consumo humano (CONABIO, 2025a). Este grano aporta alrededor del 50% de proteína y nutrientes necesarios en la dieta habitual, así como fibra dietética, minerales y grasas (Chan Chan et al., 2021). En 2024, la producción de maíz en México fue de 27,549,918 toneladas, siendo Sinaloa el principal productor, lo que posiciona al país como el 6° productor a nivel mundial (SIAP, 2024).

2.2.3. Cultivo de papa

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es una de las hortalizas más extendidas en el mundo, pues se cultiva en más de 100 países (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2024). Dentro de los beneficios de esta hortaliza se encuentra su aporte de carbohidratos, proteínas, vitaminas A, B y C, y minerales como potasio y fósforo. Debido a su versatilidad y valor nutricional la hacen un hortaliza clave en estrategias de seguridad alimentaria (Mejía Méndez & Castellanos Suárez, 2018). Para el 2024 la producción de papa en México fue de 1,986,199 toneladas, teniendo como principal productor al estado de Sonora, lo que posiciona al país como el 31° productor a nivel mundial (SIAP, 2024).

2.3. Enfermedades ocasionadas por agentes fitopatógenos

Las enfermedades son alteraciones en la fisiología de la planta causados condiciones medioambientales o microorganismos conocidos como fitopatógenos y para que esta se pueda manifestar son necesarios tres factores (Volcy, 2016):

1. Enfermedad infecciosa: deben existir microorganismos con la capacidad para producir la enfermedad, tal es el caso de hongos, virus, bacterias, nematodos, etc.
2. Planta susceptible: una planta que carece de la capacidad fisiológica de responder ante el ataque de los microorganismos debido a condiciones de estrés causadas por condiciones medioambientales.
3. Ambiente favorable: factores ambientales como temperatura y humedad que permitirán al fitopatógeno causar la enfermedad.

Existen enfermedades en las plantas ocasionadas por agentes fitopatógenos, tal es el caso de los hongos, los cuales pueden llegar a causar tanto pérdidas importantes en los cultivos como efectos fitotóxicos en humanos y animales (Montoya et al.,

2024; Rodríguez-Grimaldo et al., 2023). Cada planta se puede ver afectada por algún tipo de hongo, y cada hongo puede atacar a varios tipos de plantas (Juárez-Becerra et al., 2010).

2.3.1. *Fusarium* sp.

Fusarium sp. es un género de hongos filamentosos de reproducción asexual, caracterizado por la formación de hifas hialinas y septadas. Comprende más de un centenar de especies distintas, ampliamente distribuidas en regiones templadas y tropicales del mundo. Estos organismos suelen aislarse de suelos, agua y diversos sustratos orgánicos en descomposición, desempeñando un papel saprofítico en la naturaleza. Sin embargo, también se reconocen como agentes patógenos de gran relevancia, responsables de enfermedades en plantas tanto silvestres como cultivadas (Montoya et al., 2024).

Diversas especies de *Fusarium* han sido identificadas como patógenos de gran importancia en plantas ocasionando enfermedades, entre las principales se encuentran aquellas como la marchitez vascular y el tizón, las cuales ocasionan síntomas como manchas, pudrición, marchitamiento e incluso la muerte de diferentes estructuras vegetales: hojas, flores, frutos, tallos, granos y, en casos severos, de la planta entera. Estas afecciones pueden manifestarse en cualquier fase del ciclo de desarrollo, desde el crecimiento inicial hasta la etapa de cosecha e incluso después de ésta (Ma et al., 2013).

Se estima que alrededor de 200 especies de plantas son susceptibles al daño por este hongo, de las cuales aproximadamente 80 corresponden a cultivos de importancia económica. Estas afecciones pueden manifestarse en cualquier etapa del ciclo de vida de la planta, antes, durante o después de la cosecha, lo que resalta su impacto en la agricultura y la producción alimentaria (Armer et al., 2024).

Entre las estrategias aplicadas para controlar a *Fusarium* se incluyen el saneamiento de los campos, la desinfección de herramientas agrícolas antes de utilizarlas en áreas libres de infección, así como prácticas culturales como la eliminación y destrucción total de las plantas afectadas. También se recomienda el empleo de semillas certificadas, libres de patógenos. Una vez que el hongo penetra

en la planta a través de las raíces, coloniza el sistema vascular y altera los vasos del xilema responsables de transportar agua, lo que genera síntomas de marchitez, retraso en el crecimiento y clorosis en las hojas. Los tejidos vasculares infectados adquieren tonalidades marrones o negras y, finalmente, la planta muere. Durante este proceso de infección, los miembros del género secretan micotoxinas, proteínas y enzimas capaces de degradar la pared celular vegetal, intensificando el daño (Joshi, 2018; Zuriegat et al., 2021).

2.3.2. *Fusarium verticillioides*

Fusarium verticillioides es un hongo filamentoso perteneciente al filo *Ascomycota*, clase *Sordariomycetes*, orden *Hypocreales* y familia *Nectriaceae* (SADER, 2017). Tradicionalmente fue considerado dentro de los “hongos imperfectos” o *Deuteromycota*, debido a que no se conocía su fase sexual (De la Torre-Hernández et al., 2014), sin embargo, los avances en estudios moleculares y filogenéticos han permitido ubicarlo con mayor precisión dentro de los ascomicetos. Este organismo forma parte de un género diverso y ampliamente distribuido en suelos y ambientes agrícolas, con numerosas especies reconocidas por su capacidad de actuar como patógenos en plantas de importancia económica, especialmente en cultivos de cereales como el maíz, donde *Fusarium verticillioides* es uno de los agentes más relevantes por su asociación con enfermedades y producción de micotoxinas (Solórzano-Solórzano et al., 2024).

Este hongo se relaciona principalmente con el cultivo de maíz, donde invade raíces, tallos y mazorcas. Esta colonización provoca diversas enfermedades, entre ellas la podredumbre de la mazorca y la podredumbre del tallo, que pueden llegar a ocasionar la pérdida total de la planta (Omotayo & Babalola, 2023).

2.3.3. *Phytophthora infestans*

Phytophthora infestans es un organismo eucariota perteneciente al grupo de los Oomicetos y de la familia *Peronosporaceae*. Este patógeno es el agente causal del tizón tardío de la papa y otras solanáceas, enfermedad de gran impacto histórico y agrícola, responsable de pérdidas significativas en cultivos y de eventos como la Gran Hambruna Irlandesa en el siglo XIX (Savary et al., 2017). Con origen en la

región central de México o en Sudamérica, esta enfermedad se ha extendido ampliamente y hoy está presente en casi todos los países líderes en la producción de papa, entre ellos Estados Unidos, Canadá, China e India (Fry, 2016; Fry et al., 2015).

Las especies de *Phytophthora* atraviesan diversas fases celulares a lo largo de su ciclo de infección entre ellas, los esporangios multinucleados y las zoosporas móviles uninucleadas constituyen las principales estructuras de dispersión. En el caso de *Phytophthora infestans*, los esporangios que se desarrollan en las partes aéreas de la planta pueden ser transportados por el viento o el agua hacia nuevos hospederos, donde germinan directamente o liberan zoosporas para iniciar el proceso infeccioso (Blancard, 2012). Estas zoosporas pierden sus flagelos y sintetizan una pared celular, transformándose en quistes que germinan en pocas horas. Posteriormente, penetran el tejido vegetal a través de aberturas naturales como los estomas, o bien mediante la formación de un tubo germinal engrosado semejante a un apresorio, bajo el cual ocurre la invasión de las células epidérmicas (Delesma-Morales et al., 2019). Tras la penetración, se origina una vesícula de infección primaria de la que emergen hifas que se ramifican en el tejido del hospedador, luego crecen de manera intercelular y desarrollan haustorios digitiformes que se proyectan hacia las células vegetales. Los haustorios establecen una interacción íntima con la célula huésped, degradando su pared, pero manteniendo intacta la membrana plasmática, lo que facilita el intercambio molecular entre el patógeno y la célula viva (Avrova et al., 2008).

Actualmente, esta enfermedad continúa siendo la principal limitante para la producción mundial de papa y constituye una seria amenaza para la seguridad alimentaria global, principalmente en regiones subdesarrolladas donde este cultivo representa un alimento básico y esencial para la población (DONG & ZHOU, 2022).

2.4. Uso de agroquímicos en el control de hongos fitopatógenos

El inicio del siglo XX marcó un punto de inflexión en el desarrollo científico y tecnológico de la humanidad, transformando profundamente la relación entre las sociedades humanas y el entorno natural (Zepeda Jazo, 2018). En este contexto de

avances, los hongos emergen como el grupo más numeroso y diverso de patógenos vegetales, responsables de una amplia gama de enfermedades que van desde manchas foliares hasta la marchitez vascular y la muerte de la planta, con una estimación de entre 8,000 y 10,000 especies capaces de afectar los cultivos (SMEAP México, 2024).

Entre los avances más significativos se encuentra la creación de un vasto repertorio de compuestos químicos que, en su momento, permitieron incrementar de manera notable los rendimientos agrícolas. En la actualidad, los plaguicidas sintéticos continúan siendo herramientas ampliamente utilizadas y eficaces en el manejo de plagas y enfermedades vegetales.

Tabla 1. Clasificación de los principales fungicidas y sus modos de acción.

Clasificación	Tipo	Modo de acción / características	Ventajas	Desventajas / Riesgos	Ejemplos / Aplicaciones
Según el modo de acción en la planta	Fungicidas de contacto	Actúan en la superficie formando una barrera protectora. No penetran tejidos.	Acción rápida, amplio espectro, baja toxicidad.	Solo protegen superficie, se lavan con lluvia, requieren aplicaciones frecuentes.	Prevención de infecciones en hojas y tallos.
	Fungicidas translaminares	Penetran la cutícula y se redistribuyen en el tejido foliar.	Protección interna y externa, efecto preventivo y curativo, durabilidad.	Más costosos, riesgo de resistencia, mayor impacto ambiental.	Control de enfermedades foliares persistentes.
	Fungicidas sistémicos	Absorbidos y distribuidos por tejidos vasculares.	Protección integral, acción preventiva y curativa, mayor duración.	Alto costo, riesgo de resistencia, efectos ambientales y en salud.	Tratamiento de infecciones establecidas en todo el cultivo.
Según su movilidad en la planta	Movilidad local	Se mueven solo en células cercanas al punto de aplicación.	Control localizado.	No protegen crecimiento nuevo.	Infecciones puntuales en hojas o tallos.
	Movilidad acropétala	Se desplazan hacia partes superiores vía xilema.	Protegen nuevo crecimiento, previenen propagación ascendente.	Riesgo de resistencia.	Triazoles como tebuconazol.

Según el sitio de acción específico	Movilidad basipétala	Se mueven hacia raíces vía floema.	Útiles para proteger raíces y base.	Menor eficacia en brotes nuevos.	Aplicaciones específicas en raíces.
	Inhibición de la respiración	Bloquean cadena de transporte de electrones en mitocondrias.	Amplio espectro.	Uso repetido → resistencia.	Estrobilurinas como azoxistrobina.
	Interferencia en biosíntesis de esteroides	Inhiben síntesis de componentes de membrana.	Control efectivo de enfermedades foliares y radiculares.	Riesgo de resistencia.	Triazoles como propiconazol.
	Inhibición de síntesis de ácidos nucleicos y proteínas	Bloquean ADN, ARN y proteínas.	Control integrado, previenen resistencia.	Uso limitado por toxicidad.	Anilino-pirimidinas como ciprodinil.
	Alteración de la membrana celular	Comprometen integridad de membrana → muerte celular.	Amplio espectro, útiles en programas de resistencia.	Posible toxicidad ambiental.	Fludioxonil.
	Inducción de defensas en la planta	Estimulan defensas naturales de la planta.	Reducen dependencia de químicos.	Menor eficacia directa contra patógenos.	BTH (benzo-tiadiazol).

SMEAP México, 2024.

No obstante, el empleo de fungicidas de origen sintético ha despertado una creciente inquietud entre los consumidores, ya que su aplicación se encuentra cada vez más limitada. Esto se debe a los riesgos asociados, como su potencial efecto cancerígeno, la persistencia de residuos tóxicos, el impacto ambiental reflejado en la pérdida de biodiversidad y la contaminación del suelo, además de la generación de resistencia en los microorganismos (Mesa et al., 2019).

Estas problemáticas han impulsado la búsqueda de estrategias más sostenibles y seguras para el manejo fitosanitario, particularmente en el control de hongos fitopatógenos como los del género *Fusarium* y *Peronosporaceae*.

2.5. Uso de extractos vegetales en el control de hongos fitopatógenos

En los últimos años, el empleo de extractos vegetales con actividad antifúngica ha adquirido una creciente importancia como estrategia sostenible frente al uso intensivo de agroquímicos en el manejo fitosanitario. Numerosas especies vegetales poseen metabolitos secundarios con propiedades antimicrobianas, los cuales han demostrado capacidad para interferir en procesos clave del ciclo de vida de los hongos fitopatógenos, como el crecimiento micelial, la esporulación y la germinación de esporas. Esta alternativa representa una vía prometedora para el desarrollo de formulaciones menos tóxicas y ambientalmente compatibles, en el contexto de una agricultura más responsable y resiliente (Mesa et al., 2019).

Los compuestos bioactivos presentes en extractos vegetales ejercen su acción antifúngica a través de diversos mecanismos, entre los que destacan la interferencia en la síntesis de la pared celular de los hongos, la alteración de la permeabilidad de sus membranas y la inhibición de enzimas esenciales para su metabolismo (Jan et al., 2021; Twaij & Hasan, 2022). Dentro de los metabolitos secundarios más investigados se encuentran los fenoles, flavonoides, aceites esenciales, alcaloides, terpenos y saponinas, los cuales han demostrado efectos fungistáticos (aquellos que inhiben el crecimiento) y fungicidas (eliminan los patógenos fúngicos) en múltiples estudios *in vitro* (Graybill et al., 1997; Villa-Martínez et al., 2014). Estas propiedades los posicionan como candidatos prometedores en el desarrollo de alternativas fitosanitarias más seguras y ambientalmente responsables.

2.6. Extractos vegetales a partir de plantas de uso medicinal.

El empleo de plantas con fines terapéuticos ya sea para tratar, prevenir o aliviar diversas enfermedades, constituye una de las prácticas médicas más antiguas en la historia de la humanidad (Mavunge Carlos et al., 2023). A lo largo del tiempo, esta tradición ha adquirido una relevancia creciente, tanto en contextos culturales como científicos. De acuerdo con estimaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), cerca del 80 % de la población mundial recurre al uso de hierbas medicinales como recurso para mitigar síntomas dolorosos o molestos, lo que evidencia su vigencia y valor en la atención primaria de la salud (Rosa et al., 2011)

México posee una notable riqueza en flora medicinal, reconocida por instituciones como la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Según registros del Instituto Mexicano del Seguro Social, se han identificado aproximadamente 3,000 especies vegetales con propiedades terapéuticas, de un estimado total de 4,000 especies medicinales presentes en el país, lo que representa cerca del 15 % de la diversidad vegetal nacional. Sin embargo, únicamente el 5 % de estas plantas ha sido objeto de estudios farmacológicos detallados (SEMARNAT, 2021). De este conjunto, alrededor de 250 especies se comercializan de forma habitual, aunque el 85 % de ellas se recolecta directamente del medio silvestre sin planes de manejo sustentable. Además, se estima que el 80 % de la población mexicana ha utilizado alguna de estas plantas con fines medicinales, lo que evidencia su relevancia cultural, social y económica (Villavicencio Nieto & Pérez Escandón, 2013).

El estudio de extractos obtenidos a partir de plantas medicinales constituye una estrategia fundamental para identificar compuestos bioactivos con potencial terapéutico y aplicaciones en la biotecnología. Sin embargo, para comprender mejor la diversidad química y funcional de dichos extractos, resulta necesario situarlos en el contexto taxonómico de las familias botánicas que concentran una amplia variedad de especies medicinales.

2.6.1. Familia Asteraceae

La familia *Asteraceae*, considerada una de las más extensas entre las plantas con flores, comprende más de 1,600 géneros y alrededor de 2,500 especies distribuidas globalmente. A lo largo de la historia, diversas especies de esta familia han sido empleadas tanto en la alimentación como en la medicina tradicional, debido a sus reconocidas propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas, además de efectos diuréticos y cicatrizantes. Estas actividades farmacológicas se atribuyen a la presencia de una amplia variedad de compuestos fitoquímicos, entre los que destacan los polifenoles, ácidos fenólicos, flavonoides, acetilenos y triterpenos, los cuales han sido objeto de múltiples estudios por su potencial terapéutico y biotecnológico (Rolnik & Olas, 2021).

Cosmos bipinnatus

México concentra el 94 % de la diversidad mundial del género *Cosmos*, con una notable presencia en estados como Durango, Guerrero, Jalisco y el Estado de México. Esta amplia distribución, junto con la riqueza de especies endémicas, convierte al país en un referente clave para el estudio de las propiedades bioactivas y el potencial terapéutico de estas plantas. En particular, el Estado de México se perfila como una región estratégica para la investigación científica orientada al aprovechamiento sustentable de sus recursos fitogenéticos (Vargas-Amado et al., 2013) .

En el contexto de la medicina tradicional mexicana, diversas especies vegetales han sido empleadas para tratar una amplia gama de afecciones, entre ellas, ciertas plantas del género *Cosmos*. Tal es el caso de *Cosmos bipinnatus*, pues esta destaca por su uso como hepatoprotector y como remedio para dolencias como cefaleas, ictericia, fiebre palúdica intermitente, esplenomegalia y trastornos digestivos como la flatulencia (Ahuayo et al., 2025). Además, se ha documentado su aplicación como agentes antiinflamatorios y antifúngicos, con evidencia de su eficacia en el tratamiento de enfermedades crónicas como la artritis, las úlceras gástricas y la diabetes mellitus (Kulichenko et al., 2022).

Estos efectos son dados por la presencia de los compuestos fitoquímicos o metabolitos secundarios producidos por la planta, de la cual destacan principalmente fenoles. De igual manera contiene helianol, un compuesto con actividad antiinflamatoria el cual resalta su importancia farmacológica (I.-C. Jang et al., 2008).

2.6.2. *Familia Lamiaceae*

En años recientes, la creciente preocupación por los efectos adversos asociados al uso prolongado de fármacos sintéticos ha impulsado el interés por las plantas medicinales como fuentes confiables para el desarrollo de nuevas alternativas terapéuticas. El dolor, considerado un problema de salud pública a nivel global, impacta significativamente la calidad de vida de millones de personas y representa una carga económica considerable para los sistemas de salud, posicionándose como uno de los principales desafíos de la medicina contemporánea. En este contexto, se estima que cerca del 80 % de la población mundial recurre a plantas con propiedades analgésicas o anticonceptivas dentro de la medicina tradicional. Entre las familias botánicas con mayor relevancia en este ámbito destaca la *Lamiaceae*, reconocida por su diversidad de especies herbáceas con aplicaciones biológicas y farmacológicas ampliamente documentadas (Uritu et al., 2018). Esta familia, anteriormente denominadas *Labiatae*, posee plantas con flores, arbustos grandes y hierbas y cuenta con una distribución cosmopolita que contiene 236 géneros y que, según se ha especificado, contiene entre 6900 y 7200 especies (Tijitraesmi et al., 2020)

Salvia chamaedryoides

Conocida comúnmente como salvia azul, es una especie nativa de México que ha despertado interés por sus posibles aplicaciones medicinales, aunque su estudio aún es limitado en comparación con otras salvias como *S. officinalis*. Diversos trabajos etnobotánicos han documentado su uso tradicional en regiones del altiplano mexicano para el tratamiento de afecciones respiratorias, digestivas y como tónico general. Fitoquímicamente, se ha identificado la presencia de compuestos fenólicos, flavonoides y terpenoides, los cuales están asociados con

propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas en otras especies del género (Ortega et al., 2024). Si bien estos hallazgos sugieren un potencial terapéutico, es necesario profundizar en estudios farmacológicos y clínicos que validen su eficacia y seguridad, especialmente considerando que su perfil químico aún no ha sido completamente caracterizado ni estandarizado para uso médico formal.

2.7. Extracción de metabolitos secundarios

Los metabolitos secundarios son compuestos orgánicos sintetizados por los organismos, cuya función no está directamente relacionada con los procesos básicos de crecimiento, desarrollo o reproducción. No obstante, en el caso de las plantas, estos compuestos cumplen un papel fundamental en mecanismos de defensa frente a factores bióticos y abióticos. A diferencia de los metabolitos primarios, como los involucrados en la fotosíntesis, la respiración o la síntesis de proteínas, los metabolitos secundarios no son indispensables para la supervivencia inmediata del organismo, pero sí contribuyen significativamente a su adaptación y supervivencia en el entorno (Singh et al., 2023). Las mezclas complejas de metabolitos secundarios presentes en los extractos vegetales contienen una amplia variedad de compuestos químicos, entre los que destacan los mono- y sesquiterpenos, así como alcoholes, aldehídos, cetonas, carbohidratos y éteres. Estos compuestos no solo son responsables de las fragancias características de muchas plantas aromáticas y medicinales, sino que también contribuyen significativamente a sus propiedades biológicas (García Luján et al., 2010). Gracias a esta diversidad fitoquímica, los extractos vegetales han adquirido gran relevancia en múltiples sectores productivos, incluyendo el farmacéutico, cosmético, alimentario y agrícola, donde se valoran tanto por su funcionalidad como por su origen natural y potencial sustentable.

El proceso de extracción de compuestos bioactivos está determinado por diversos factores que influyen directamente en su eficiencia y rendimiento. Entre los más relevantes se encuentran las características de la matriz vegetal que los alberga, la naturaleza química de los metabolitos de interés, así como el tipo y polaridad del

disolvente utilizado. Asimismo, variables operativas como el tiempo de extracción y la temperatura aplicada durante el proceso juegan un papel crucial en la liberación y estabilidad de los compuestos extraídos (B. R. Albuquerque et al., 2021). La adecuada selección y control de estos parámetros es fundamental para optimizar la obtención de principios activos con potencial biológico.

La obtención de compuestos bioactivos a partir de plantas ha sido posible gracias al desarrollo de diversas tecnologías de extracción, tanto convencionales como no convencionales. Entre las técnicas tradicionales más utilizadas destacan la maceración y el método Soxhlet, ampliamente empleados por su simplicidad operativa y por requerir equipamiento accesible. No obstante, estas metodologías presentan limitaciones importantes, como el elevado consumo de disolventes y energía, así como tiempos prolongados de procesamiento, lo que ha motivado la búsqueda de alternativas más eficientes y sostenibles (Li et al., 2019). En contraste con los métodos convencionales, las técnicas de extracción no convencionales o asistidas, como la extracción por ultrasonido y la combinación ultrasonido-microondas, han demostrado ser significativamente más eficientes. Estas tecnologías permiten reducir el volumen de disolvente requerido, acortar los tiempos de procesamiento y disminuir el consumo energético, lo que las convierte en alternativas atractivas para la obtención de compuestos bioactivos en el marco de procesos más sostenibles y técnicamente optimizados (Akhtar et al., 2019).

2.7.1. Extracción asistida por ultrasonido

Entre las tecnologías innovadoras aplicadas a la extracción de fitoquímicos, la sonicación mediante ultrasonido ha cobrado relevancia por su capacidad para reducir los tiempos de procesamiento, mejorar la calidad del extracto y garantizar condiciones más seguras durante la obtención de los compuestos. Esta técnica no solo optimiza la eficiencia del proceso, sino que también potencia las propiedades funcionales de los fitoquímicos extraídos, lo que se traduce en beneficios adicionales cuando se incorporan en productos alimenticios, farmacéuticos o cosméticos (Gamboa Santos et al., 2016).

La técnica de sonicación se basa en el principio de cavitación acústica, fenómeno que implica la formación, expansión y colapso violento de microburbujas en un medio líquido. Este proceso genera efectos mecánicos, químicos y bioquímicos sobre la matriz vegetal, lo que favorece la disrupción celular y mejora significativamente la transferencia de masa. Como resultado, se obtiene una extracción más eficiente, con mayor calidad y en tiempos considerablemente reducidos en comparación con métodos convencionales (J. G. de Albuquerque et al., 2021).

3. Planteamiento del problema

En el sector agrícola los agentes fitopatógenos han sido asociados a enfermedades de gran importancia, afectando a órganos como raíces, hojas, tallos y frutos de las plantas y ocasionando enfermedades como la marchitez vascular, pudrición de raíz o necrosis. Los efectos de estas enfermedades se ven reflejados en aspectos económicos y sanitarios, ocasionando pérdidas a los productores.

El uso constante e indiscriminado de fungicidas de síntesis química para el tratamiento de esta enfermedad ha propiciado la generación de poblaciones fúngicas resistentes a los compuestos activos que se usan comercialmente para su control y/o tratamiento, así como daños tanto a productores como a consumidores y al medio ambiente.

La aplicación de extractos, fracciones o compuestos fitoactivos obtenidos de especies vegetales, se posicionan como una alternativa en el control y tratamiento de distintos microorganismos fitopatógenos, esto debido a la presencia de diferentes grupos de metabolitos secundarios como: terpenos, compuestos fenólicos, flavonoides, saponinas, etc., cuyo efecto en el control de estos ha sido reportado.

4. Justificación

El uso de extractos vegetales ha demostrado ser una alternativa eficiente en el control de enfermedades de tipo fúngico en el sector agrícola debido a la gran variedad de metabolitos secundarios presentes, sin embargo, se desconoce el potencial efecto de las plantas medicinales propias de la región, así como los compuestos presentes en estas y que pudieran tener efecto directo en el control de estos microorganismos (Gobierno de México, 2022).

La realización de esta investigación permitirá contribuir en la búsqueda de alternativas al uso de agroquímicos en el control de enfermedades fitopatógenas partiendo de plantas nativas con potencial antimicrobiano.

5. Objetivo

5.1. Objetivo general

Evaluar el potencial antifúngico de extractos hidroalcohólicos de *Cosmos bipinnatus* y *Salvia chamaedryoides*, mediante pruebas *in vitro* frente a hongos fitopatógenos de relevancia agronómica, para determinar su eficacia como alternativa en el manejo de enfermedades agrícolas.

5.2. Objetivos específicos

1. Evaluar la actividad antifúngica de los extractos hidroalcohólicos sobre el crecimiento de *Fusarium sp.*, *Fusarium verticillioides* y *Phytophthora infestans*.
2. Cuantificar el contenido de fenoles, flavonoides y capacidad antioxidante presentes en los extractos.
3. Evaluar el efecto alelopático *in vitro* del extracto con mejor actividad en semillas de *Solanum lycopersicum*.

6. Hipótesis

Los extractos vegetales de *Cosmos bipinnatus* y *Salvia chamaedryoides* tendrán actividad antifúngica *in vitro*, frente a hongos fitopatógenos de relevancia agronómica.

7. Materiales y métodos

7.1. Obtención de los extractos

La obtención de los extractos se hizo de acuerdo con la metodología reportada por Rivero-Perez et al., 2019, con modificaciones, que a continuación se describe:

7.1.1. Colecta e identificación del material vegetal

La parte aérea de las plantas *Salvia chamaedryoides* y *Cosmos bipinnatus* se colectó en el municipio de Metepec, Hidalgo, México, en la comunidad de Zacatepec (20°23'54''N, -98.37°47'78''O). Para la identificación del material vegetal se consultó el herbario del Centro de Investigaciones Biológicas del Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

7.1.2. Secado del material vegetal

El material vegetal colectado fue lavado con agua corriente y agua destilada estéril, después se extendió en papel a temperatura ambiente hasta que el agua se evaporara por completo y luego se deshidrató con ayuda de una secadora botánica a una temperatura de 35 ± 2 °C, hasta llevar a peso seco constante. Una vez verificada su deshidratación fue triturado mecánicamente en una licuadora semi industrial (Tapisa, M3L) hasta obtener un polvo fino.

7.1.3. Técnica de extracción

Se tomaron 300 g del material vegetal seco y se le agregaron 2400 mL de una solución hidroalcohólica agua: metanol (60:40 v/v), la mezcla se colocó en seis matraces Erlenmeyer de 500 mL y se dejó reposar durante 15 min, después se llevó a baño ultrasónico (Branson, M1800) durante 60 min en intervalos de 30 min, a una frecuencia de 40 kHz y se dejó macerar durante 48 h. Transcurrido el tiempo de maceración, el extracto se filtró utilizando gasa estéril y papel filtro (Whatman® #42) con la finalidad de eliminar la mayor cantidad posible de partículas del material

vegetal. El líquido obtenido fue concentrado a presión reducida en un rotavapor (Büchi R-215, Flawil, Suiza) a una temperatura de 38 ± 2 °C, hasta obtener un extracto espeso, el cual se deshidrató con ayuda de una estufa de secado a una temperatura 35 ± 5 °C hasta llegar a peso seco constante. El extracto semisólido fue conservado en refrigeración a 3°C hasta su posterior evaluación. En la Figura 1 se muestra el proceso llevado a cabo para la obtención de los extractos hidroalcohólicos.

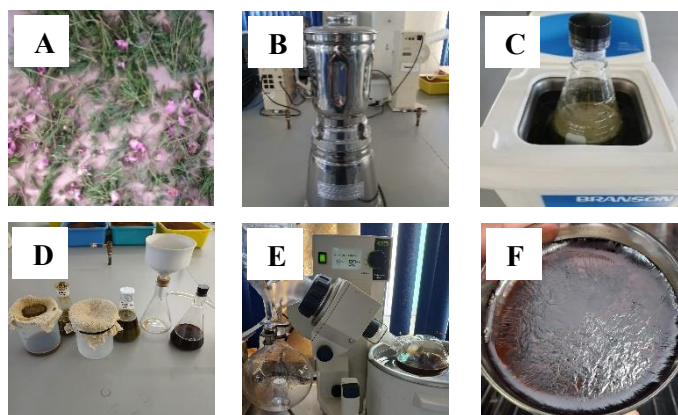


Figura 1. Proceso de obtención de los extractos hidroalcohólicos. A) Secado del material vegetal, B) Triturado de material vegetal seco, C) Extracción por método de ultrasonido, D) Filtrado de macerado, E) Extracción del solvente mediante técnica de concentrado a presión reducida y F) Extracto seco.

El cálculo para determinar el rendimiento de cada extracto se realizó utilizando la siguiente formula (Mesa-Vanegas et al., 2015):

$$\% \text{ Rendimiento del extracto} = \frac{\text{Peso del extracto seco}}{\text{Peso del material vegetal seco}} * 100$$

7.1.4. Prueba de solubilidad y esterilidad

Antes de evaluar los extractos se determinó la solubilidad de estos mediante la técnica reportada por Hernández García et al., 2024. Se tomaron 20 mg de cada extracto y se depositaron en tubos para microcentrifuga estériles y se mezclaron con 1 mL de agua destilada estéril. Una vez diluidos se realizó la prueba de

esterilidad, donde se tomaron 10 μ L de cada muestra y se inocularon en PDA (Papa Dextrosa Agar) (BD Bioxon) para posteriormente llevar a incubar a 28 ± 2 °C durante 24 h.

7.2. Actividad antifúngica

La actividad antifúngica se determinó mediante el método de dilución del extracto en agar, reportado por Hernández, 2023, el cual consistió en diluir diferentes concentraciones de extracto (25, 50 y 100 mg/mL) en medio solido PDA (papa, dextrosa y agar) para luego ser inoculado con los diferentes fitopatógenos (*Fusarium* sp., *Fusarium verticillioides* y *Phytophthora infestans*).

7.2.1. Material biológico

Como material biológico se utilizó una cepa de *Fusarium* sp. aislada de un cultivo de jitomate en la localidad de Tortugas, Metepec, Hidalgo ($20.22^{\circ}76'59''$ N, - $98.35^{\circ}27'10''$ O), la cual fue caracterizada morfológicamente con ayuda del manual de laboratorio de *Fusarium* (J. Leslie & Summerell, 2006) y cepas de referencia de *Phytophthora infestans* y de *Fusarium verticillioides*, las cuales fueron donadas de la colección de material biológico del laboratorio de Química Agrícola del Área Académica de Ciencias Agrícolas y Forestales del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

7.2.2. Resiembra de cepas

Previo a la evaluación de la actividad antifúngica las cepas de *Fusarium* sp., *Phytophthora infestans* y *Fusarium verticillioides* fueron resembradas en cajas Petri que contenían 20 mL de PDA (Papa Dextrosa Agar) (BD Bioxon). Para la resiembra se tomó un explante de 5 mm y se colocó al centro de cada caja Petri. Una vez resembradas, cada caja fue sellada y llevada a incubación a una temperatura de 28 ± 2 °C durante siete días (Hernández, 2023)

7.2.3. Evaluación de actividad antifúngica por método de dilución en agar

Como control negativo se utilizaron cajas Petri que contenían 20 mL de medio de cultivo papa dextrosa agar (PDA), como tratamiento a evaluar se utilizaron cajas con 20 mL de PDA mezclado con cada uno de los extractos a diferentes concentraciones (25, 50 y 100 mg/mL) y como control negativo cajas Petri que contenían 20 mL de PDA mezclado con el fungicida comercial Captan (24 mg/mL). Una vez preparadas cada una de las cajas Petri se tomó de cada cepa reactivada (*Fusarium* sp., *Phytophthora infestans* y *Fusarium verticillioides*) un explante de 5 mm, el cual fue colocado al centro de cada caja Petri. Cada tratamiento se realizó por triplicado. Una vez inoculadas las cajas fueron llevadas a incubación a una temperatura de 28 ± 2 °C por un periodo de 120 h. Durante este tiempo de incubación se midió el crecimiento del micelio (mm) utilizando un vernier digital (Imtiaj et al., 2008), realizando mediciones a las 24, 48, 72, 96 y 120 h. Los resultados obtenidos se expresaron porcentaje de inhibición de crecimiento micelial, donde se utilizó la siguiente formula (Hernández-Soto et al., 2020):

$$\% \text{ Crecimiento} = \left(\frac{T}{C} \right) * 100$$

$$\%IC = 100 - \% \text{ Crecimiento}$$

7.2.4. Análisis estadístico

Para el análisis de los datos obtenidos referentes al porcentaje de inhibición de crecimiento micelial, se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial, un análisis de varianza (ANOVA) y una comparación de medias de Tukey con nivel de significancia del 95% ($p \leq 0.05$). Se utilizó el programa estadístico Minitab® 18 versión 18.1.

7.3. Determinación cuantitativa de compuestos y capacidad antioxidante

7.3.1. Cuantificación de fenoles y flavonoides totales

Para la determinación de fenoles y flavonoides totales se tomaron 30 mg de extracto y se disolvieron en 10 mL de solución hidroalcohólica agua: etanol (60:40 v/v) y se agitó la mezcla por 5 min, pasado este tiempo se llevó a baño ultrasónico (Bransonic, M1800) por 20 min hasta disolver completamente. Una vez disuelto el extracto se colocó en una centrifuga (Thermo Scientific Mod. ST 16R, Germany) y las muestras se centrifugaron a 10,000 rpm durante 15 min para así obtener el sobrenadante (Montaño-Herrera et al., 2022).

El contenido de fenoles totales fue determinado por el método de Folin-Ciocalteu, descrito por (Waterman & Mole, 1994). Se tomaron 0.5 mL del sobrenadante y se mezclaron con 0.5 mL del reactivo Folin-Ciocalteu, luego se agregaron 1.5 mL de una solución de carbonato de sodio al 2% y 2.5 mL de agua destilada estéril. La mezcla se mantuvo en obscuridad durante una hora. Pasado este tiempo se midió la absorbancia a 725 nm con ayuda de un espectrofotómetro (Genesys™ 150 Daly City CA, USA). Los valores obtenidos fueron expresados como miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de extracto (mg EAG/ g extracto).

El contenido de flavonoides se determinó por el método colorimétrico de cloruro de aluminio (AlCl_3) reportado por (Chang et al., 2020). Se tomaron 0.5 mL del sobrenadante y se mezclaron con 2 mL de agua destilada y 0.15 mL de NaNO_2 al 5% y se dejó reposar durante 5 min, luego se añadieron 0.15 mL de $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (10%) y se dejó reposar nuevamente durante 5 min y finalmente se añadió 1 mL de solución de NaOH 1M y se dejó reposar nuevamente durante 15 min en oscuridad. Pasado este tiempo se midió la absorbancia a 415 nm con ayuda de un espectrofotómetro (Genesys™ 150 Daly City CA, USA). Los valores obtenidos

fueron expresados como miligramos equivalentes de quercetina por gramo de extracto (mg EQ/ g extracto).

7.3.2. Determinación de la actividad antioxidante

Para determinar la actividad antioxidante se usó el método del reactivo 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS), de acuerdo con lo reportado por (Re et al., 1999). El reactivo ABTS se preparó siguiendo las siguientes especificaciones: se mezcló ABTS (7 mM) con 10 mL de persulfato de potasio ($K_2S_2O_8$) (2.45 mM) y se agitó por 16 h en oscuridad. Una vez obtenido el reactivo, se mezclaron 100 μ L del sobrenadante con 3 mL de reactivo ABTS y se dejó reposar durante 6 min en oscuridad. Pasado el tiempo se midió la absorbancia a 734 nm con ayuda de un espectrofotómetro (marca). Los valores obtenidos fueron expresados como equivalentes de micromol Trolox por gramo de extracto (μ M Trolox/ g extracto).

Finalmente, para determinar la capacidad antioxidante se usó el método 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) descrito por (Brand-Williams et al., 1995). Se preparó una solución etanólica al 6×10^{-5} M del radical DPPH, el cual se tuvo en agitación constante durante 2 h en ausencia de luz. Luego se tomaron 0.5 mL del sobrenadante y se mezclaron con 2.5 mL de solución DPPH para luego dejarla reposar durante 1 h a $4 \text{ } ^\circ\text{C} \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$. Pasado el tiempo se midió la absorbancia a 517 nm con ayuda de un espectrofotómetro (Genesys™ 150 Daly City CA, USA). Los valores obtenidos fueron expresados como equivalentes de micromol Trolox por gramo de extracto (μ M Trolox/ g extracto).

7.3.3. Análisis estadístico

Para el análisis de los datos obtenidos se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial, un análisis de varianza (ANOVA) y una comparación de medias de Tukey con nivel de significancia del 95% ($p \leq 0.05$). Se utilizó el programa estadístico Minitab® 18 versión 18.1.

7.4. Efecto alelopático

El efecto alelopático se evaluó de acuerdo con la metodología reportada por Santana-Baños et al., 2022a con modificaciones y que a continuación se describe:

Se realizó un ensayo *in vitro* en germinación de semillas de jitomate. Las semillas se desinfectaron superficialmente en una solución de hipoclorito de sodio (NaClO) al 1 % durante 3 min, seguido de tres lavados con abundante agua destilada estéril durante 10 min antes de su uso. Luego las semillas se llevaron a imbibición durante 10 min en tres diferentes concentraciones del extracto: 25, 50 y 100 mg/mL. Posteriormente se colocaron veinte semillas (por tratamiento) dentro de cajas Petri con una capa de papel filtro humedecido con agua destilada esteril. También se preparó un control el cual incluía semillas de jitomate en una caja Petri con 1 mL de agua destilada estéril. Cada tratamiento fue evaluado por triplicado. Una vez preparados los tratamientos, estos se llevaron a incubación a $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 8 días. Se hicieron recuentos diarios, por un periodo de 8 días y se eliminaron las semillas germinadas (se consideraron germinadas las semillas que presentaron raíz primaria igual o mayor de 2 mm).

7.4.1. Análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial, un análisis de varianza (ANOVA) y una comparación de medias de Tukey con nivel de significancia del 95% ($p \leq 0.05$). También se realizó un análisis de confiabilidad o supervivencia por análisis Probit, usando el programa Minitab® 18.

8. Resultados y discusión

8.1. Obtención del extracto

8.1.1. Colecta e identificación del material vegetal

De acuerdo con los datos del herbario se verificó que las muestras corresponden a las plantas *Cosmos bipinnatus* y *Salvia chamaedryoides*.

8.1.2. Rendimiento del extracto

Se determinó que, a partir del material vegetal que fueron 300 g de peso seco para cada planta, se obtuvieron los siguientes rendimientos:

Tabla 2 Rendimiento de los extractos hidroalcohólicos de *Cosmos bipinnatus* y *Salvia chamaedryoides*.

Extracto	Peso (g)	Rendimiento (%)
<i>Cosmos bipinnatus</i>	43 ^a	14.4 ^a
<i>Salvia chamaedryoides</i>	29 ^b	9.6 ^b

^{a, b} Las letras diferentes en las columnas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre el peso y rendimiento de los extractos.

El rendimiento de extracción obtenido en este estudio fue de 14.9% para *Cosmos bipinnatus* y 9.6% para *Salvia chamaedryoides*, utilizando una solución hidroalcohólica agua:metanol (60:40 v/v) y extracción asistida por ultrasonido. Estos valores superan a los reportados en estudios previos, donde se obtuvo un rendimiento de 13.2% a partir de flores de *Cosmos bipinnatus* empleando etanol: agua (40:60 v/v) sin ultrasonido (I. C. Jang et al., 2008), y un 9.3% para *Salvia verticillata* utilizando agua: metanol (40:60 v/v) que tampoco contaba con extracción por ultrasonido (Katanić Stanković et al., 2020). La diferencia observada podría atribuirse al uso de ultrasonido, que mejora la penetración del solvente y la liberación de compuestos bioactivos (J. G. de Albuquerque et al., 2021), así como a

la proporción y tipo de solvente utilizada, que en este caso favoreció una mayor solubilidad de metabolitos secundarios debido a la afinidad de los grupos funcionales presentes en la muestra. Estos resultados destacan la eficiencia del método aplicado y el potencial de ambas especies como fuentes de compuestos de interés biológico.

8.1.3. Prueba de solubilidad y esterilidad

Ambos extractos mostraron una completa solubilidad en agua, lo que asegura una distribución homogénea de los metabolitos y facilita su aplicación en bioensayos. Esta característica es relevante, ya que permite evaluar de manera consistente la actividad biológica sin interferencias derivadas de precipitados o fases separadas (Oliveira et al., 2022). De igual manera, los dos extractos fueron totalmente estériles, lo cual puede atribuirse directamente al potencial efecto antimicrobiano de los compuestos de las plantas y a las condiciones de preparación. La esterilidad garantiza que los resultados obtenidos reflejen únicamente la acción de los compuestos presentes en el extracto, eliminando el riesgo de contaminación microbiana (Ibrahim & Kebede, 2020). En conjunto, estas propiedades refuerzan la confiabilidad del extracto como herramienta experimental y su potencial aplicación en estrategias de manejo fitosanitario

8.2. Actividad antifúngica

8.2.1. Resiembra de cepas

Los resultados del crecimiento de las diferentes cepas se muestran en la Figura 2.

La cepa de *Fusarium* sp. (Figura 2A) mostró, dentro de sus características macroscópicas, una coloración violeta-rojiza de las UFC, con una textura algodonosa y con micelio aéreo abundante. En cuanto a sus características microscópicas se observaron fiálides ramificadas, macroconidios en forma de media luna (falcados), hialinos y septados y microconidios con forma oval. La cepa de *Fusarium* sp. aislada en este estudio presentó características morfológicas que coinciden con las descritas en trabajos previos (López-Bautista et al., 2019; Tapia & Amaro, 2014), lo que sugiere una alta consistencia taxonómica dentro del género. La coincidencia morfológica con estudios anteriores respalda la validez del aislamiento

y su identificación preliminar como *Fusarium* sp., aunque se reconoce que la variabilidad intraespecífica puede dificultar la delimitación taxonómica precisa. Por ello, se sugiere complementar esta caracterización con análisis moleculares para una identificación robusta dentro del género.

La cepa de *Fusarium verticillioides* (Figura 2B) mostraba una coloración blanca con tonos lilas-violáceos, con una textura algodonosa y con micelio aéreo abundante. Sus características microscópicas mostraron fiálides ramificadas, macroconidios en forma de media luna (falcados), hialinos y septados y microconidios abundantes con forma oval y agrupados en largas cadenas. La cepa utilizada en este estudio presentó características morfológicas congruentes con las descritas para *Fusarium verticillioides* (Castro de Ángel et al., 2021; De la Torre-Hernández et al., 2014), lo que sugiere una identificación preliminar confiable.

Finalmente, *Phytophthora infestans* (Figura 2C) mostró una coloración blanquecina con tonalidad beige, textura lanosa y con micelio aéreo abundante. Sus características microscópicas mostraron esporangióforos ramificados y esporangios en forma oval. La cepa de *Phytophthora infestans* analizada en este estudio proviene de una colección de microorganismos mantenida en condiciones controladas de laboratorio, por lo que no fue aislada directamente de campo. El objetivo de su revisión fue constatar su identidad morfológica como parte de un proceso de verificación taxonómica la cual coincide con trabajos anteriores (Abad et al., 2023).

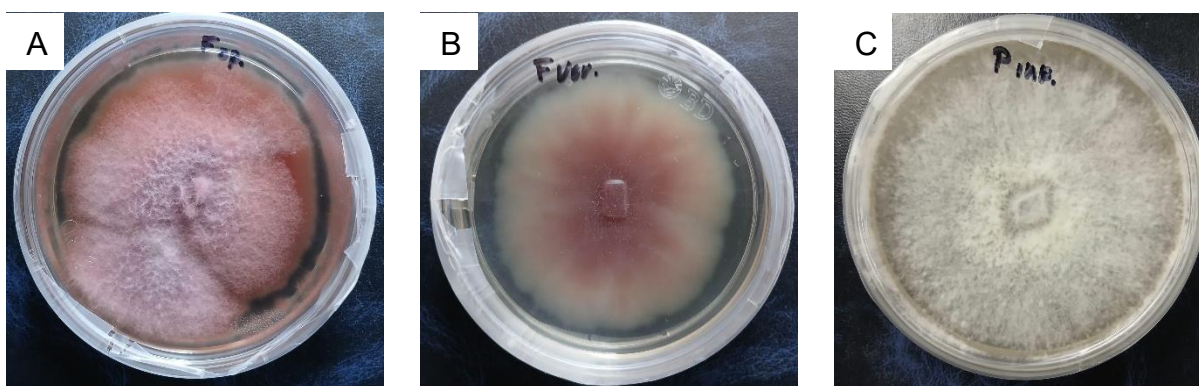


Figura 2. Cepas de hongos fitopatógenos después de 7 días de incubación. A) *Fusarium* sp., B) *Fusarium verticillioides* y C) *Phytophthora infestans*.

8.2.2. Evaluación de actividad antifúngica por método de dilución en agar

En la tabla 3, se muestra el porcentaje de inhibición del extracto de *Salvia chamaedryoides* sobre *Fusarium* sp., *Fusarium verticillioides* y *Phytophthora infestans* utilizando concentraciones de 25, 50 y 100 mg/mL, y cinco tiempos de exposición (24, 48, 72, 96 y 120 h). De acuerdo con los datos recabados, a las 24 h de incubación hubo mayor porcentaje de inhibición del crecimiento micelial a la concentración de 100 mg/mL sobre las cepas de *Fusarium* sp. y *Fusarium verticillioides*, los cuales fueron estadísticamente diferentes al efecto dado por las concentraciones de 25 y 50 mg/mL sobre estos mismos hongos y que a su vez fue estadísticamente similar al efecto dado por el control positivo. A las 48 h el efecto dado a la concentración de 100 mg/mL siguió presentando efecto fungistático en un 100%, pero solo sobre *Fusarium verticillioides*, efecto que siguió siendo estadísticamente diferente al efecto dado por las otras concentraciones sobre el mismo hongo y estadísticamente igual al efecto dado por el control positivo. Para las 72, 96 y 120 h su efecto antifúngico sobre *Phytophthora infestans* fue estadísticamente diferente al efecto dado por el control positivo, más siguió siendo la concentración que presentó un efecto fungistático superior y estadísticamente diferente al de las concentraciones de 25 y 50 mg/mL sobre *Fusarium* sp. y *Fusarium verticillioides*.

En general, se observó una tendencia dosis-dependiente en la inhibición del crecimiento micelial. A 100 mg/mL, el extracto mostró inhibición total (100%) en múltiples combinaciones de tiempo y patógeno, especialmente contra *Fusarium verticillioides*, que presentó sensibilidad elevada desde las primeras 48 h. En contraste, *Phytophthora infestans* mostró menor sensibilidad, requiriendo mayor tiempo y concentración para alcanzar porcentajes de inhibición superiores al 75%.

Con base en los resultados obtenidos, el extracto hidroalcohólico de *Salvia chamaedryoides* mostró su mayor eficacia antifúngica frente a *Fusarium verticillioides*, alcanzando inhibición total (100%) desde las primeras 48 horas con una concentración de 100 mg/mL, y manteniéndose constante en la mayoría de los tiempos evaluados. Esta especie presentó una sensibilidad superior en

comparación con *Fusarium* sp. y *Phytophthora infestans*, los cuales requirieron mayores tiempos o concentraciones para alcanzar niveles similares de inhibición. Además, *Fusarium verticillioides* respondió favorablemente incluso a concentraciones intermedias (50 mg/mL), lo que sugiere una menor resistencia al extracto y una posible aplicación práctica más eficiente.

Estos resultados respaldan el potencial del extracto de *Salvia chamaedryoides* como agente antifúngico natural, con aplicaciones en el manejo fitosanitario sustentable. Además, la variabilidad observada entre especies y tiempos ofrece una base sólida para el diseño de bioensayos comparativos.

Tabla 3. Porcentaje de inhibición del crecimiento de *Fusarium* sp., *Fusarium verticillioides* y *Phytophthora infestans*, utilizando como tratamiento tres concentraciones de extracto hidroalcohólico de *Salvia chamaedryoides*.

H	Fitopatógeno	Tratamientos (mg/mL)			Control + 24 mg/mL
		25	50	100	
24	<i>Fusarium</i> sp.	32.88±1.02 ^{cB}	49.91±0.81 ^{bA}	100.00±0.00 ^{aA}	100.00±0.00 ^{aA}
	<i>Fusarium verticillioides</i>	39.38±1.30 ^{cA}	46.18±1.03 ^{bB}	100.00±0.00 ^{aA}	100.00±0.00 ^{aA}
	<i>Phytophthora infestans</i>	16.33±0.98 ^{dC}	39.39±1.23 ^{cC}	52.45±0.98 ^{bB}	100.00±0.00 ^{aA}
48	<i>Fusarium</i> sp.	47.01±1.12 ^{dA}	57.39±1.07 ^{cA}	61.07±1.32 ^{bC}	100.00±0.00 ^{aA}
	<i>Fusarium verticillioides</i>	45.91±1.01 ^{cB}	52.95±1.0 ^{bB}	100.00±0.00 ^{aA}	100.00±0.00 ^{aA}
	<i>Phytophthora infestans</i>	15.15±2.03 ^{dC}	44.62±2.31 ^{cC}	68.36±1.24 ^{bB}	100.00±0.00 ^{aA}
72	<i>Fusarium</i> sp.	29.57±2.09 ^{dB}	51.64±1.05 ^{bA}	44.07±1.33 ^{cC}	100.00±0.00 ^{aA}
	<i>Fusarium verticillioides</i>	41.28±0.95 ^{dA}	51.02±0.67 ^{cAB}	75.41±0.87 ^{bAB}	100.00±0.00 ^{aA}
	<i>Phytophthora infestans</i>	16.02±1.67 ^{dC}	43.53±1.38 ^{cC}	76.19±0.59 ^{bA}	100.00±0.00 ^{aA}
96	<i>Fusarium</i> sp.	30.30±1.38 ^{dB}	51.38±1.09 ^{cB}	59.22±2.34 ^{bC}	100.00±0.00 ^{aA}
	<i>Fusarium verticillioides</i>	40.88±2.32 ^{dA}	53.88±1.01 ^{cA}	77.43±2.14 ^{bB}	100.00±0.00 ^{aA}
	<i>Phytophthora infestans</i>	18.02±2.58 ^{dC}	49.85±2.03 ^{cC}	80.43±1.09 ^{bA}	100.00±0.00 ^{aA}
120	<i>Fusarium</i> sp.	32.19±1.88 ^{dB}	50.76±0.91 ^{cC}	58.55±2.09 ^{bC}	100.00±0.00 ^{aA}
	<i>Fusarium verticillioides</i>	40.48±2.95 ^{dA}	52.60±1.02 ^{cB}	70.29±2.13 ^{bB}	100.00±0.00 ^{aA}
	<i>Phytophthora infestans</i>	29.62±1.03 ^{dC}	56.42±0.87 ^{cA}	80.44±1.37 ^{bA}	100.00±0.00 ^{aA}

a, b, c, d Las letras diferentes en las filas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos a diferentes concentraciones. A, B, C Las letras diferentes en las columnas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre hongos.

El extracto hidroalcohólico metanol: agua (60:40 v/v) de *Salvia chamaedryoides* evaluado en este estudio mostró una actividad antifúngica significativa frente a dos especies del género *Fusarium*. A una concentración de 100 mg/mL, se observó una inhibición del 58.55% a las 120 h en el crecimiento de una cepa de *Fusarium* sp., y del 70.29% frente a *Fusarium verticillioides*. Estos resultados sugieren que *Salvia chamaedryoides* posee compuestos bioactivos con potencial fungistático o fungicida, aunque aún no se ha determinado su composición fitoquímica específica.

Al comparar estos hallazgos con los reportados por Gaber et al., 2025, donde un extracto hidroalcohólico metanol: agua (80:20 v/v) de *Salvia officinalis* logró una inhibición promedio del 60.16% sobre *Fusarium oxysporum* a una concentración considerablemente menor (20 mg/mL). Esta diferencia en la eficacia podría atribuirse tanto a la variación en la especie de *Salvia* utilizada como a la proporción del solvente y la concentración del extracto (Ortega et al., 2024; Soto-García & Rosales-Castro, 2016). La mayor proporción de metanol en el extracto de *Salvia officinalis* podría haber favorecido la extracción de metabolitos lipofílicos con mayor actividad antifúngica, como el ácido oleico, el α -D-glucopiranosido y el ψ -caroteno (2-tetrahidro-1-dimetoxi), compuestos que han demostrado afinidad por enzimas clave en la patogenicidad fúngica, como la tomatinasa y la endo-1,4- β -glicosidasa (Gaber et al., 2025).

Aunque no se cuenta con un perfil fitoquímico del extracto de *Salvia chamaedryoides*, es posible que comparta algunos metabolitos con otras especies del género *Salvia*, conocidos por su riqueza en terpenoides, flavonoides y compuestos fenólicos. La mayor inhibición observada frente a *Fusarium verticillioides* podría deberse a una mayor sensibilidad de esta especie a los compuestos presentes en el extracto, lo que amerita estudios posteriores de caracterización química y ensayos enzimáticos.

En la tabla 4, se muestra el porcentaje de inhibición del extracto de *Cosmos bipinnatus* sobre *Fusarium* sp., *Fusarium verticillioides* y *Phytophthora infestans* utilizando concentraciones de 25, 50 y 100 mg/mL, y cinco tiempos de exposición (24, 48, 72, 96 y 120 h). En términos generales, el extracto mostró una capacidad inhibitoria moderada, con porcentajes de inhibición que oscilaron entre 0.61% y 60.59%, dependiendo del fitopatógeno, la concentración y el tiempo de exposición. A diferencia del extracto de *Salvia chamaedryoides*, no se alcanzó inhibición total (100%) en ninguno de los tratamientos evaluados, lo que sugiere una menor potencia antifúngica relativa.

El comportamiento de *Fusarium verticillioides* fue el más estable entre los tres fitopatógenos, con inhibiciones cercanas al 30–40% en la mayoría de los tiempos y concentraciones. A las 96 h, se observó un incremento notable con 50 mg/mL (49.45%), aunque este valor no se mantuvo en otras combinaciones. *Fusarium* sp. presentó inhibiciones más variables, con valores máximos de 40.49% (48 h, 100 mg/mL) y mínimos de 6.72% (72 h, 50 mg/mL), lo que indica una respuesta menos consistente al tratamiento.

Por otro lado, *Phytophthora infestans* mostró una sensibilidad diferencial marcada. A concentraciones bajas (25 y 50 mg/mL), los porcentajes de inhibición fueron mínimos ($\leq 7.30\%$) en los primeros tiempos, pero se incrementaron progresivamente hasta alcanzar 60.59% a las 72 h con 100 mg/mL. Este comportamiento sugiere una respuesta más lenta pero significativa del oomiceto frente al extracto, especialmente a concentraciones elevadas y tiempos prolongados.

Con base en los resultados obtenidos, el extracto hidroalcohólico a base de *Cosmos bipinnatus* mostró una mayor eficacia relativa frente a *Phytophthora infestans*, especialmente a concentraciones elevadas y tiempos prolongados. Aunque los porcentajes de inhibición fueron moderados en comparación con otros extractos evaluados, *Phytophthora infestans* alcanzó su valor máximo de inhibición (60.59%) a las 72 horas con 100 mg/mL, superando consistentemente a los valores registrados para *Fusarium* sp. y *Fusarium verticillioides* en las mismas condiciones.

Este comportamiento sugiere que el extracto posee una acción más sostenida y específica contra el oomiceto, posiblemente relacionada con diferencias estructurales en la pared celular o mecanismos de sensibilidad diferencial. Por lo tanto, se considera que *Cosmos bipinnatus* tiene mayor potencial como agente antifúngico natural para el control parcial de *Phytophthora infestans*, especialmente en esquemas de manejo integrado donde se privilegien alternativas botánicas de bajo impacto ambiental.

Tabla 4. Porcentaje de inhibición del crecimiento de *Fusarium* sp., *Fusarium verticillioides* y *Phytophthora infestans*, utilizando como tratamiento tres concentraciones de extracto hidroalcohólico de *Cosmos bipinnatus*.

H	Fitopatógeno	Tratamientos (mg/mL)			Control (+) 24 mg/mL
		25	50	100	
24	<i>Fusarium</i> sp.	30.36±1.01 ^{cB}	28.13±1.05 ^{dB}	38.73±1.07 ^{bA}	100.00±0.00 ^{aA}
	<i>Fusarium verticillioides</i>	34.69±1.73 ^{bA}	33.86±0.79 ^{cA}	33.61±0.97 ^{cB}	100.00±0.00 ^{aA}
	<i>Phytophthora infestans</i>	6.01±0.66 ^{dC}	7.30±1.11 ^{cC}	32.24±1.04 ^{bC}	100.00±0.00 ^{aA}
48	<i>Fusarium</i> sp.	28.25±1.09 ^{cB}	26.99±0.81 ^{dA}	40.49±0.92 ^{bA}	100.00±0.00 ^{aA}
	<i>Fusarium verticillioides</i>	29.90±1.70 ^{cA}	27.04±1.09 ^{dA}	39.22±1.06 ^{bB}	100.00±0.00 ^{aA}
	<i>Phytophthora infestans</i>	0.61±1.83 ^{dC}	1.94±1.32 ^{cB}	40.83±1.7 ^{bA}	100.00±0.00 ^{aA}
72	<i>Fusarium</i> sp.	10.83±2.08 ^{cB}	6.72±1.04 ^{dB}	23.88±1.46 ^{bC}	100.00±0.00 ^{aA}
	<i>Fusarium verticillioides</i>	24.03±1.12 ^{cA}	24.13±0.78 ^{cA}	38.84±1.06 ^{bB}	100.00±0.00 ^{aA}
	<i>Phytophthora infestans</i>	1.80±1.77 ^{dC}	4.00±1.03 ^{cC}	60.59±1.22 ^{bA}	100.00±0.00 ^{aA}
96	<i>Fusarium</i> sp.	14.14±0.83 ^{cB}	10.34±1.76 ^{dB}	23.97±1.34 ^{bB}	100.00±0.00 ^{aA}
	<i>Fusarium verticillioides</i>	24.61±0.09 ^{dA}	49.45±1.71 ^{bA}	40.22±1.28 ^{cA}	100.00±0.00 ^{aA}
	<i>Phytophthora infestans</i>	1.40±1.09 ^{dC}	7.03±0.22 ^{cC}	39.15±0.78 ^{bA}	100.00±0.00 ^{aA}
120	<i>Fusarium</i> sp.	18.98±1.05 ^{cB}	15.54±1.23 ^{dC}	29.48±1.43 ^{bC}	100.00±0.00 ^{aA}
	<i>Fusarium verticillioides</i>	21.11±2.32 ^{dA}	30.78±1.71 ^{cA}	37.02±2.04 ^{bB}	100.00±0.00 ^{aA}
	<i>Phytophthora infestans</i>	16.99±1.12 ^{dC}	19.37±0.12 ^{cB}	45.84±0.98 ^{bA}	100.00±0.00 ^{aA}

a, b, c, d Las letras diferentes en las filas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos a diferentes concentraciones. A, B, C Las letras diferentes en las columnas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre hongos.

Los resultados obtenidos coinciden parcialmente con lo reportado por Mohammad Nazrul Islam & Meher, 2023, quienes documentaron actividad antifúngica del aceite esencial de *Cosmos bipinnatus* a una concentración de 100 ppm, especialmente contra hongos fitopatógenos. En dicho estudio, se identificaron como componentes principales del aceite esencial el (E)- β -ocimeno, el germacreno-D y el sabineno, compuestos con reconocida actividad antimicrobiana (Olajuyigbe & Ashafa, 2014b). Aunque el presente trabajo utilizó un extracto hidroalcohólico en lugar de aceite esencial, es posible que algunos de estos metabolitos secundarios estén presentes en la fracción polar del extracto, contribuyendo a la actividad observada. No obstante, la diferencia en el tipo de extracción y concentración utilizada podría explicar la menor eficacia relativa en comparación con estudios basados en aceites esenciales.

La actividad fungistática moderada observada en este estudio sugiere que el extracto de *Cosmos bipinnatus* podría tener aplicaciones complementarias en esquemas de manejo integrado de enfermedades, especialmente en etapas tempranas o como parte de formulaciones sinérgicas con otros agentes naturales. Su efecto más marcado contra *Fusarium verticillioides* y, en menor medida, contra *Phytophthora infestans*, respalda su potencial como alternativa botánica de bajo impacto ambiental, aunque se requiere optimización de dosis, tiempo de aplicación y posiblemente la identificación de fracciones activas específicas para mejorar su eficacia.

En conjunto, estos hallazgos aportan evidencia sobre el valor biotecnológico de *Cosmos bipinnatus* como fuente de compuestos bioactivos, y abren la posibilidad de futuras investigaciones orientadas a la caracterización fitoquímica del extracto, la evaluación de su modo de acción, y su integración en estrategias sustentables de control fitosanitario.

8.3. Determinación cuantitativa de compuestos y capacidad antioxidante

8.3.1. Cuantificación de fenoles y flavonoides totales

En la Figura 3 se presenta la cuantificación de compuestos fenólicos totales en los extractos hidroalcohólicos de *Salvia chamaedryoides* y *Cosmos bipinnatus*, expresados en miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de extracto (mg EAG/g extracto). Los resultados muestran diferencias entre ambos extractos, siendo *Salvia chamaedryoides* el que presentó el mayor contenido fenólico, con un valor de 90.53 mg EAG/g extracto, mientras que *Cosmos bipinnatus* alcanzó 56.87 mg EAG/g extracto.

Estas diferencias cuantitativas sugieren una mayor concentración de metabolitos secundarios con potencial bioactivo en *Salvia chamaedryoides*, lo cual podría estar relacionado con la mayor actividad antifúngica observada en los bioensayos realizados.

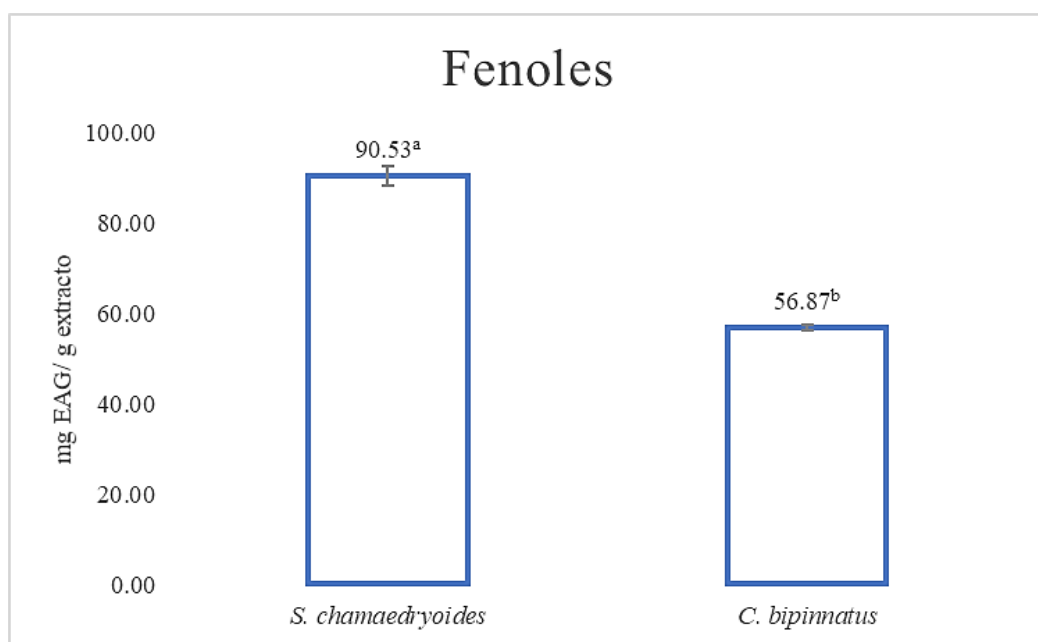


Figura 3. Contenido de fenoles totales de los extractos de *Salvia chamaedryoides* y *Cosmos bipinnatus*. ^{a, b} Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre los extractos.

Estos resultados son comparables con los obtenidos por (Kursa et al., 2022a) para *Salvia officinalis*, cuyo extracto mostró un contenido fenólico de 81.95 mg/mL y una inhibición del crecimiento micelial de hasta 83.53% frente a *Fusarium* spp. a una concentración de 20% (equivalente a 200 mg/mL). Aunque *Salvia officinalis* alcanzó un porcentaje de inhibición ligeramente superior, lo hizo a una concentración mayor al extracto de *Salvia chamaedryoides*, lo que sugiere que esta última podría tener una eficacia comparable con menor dosis. La diferencia en la concentración de compuestos fenólicos entre ambas especies (90.53 vs. 81.95 mg/mL) podría estar relacionada con la variabilidad fitoquímica dentro del género *Salvia*. *Salvia chamaedryoides*, al ser una especie nativa de México (CONABIO, 2025b), podría poseer perfiles únicos de flavonoides, ácidos fenólicos y terpenoides que contribuyen a su bioactividad. Esta diversidad química ha sido documentada en estudios previos, donde distintas especies del género mostraron variaciones significativas en su composición y actividad biológica (Gaber et al., 2025; Ortega et al., 2024; Tijitraresmi et al., 2020).

Por otro lado, el extracto a base de *Cosmos bipinnatus* evaluado en este estudio presentó un contenido total de compuestos fenólicos de 56.87 mg EAG/ g extracto. Este valor confirma la presencia de metabolitos antioxidantes relevantes, aunque se encuentra por debajo de los niveles reportados por (Ahuayo et al., 2025) donde se documentó un contenido de 78.12 mg EAG/g para extractos obtenidos con metanol puro.

La diferencia observada puede atribuirse a varios factores. En primer lugar, el tipo de solvente y su proporción influye directamente en la eficiencia de extracción de compuestos fenólicos (Truong et al., 2019). El uso de metanol puro en el estudio de referencia permitió una mayor solubilización de flavonoides y ácidos fenólicos, mientras que la mezcla hidroalcohólica utilizada en el presente trabajo, aunque más segura y ecológica, podría haber limitado la extracción de ciertos metabolitos menos polares.

Además, las condiciones de extracción (tiempo, temperatura, tipo de material vegetal) también pueden afectar la concentración final de compuestos fenólicos

(Bitwell et al., 2023). En este sentido, es importante considerar que *Cosmos bipinnatus* presenta una variabilidad fitoquímica que puede depender del origen geográfico, estado fenológico y parte de la planta utilizada (Herrera et al., 2017).

La Figura 4 muestra la cuantificación de flavonoides totales en los extractos hidroalcohólicos de *Salvia chamaedryoides* y *Cosmos bipinnatus*, expresados en miligramos equivalentes de quercetina por gramo de extracto (mg EQ/g extracto). Los resultados muestran que el extracto de *Salvia chamaedryoides* presentó el mayor contenido de flavonoides, con un valor de 82.43 mg EQ/g extracto, mientras que *Cosmos bipinnatus* alcanzó 55.02 mg EQ/g extracto.

Este resultado es consistente con la mayor actividad antifúngica observada en los bioensayos realizados con dicho extracto, y sugiere que los flavonoides podrían estar involucrados en los mecanismos de inhibición fúngica.

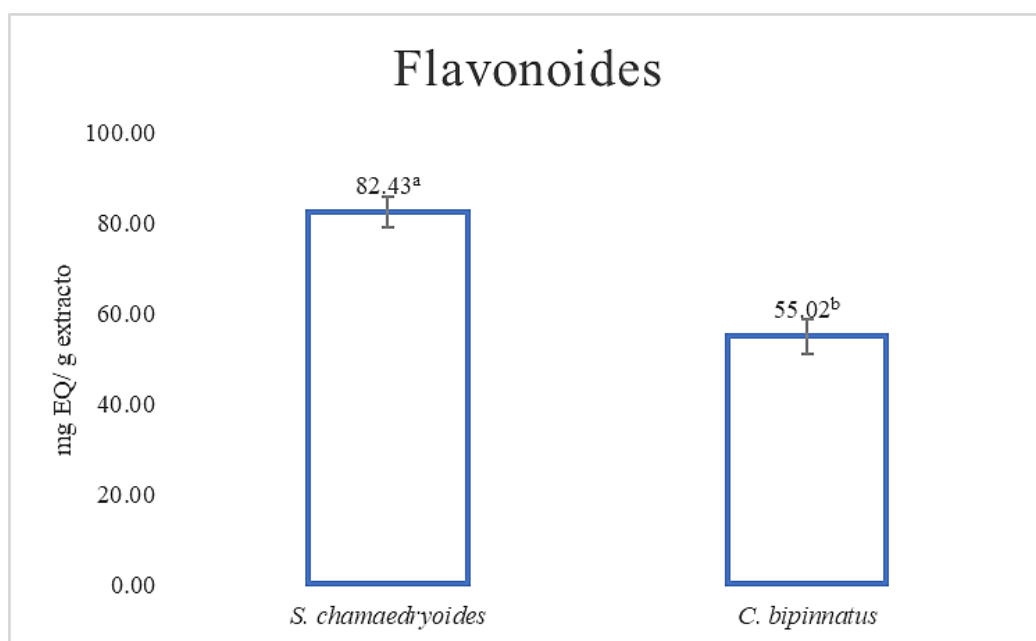


Figura 4. Contenido de flavonoides totales de los extractos de *Salvia chamaedryoides* y *Cosmos bipinnatus*. ^{a, b} Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre los extractos.

Estos valores indican una mayor capacidad biosintética de compuestos flavonoides en *Salvia chamaedryoides*, lo cual es consistente con lo reportado en estudios previos sobre otras especies del género *Salvia*. Por ejemplo, (Kursa et al., 2022b) reportaron que extractos de *Salvia officinalis* contienen hasta 21.12 mg/mL de flavonoides, siendo el extracto con mayor concentración entre las especies evaluadas en su estudio. Ambos resultados sugieren que las especies del género

Salvia poseen un perfil fitoquímico rico en flavonoides, lo que podría estar relacionado con su reconocida actividad antifúngica.

En cuanto a *Cosmos bipinnatus*, el contenido de flavonoides obtenido en este estudio (55.02 mg Eq. Quercetina/g) supera lo reportado por (Alvarado-López et al., 2025a), quien encontró una concentración de 23.7 mg EQ/g en un extracto hidrometanólico elaborado exclusivamente a partir de flores. Esta diferencia podría atribuirse al uso de toda la parte aérea de la planta en el presente trabajo, lo que incluye hojas y tallos, órganos que también contribuyen significativamente a la acumulación de metabolitos secundarios (Casanova-Pérez et al., 2024; Divekar et al., 2022). Además, factores como el estado fenológico, las condiciones de cultivo y el método de extracción pueden influir en la variabilidad fitoquímica (Jones & Kinghorn, 2012).

La diferencia observada entre ambos extractos podría también estar relacionada con la fisiología adaptativa de cada especie. *Salvia chamaedryoides*, al ser una planta nativa de zonas áridas, podría sintetizar mayores cantidades de flavonoides como respuesta al estrés ambiental, mientras que *Cosmos bipinnatus*, de hábito más ornamental y menos xerófito, podría presentar una menor acumulación relativa de estos compuestos.

En conjunto, los resultados obtenidos respaldan el potencial de *Salvia chamaedryoides* como fuente rica en flavonoides, superando en concentración al extracto de *Cosmos bipinnatus* bajo las condiciones evaluadas.

8.3.2. Determinación de actividad antioxidante

La capacidad antioxidante de los extractos vegetales fue evaluada mediante el método DPPH y ABTS, expresando los resultados en miligramos equivalentes de Trolox por extracto. Estos ensayos permiten estimar la eficiencia de los compuestos presentes en los extractos para neutralizar radicales libres, lo cual es indicativo de su potencial bioactivo.

Los resultados para el ensayo por DPPH obtenidos (Figura 5) muestran que *Salvia chamaedryoides* presentó una capacidad antioxidante ligeramente superior (170.38 mg Trolox/extracto) en comparación con *Cosmos bipinnatus* (162.23 mg Trolox/extracto).

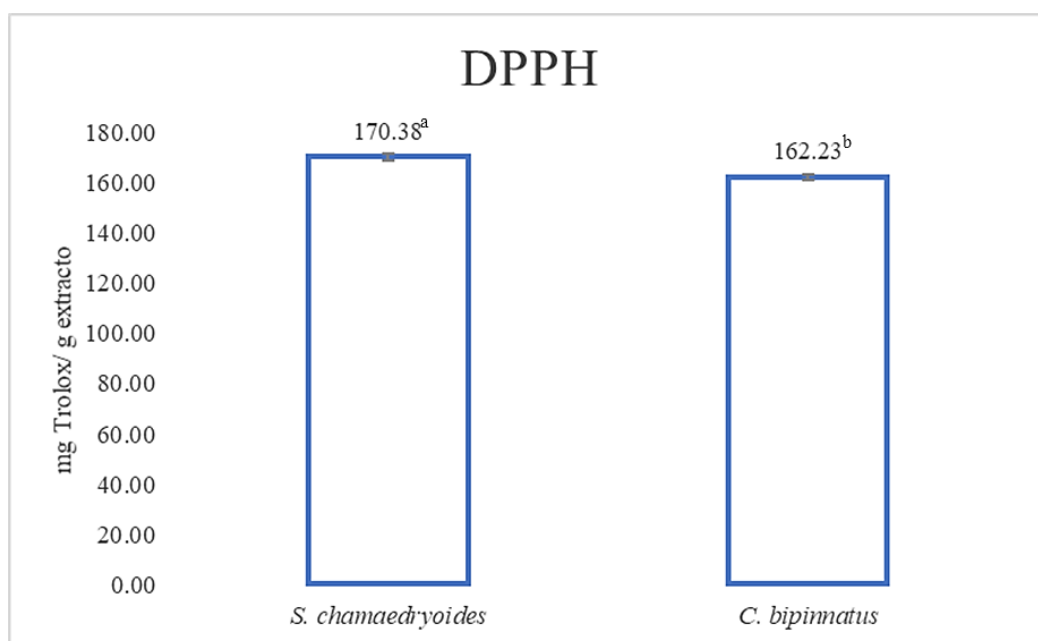


Figura 5. Actividad antioxidante de los extractos de *Salvia chamaedryoides* y *Cosmos bipinnatus* por el método DPPH. ^{a, b} Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre los extractos.

Por otro lado, el ensayo por ABTS (Figura 6) mostró de igual manera que el extracto de *Salvia chamaedryoides* posee una capacidad antioxidante ligeramente superior (60.20 mg Trolox/extracto) en comparación con *Cosmos bipinnatus* (58.12 mg Trolox/extracto).

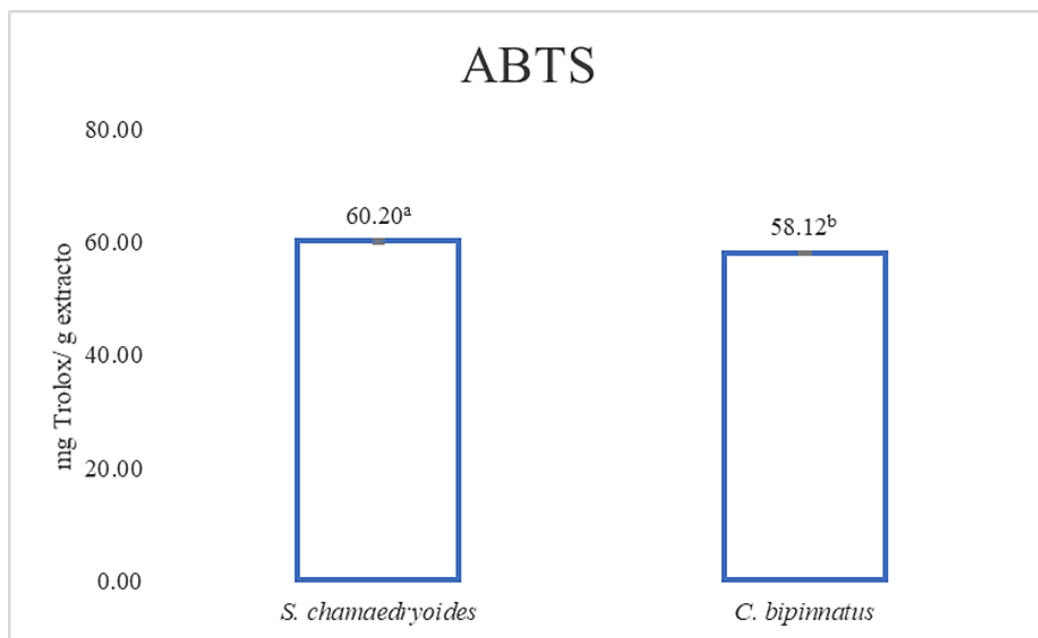


Figura 6. Actividad antioxidante de los extractos de *Salvia chamaedryoides* y *Cosmos bipinnatus* por el método ABTS. ^{a, b} Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre los extractos.

Comparando estos resultados entre sí, se observa una consistencia en el patrón de capacidad antioxidante, donde *Salvia chamaedryoides* supera ligeramente a *Cosmos bipinnatus* en ambos métodos.

Al comparar estos resultados con estudios previos, se observa que *Salvia chamaedryoides* exhibe una capacidad antioxidante superior a la reportada por (Vieira et al., 2020) para *Salvia officinalis*, quien obtuvo 131.3 mg Trolox/g extracto por DPPH y 99.3 mg Trolox/g por ABTS. Asimismo, los valores obtenidos en este estudio superan los reportados por Moshari-Nasirkandi et al., 2024 para *Salvia ceratophylla* (68.95 mg Trolox/g por DPPH) y por Mokhtar et al., 2023) para *Salvia balansae* (124.1 mg Trolox/g por DPPH). Estas comparaciones sugieren que *Salvia chamaedryoides* podría representar una fuente particularmente rica en antioxidantes dentro del género, aunque deben considerarse las variaciones metodológicas, geográficas y de extracción que influyen en los resultados.

En el caso de *Cosmos bipinnatus*, los valores obtenidos en este estudio fueron considerablemente menores que los reportados por Alvarado-López et al., 2025b), quien evaluó extractos florales y obtuvo 305.7 mg Trolox/g extracto por DPPH y 379.5 mg Trolox/g por ABTS. Esta diferencia podría explicarse por varios factores: en primer lugar, el tipo de tejido vegetal utilizado (flores vs. planta entera o partes aéreas) influye directamente en la concentración de metabolitos antioxidantes; en segundo lugar, las condiciones de extracción, el solvente, la proporción planta:solvente y el tiempo de maceración pueden modificar sustancialmente el rendimiento antioxidante. Además, factores como la altitud, el estado fenológico y la variabilidad genética de las poblaciones de *Cosmos* pueden contribuir a estas discrepancias.

En cuanto a los métodos empleados, se observó que los valores obtenidos por DPPH fueron consistentemente mayores que los de ABTS en ambas especies. Esta diferencia puede explicarse por la naturaleza química de los radicales involucrados: DPPH es más sensible a compuestos lipofílicos, mientras que ABTS responde mejor a antioxidantes hidrofílicos (Apak et al., 2007; Floegel et al., 2011). Dado que los extractos evaluados fueron hidroalcohólicos, es posible que la fracción metanólica haya favorecido la extracción de compuestos más reactivos frente a DPPH.

8.4. Efecto alelopático

Con base en los resultados obtenidos, se realizó un ensayo *in vitro* para determinar el efecto alelopático del extracto a base de *Salvia chamaedryoides*, debido a que fue el extracto con mayor potencial antifúngico.

Se determinó el porcentaje de germinación de semillas de *Solanum lycopersicum* a diferentes concentraciones del extracto (25, 50 y 100 mg/mL). Se reportan en la figura 7.

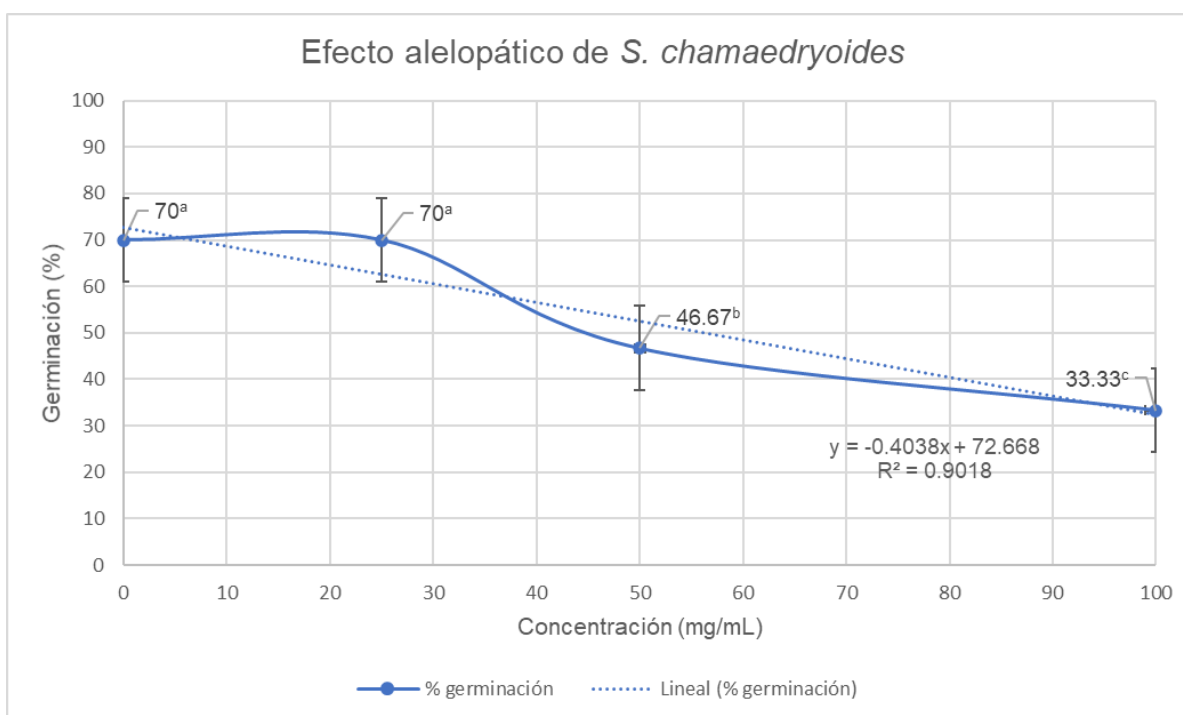


Figura 7. Efecto de las diferentes concentraciones de extracto de *Salvia chamaedryoides* sobre la germinación de *Solanum lycopersicum*. ^a, ^b, ^c Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre las concentraciones.

Los resultados obtenidos evidencian una clara relación inversa entre la concentración del extracto de *Salvia chamaedryoides* y el porcentaje de germinación de semillas. Conforme incrementa la concentración de extracto (0–100 mg/mL), se observa una disminución progresiva en la germinación, lo cual sugiere un efecto inhibitorio dependiente de la concentración. Esta tendencia se representa mediante una regresión lineal con la ecuación $y = -0.4038x + 72.668$, donde la pendiente negativa indica que por cada incremento de 1 mg/mL en la concentración, el porcentaje de germinación disminuye en aproximadamente 0.4%. El coeficiente

de determinación ($R^2= 0.9018$) revela que el modelo explica el 90.18% de la variabilidad observada, lo que confirma un ajuste robusto y una relación lineal significativa entre ambas variables (Santana-Baños et al., 2022b).

Cruz-Silva et al., 2025 evaluaron un extracto metanólico al 1% de *Salvia officinalis* sobre la germinación de *Solanum lycopersicum*, obteniendo un porcentaje de germinación del 39%. Este valor es comparable al 33.33% observado en el presente estudio con *Salvia chamaedryoides* a una concentración de 100 mg/mL, lo que sugiere que distintas especies de *Salvia* comparten efecto alelopático sobre semillas de dicotiledóneas, aunque con variaciones entre concentración y especificidad. Sin embargo, las diferencias en solvente de extracción (metanol vs. agua), concentración aplicada y especie receptora dificultan una extrapolación directa. Mientras *Salvia officinalis* mostró inhibición significativa a baja concentración (1%), *Salvia chamaedryoides* requirió concentraciones más elevadas para alcanzar efectos similares, lo que podría reflejar diferencias en polaridad de los compuestos activos o en su biodisponibilidad.

9. Conclusión

Los resultados obtenidos en este estudio evidencian que los extractos vegetales evaluados poseen actividad fungistática frente a los hongos fitopatógenos *Fusarium* sp., *Fusarium verticillioides* y *Phytophthora infestans*, destacando particularmente el extracto de *Salvia chamaedryoides* el cual demostró un efecto significativo, especialmente sobre *Phytophthora infestans* a la concentración de 100 mg/mL, con una marcada inhibición del crecimiento micelial.

La mayor eficacia del extracto de *Salvia chamaedryoides* se atribuye a su elevado contenido de compuestos fenólicos y flavonoides, así como a su superior capacidad antioxidante en comparación con *Cosmos bipinnatus*.

Por otro lado, las pruebas de efecto alelopático en semillas de jitomate revelaron que el extracto de *Salvia chamaedryoides* ejerce un efecto inhibitorio dependiente de la concentración, manifestado en una disminución progresiva de la germinación conforme aumenta la dosis aplicada.

En conjunto, los resultados posicionan al extracto de *Salvia chamaedryoides* como un candidato prometedor para el desarrollo de estrategias biotecnológicas de control de fitopatógenos, aunque cabe mencionar que se requiere profundizar en estudios tanto de ensayos *in vivo* como de análisis fitoquímicos con la finalidad de hacer una correcta formulación y dosificación para garantizar su aplicación segura y efectiva en sistemas agrícolas sostenibles.

Referencias

- Abad, Z. G., Burgess, T. I., Bourret, T., Bensch, K., Cacciola, S. O., Scanu, B., Mathew, R., Kasiborski, B., Srivastava, S., Kageyama, K., Bienapf, J. C., Verkleij, G., Broders, K., Schena, L., & Redford, A. J. (2023). *Phytophthora*: taxonomic and phylogenetic revision of the genus. *Studies in Mycology*, 106(1), 259–348. <https://doi.org/10.3114/sim.2023.106.05>
- Ahuayo, M. A. M., Berasain, M. D. M., Luckie, R. A. M., & Orozco, D. G. (2025). Geographical and temporal variability in the extraction efficiency of bioactive metabolites from *Cosmos bipinnatus*. *Applied Food Research*, 5(2), 101098. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.101098>
- Akhtar, M. N., Mushtaq, Z., Ahmad, N., Khan, M. K., Ahmad, M. H., Hussain, A. I., & Imran, M. (2019). Optimal Ultrasound-Assisted Process Extraction, Characterization, and Functional Product Development from Flaxseed Meal Derived Polysaccharide Gum. *Processes*, 7(4), 189. <https://doi.org/10.3390/pr7040189>
- Albuquerque, B. R., Oliveira, M. B. P. P., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2021). Could fruits be a reliable source of food colorants? Pros and cons of these natural additives. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(5), 805–835. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1746904>
- Alvarado-López, A. N., Buendía González, L., Hernández-Jaimes, C., & Orozco-Villafuerte, J. (2025a). *Cosmos bipinnatus* Cav., an alternative to synthetic dyes? study of its stability against degrading factors. *Revista Bio Ciencias*. <https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1743>
- Alvarado-López, A. N., Buendía González, L., Hernández-Jaimes, C., & Orozco-Villafuerte, J. (2025b). *Cosmos bipinnatus* Cav., an alternative to synthetic dyes? study of its stability against degrading factors. *Revista Bio Ciencias*. <https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1743>
- Armer, V. J., Kroll, E., Darino, M., Smith, D. P., Urban, M., & Hammond-Kosack, K. E. (2024). Navigating the *Fusarium* species complex: Host-range plasticity and genome variations. *Fungal Biology*, 128(8), 2439–2459. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2024.07.004>
- Ben Akacha, B., Kačániová, M., Generalić Mekinić, I., Kukula-Koch, W., Koch, W., Erdogan Orhan, I., Čmiková, N., Taglieri, I., Venturi, F., Samartin, C., Taieb Bouteraa, M., Ben Saad, R., Mnif, W., Garzoli, S., & Ben Hsouna, A. (2024). Sage (*Salvia officinalis* L.): A botanical marvel with versatile pharmacological properties and sustainable applications in functional foods. *South African Journal of Botany*, 169, 361–382. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.04.044>

- Bitwell, C., Indra, S. Sen, Luke, C., & Kakoma, M. K. (2023). A review of modern and conventional extraction techniques and their applications for extracting phytochemicals from plants. *Scientific African*, 19, e01585. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01585>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Casanova-Pérez, L., Barrios-García, H. B., & Rosales-Martínez, V. (2024). Metabolitos secundarios en plantas herbáceas de la Huasteca veracruzana, México. *CienciaUAT*. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v19i2.1910>
- Castro de Ángel, E., Hernández-Castillo, F. D., Gallegos-Morales, G., & Ochoa-Fuentes, Y. M. (2021). Actividad antifúngica de bacterias endófitas para el control de *Fusarium verticillioides* en maíz. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(2). <https://doi.org/10.19136/era.a8n2.2790>
- Chan Chan, M., Moguel Ordoñez, Y., Gallegos Tintoré, S., Chel Guerrero, L., & Betancur Ancona, D. (2021). Caracterización química y nutrimental de variedades de maíz (*Zea mays* L.) de alta calidad de proteína desarrolladas en Yucatán, México. *Biotecnia*, 23(2). <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v23i2.1334>
- Chang, C. C., Yang, M. H., Wen, H. M., & Chern, J. C. (2020). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10(3), 3. <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2748>
- Cobos Mora, F., Hasang Moran, E., Medina Litardo, R., & Orellana Hidalgo, E. (2022). EL CULTIVO DE PAPA, RECURSOS GENÉTICOS Y RETOS PARA EL FUTURO. *Journal of Science and Research*, 7, 212–229.
- COLAK ATES, A., FIDAN, H., KARACAOGLU, M., & DASGAN, H. Y. (2019). THE IDENTIFICATION OF THE RESISTANCE LEVELS OF *FUSARIUM OXYSPORUM* F. SP. *RADICIS - LYCOPERSICI* AND TOMATO YELLOW LEAF CURL VIRUSES IN DIFFERENT TOMATO GENOTYPES WITH TRADITIONAL AND MOLECULAR METHODS. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(2), 2203–2218. https://doi.org/10.15666/aeer/1702_22032218
- CONABIO. (2025a, enero 20). *Razas de maíz de México*. Razas de maíz de México.
- CONABIO. (2025b, marzo 12). *Tochcuitlaquelite (Salvia chamaedryoides) - EncicloVida*.
- Cruz-Silva, C. T. A. da, Nóbrega, L. H. P., Bandeira, D. M., & Pinto, F. G. da S. (2025). Caracterização fitoquímica, atividade antioxidante e potencial alelopático de extratos de *Salvia officinalis* L. obtidos com solventes de polaridade crescente.

Cuadernos de Educación y Desarrollo, 17(10), e9663.
<https://doi.org/10.55905/cuadv17n10-049>

- de Albuquerque, J. G., Escalona-Buendía, H. B., de Magalhães Cordeiro, A. M. T., dos Santos Lima, M., de Souza Aquino, J., & da Silva Vasconcelos, M. A. (2021). Ultrasound treatment for improving the bioactive compounds and quality properties of a Brazilian nopal (*Opuntia ficus-indica*) beverage during shelf-life. *LWT*, 149, 111814. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111814>
- De la Torre-Hernández, Ma. E., Sánchez-Rangel, D., Galeana-Sánchez, E., & Plasencia-de la Parra, J. (2014). Fumonisin – síntesis y función en *Fusarium verticillioides*. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 17, 77–91. <https://scielo.org.mx/pdf/tip/v17n1/v17n1a6.pdf>
- Divekar, P. A., Narayana, S., Divekar, B. A., Kumar, R., Gadratagi, B. G., Ray, A., Singh, A. K., Rani, V., Singh, V., Singh, A. K., Kumar, A., Singh, R. P., Meena, R. S., & Behera, T. K. (2022). Plant Secondary Metabolites as Defense Tools against Herbivores for Sustainable Crop Protection. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(5), 2690. <https://doi.org/10.3390/ijms23052690>
- DONG, S., & ZHOU, S. (2022). Potato late blight caused by *Phytophthora infestans*: From molecular interactions to integrated management strategies. *Journal of Integrative Agriculture*, 21(12), 3456–3466. <https://doi.org/10.1016/j.jia.2022.08.060>
- Eugenia de la Torre-Hernández, Ma., Sánchez-Rangel, D., Galeana-Sánchez, E., & Plasencia-de la Parra, J. (2014). Fumonisin –Síntesis y función en la interacción *Fusarium verticillioides*-maíz. *TIP*, 17(1), 77–91. [https://doi.org/10.1016/S1405-888X\(14\)70321-3](https://doi.org/10.1016/S1405-888X(14)70321-3)
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2024, mayo 30). *Papas: tan familiares y tanto por descubrir sobre ellas*. <https://www.fao.org/publications/news-archive/detail/potatoes-so-familiar-so-much-more-to-learn/es>
- Fry, W. E. (2016). <*Phytophthora infestans* : New Tools (and Old Ones) Lead to New Understanding and Precision Management. *Annual Review of Phytopathology*, 54(1), 529–547. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080615-095951>
- Fry, W. E., Birch, P. R. J., Judelson, H. S., Grünwald, N. J., Danies, G., Everts, K. L., Gevens, A. J., Gugino, B. K., Johnson, D. A., Johnson, S. B., McGrath, M. T., Myers, K. L., Ristaino, J. B., Roberts, P. D., Secor, G., & Smart, C. D. (2015). Five Reasons to Consider *Phytophthora infestans* a Reemerging Pathogen. *Phytopathology*®, 105(7), 966–981. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-01-15-0005-FI>

- Gaber, M. A., El-Messeiry, S., El-Tanbouly, R., Elkashef, A. A., Behiry, S. I., Aboshosha, S. S., & Aamer, H. A. (2025). Eco-friendly management of Fusarium wilt in tomato using *Salvia officinalis* methanolic extract: in vitro, in vivo, and molecular docking approaches. *Journal of Plant Pathology*. <https://doi.org/10.1007/s42161-025-01910-5>
- Gamboa Santos, J., Rodríguez, J., Carvajal, G., & Pilamala, A. (2016). Aplicación de tecnologías emergentes al procesamiento de frutas con elevada calidad nutricional. – Una revisión. *Revista colombiana de investigaciones agroindustriales*, 3, 57. <https://doi.org/10.23850/24220582.361>
- García Luján, C., Martínez R., A., Ortega S., J. L., & Castro B, F. (2010). Componentes químicos y su relación con las actividades biológicas de algunos extractos vegetales. *Química viva*, 9.
- Gerszberg, A., Hnatuszko-Konka, K., Kowalczyk, T., & Kononowicz, A. K. (2014). *Tomato (Solanum lycopersicum L.) in the service of biotechnology*. <https://doi.org/10.1007/s11240-014-0664-4>
- Gobierno de México. (2022, junio 30). *Elaboración de extractos vegetales*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737322/10_Extractos_vegetales.pdf
- Guzmán-Plazola, P., Guevara-Gutiérrez, R. D., Olguín-López, J. L., & Mancilla-Villa, O. R. (2016). Perspectiva campesina, intoxicaciones por plaguicidas y uso de agroquímicos. *Idesia (Arica)*, 34(3), 69–80. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292016000300009>
- Hernández, A. (2023). *EVALUACIÓN DE ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA (IN VITRO) DE EXTRACTOS VEGETALES DE ARTEMISA LUDOVICIANA NUTT., LEPIDIUM VIRGINICUM L. Y BRICKELLIA VERONICIFOLIA (KUNTH) A. GRAY SOBRE BACTERIAS Y HONGOS FITOPATÓGENOS* [Instituto de Ciencias Agropecuarias]. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/jspui/bitstream/231104/2938/1/AT26617.pdf>
- Hernández García, A., Aquino Torres, E., Rivero Perez, N., Saucedo García, M., Madariaga Navarrete, A., & Zaragoza Bastida, A. (2024). *Evaluación in vitro de la actividad antibacteriana de extractos hidroalcohólicos de Ricinus communis L. y Tagetes erecta L. contra bacterias fitopatógenas*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo- Instituto de Ciencias Agropecuarias.
- Hernández-Soto, I., Prieto-Méndez, J., Madariaga-Navarrete, A., Campos-Montiel, R. G., Jiménez-Alvarado, R., & Hernández-Fuentes, A. D. (2020, julio 5). *Actividad biológica in vitro del extracto acuoso de Argemone mexicana L. en un hongo fitopatógeno: Sclerotinia sclerotiorum*. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icap/issue/archive>

- Herrera, R., Verdecia, D. M., Ramírez, J. L., García, M., & Cruz, A. M. (2017). Secondary metabolites of *Leucaena leucocephala*. Their relationship with some climate elements, different expressions of digestibility and primary metabolites. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 51(1), 107–116.
- Imtiaj, A., Jayasinghe, C., Lee, G. W., & Lee, T.-S. (2008). COMPARATIVE STUDY OF ENVIRONMENTAL AND NUTRITIONAL FACTORS ON THE MYCELIAL GROWTH OF EDIBLE MUSHROOMS. En *JOURNAL OF CULTURE COLLECTIONS* (Vol. 6).
- Jan, R., Asaf, S., Numan, M., Lubna, & Kim, K.-M. (2021). Plant Secondary Metabolite Biosynthesis and Transcriptional Regulation in Response to Biotic and Abiotic Stress Conditions. *Agronomy*, 11(5), 968. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050968>
- Jang, I. C., Park, J. H., Park, E., Park, H. R., & Lee, S. C. (2008). Antioxidative and antigenotoxic activity of extracts from cosmos (*Cosmos bipinnatus*) flowers. *Plant Foods for Human Nutrition*, 63(4), 205–210. <https://doi.org/10.1007/S11130-008-0086-8/METRICS>
- Jang, I.-C., Park, J.-H., Park, E., Park, H.-R., & Lee, S.-C. (2008). Antioxidative and Antigenotoxic Activity of Extracts from Cosmos (*Cosmos bipinnatus*) Flowers. *Plant Foods for Human Nutrition*, 63(4), 205–210. <https://doi.org/10.1007/s11130-008-0086-8>
- Jones, W. P., & Kinghorn, A. D. (2012). *Extraction of Plant Secondary Metabolites* (pp. 341–366). https://doi.org/10.1007/978-1-61779-624-1_13
- Juárez-Becerra, G. P., Sosa-Morales, M. E., & López-Malo, A. (2010). Hongos fitopatógenos de alta importancia económica: descripción y métodos de control. *Temas Selectos de Ingeniería en Alimentos*, 4, 14–23.
- Katanić Stanković, J. S., Srećković, N., Mišić, D., Gašić, U., Imbimbo, P., Monti, D. M., & Mihailović, V. (2020). Bioactivity, biocompatibility and phytochemical assessment of lilac sage, *Salvia verticillata* L. (Lamiaceae) - A plant rich in rosmarinic acid. *Industrial Crops and Products*, 143, 111932. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2019.111932>
- Kulichenko, E. O., Andreeva, O. A., Sergeeva, E. O., Sigareva, S. S., Terekhov, A. Yu., Oganessian, E. T., & Sidorskaya, S. Yu. (2022). PHARMACOLOGICAL ACTIVITY OF EXTRACTS FROM PLANTS OF COSMOS BIPINNATUS CAV. SPECIES. *Pharmacy & Pharmacology*, 10(1), 82–92. <https://doi.org/10.19163/2307-9266-2022-10-1-82-92>
- Kursa, W., Jamiołkowska, A., Wyrostek, J., & Kowalski, R. (2022a). Antifungal Effect of Plant Extracts on the Growth of the Cereal Pathogen *Fusarium* spp.—An In

- Vitro Study. *Agronomy*, 12(12), 3204.
<https://doi.org/10.3390/agronomy12123204>
- Kursa, W., Jamiołkowska, A., Wyrostek, J., & Kowalski, R. (2022b). Antifungal Effect of Plant Extracts on the Growth of the Cereal Pathogen *Fusarium* spp.—An In Vitro Study. *Agronomy*, 12(12), 3204.
<https://doi.org/10.3390/agronomy12123204>
- Leslie, J., & Summerell, B. (2006). *The Fusarium Laboratory Manual* (J. F. Leslie & B. A. Summerell, Eds.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470278376>
- Li, Z., Fan, Y., & Xi, J. (2019). Recent advances in high voltage electric discharge extraction of bioactive ingredients from plant materials. *Food Chemistry*, 277, 246–260. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.119>
- López-Bautista, V., Mora-Aguilera, G., Gutiérrez-Espinosa, M. A., Mendoza-Ramos, C., Martínez-Bustamante, V. I., Coria-Contreras, J. J., Acevedo-Sánchez, G., & Santana-Peñaloza, B. (2019). Morphological and molecular characterization of *Fusarium* spp. associated to the regional occurrence of wilt and dry bud rot in Agave tequilana. *Revista Mexicana de Fitopatología, Mexican Journal of Phytopathology*, 38(1). <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1911-4>
- Ma, L.-J., Geiser, D. M., Proctor, R. H., Rooney, A. P., O'Donnell, K., Trail, F., Gardiner, D. M., Manners, J. M., & Kazan, K. (2013). *Fusarium* Pathogenomics. *Annual Review of Microbiology*, 67(1), 399–416.
<https://doi.org/10.1146/annurev-micro-092412-155650>
- Mavunge Carlos, A. W., Benoliel Navalha, J. M., Monteiro Noel, K. M., & Paixão Antônio, A. (2023). Actividad antimicrobiana in vitro de extractos acuosos de cuatro plantas medicinales sobre *Dermatophilus congolensis*. *Revista de Medicina Veterinaria*, (47), e0005. <https://doi.org/10.19052/mv.vol1.iss47.8>
- Mejía Méndez, G., & Castellanos Suárez, J. A. (2018). Costos de producción y rentabilidad del cultivo de la papa en el municipio de Zacapoaxtla, Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(8), 1651–1661.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v9i8.1721>
- Meléndez, F. C., González, A. Y. V., & González, G. V. (2019). Problemas sociales y ambientales por el uso de agroquímicos en Tenancingo, México. *Tlatemoani: revista académica de investigación*, 10(31), 1–25.
- Mesa, V. A. M., Marín, P. A., Ocampo, O., Calle, J., & Monsalve, Z. (2019). *Fungicidas a partir de extractos vegetales: una alternativa en el manejo integrado de hongos fitopatógenos*.
- Mesa-Vanegas, A. M., Zapata-Urbe, S., Arana, L. M., Zapata, I. C., Monsalve, Z., & Rojano, B. (2015). Actividad antioxidante de extractos de diferente polaridad de *Ageratum conyzoides* L. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas*

- Mohammad Nazrul Islam, B., & Meher, N. (2023). Comparison of the Chemical Composition and Antimicrobial Activity of Two Types of Cosmos (*Cosmos bipinnatus* Cav. and *Bidens ferulifolia* (Jacq.)) Leaf Essential Oils Introduced in Bangladesh. *Journal of Plant Biochemistry & Physiology*, 14(3), 1–5.
- Mokhtar, A., Souhila, T., Nacéra, B., Amina, B., Alghonaim, M. I., Öztürk, M., Alsalamah, S. A., Miara, M. D., Boufahja, F., & Bendif, H. (2023). In Vitro Antibacterial, Antioxidant, Anticholinesterase, and Antidiabetic Activities and Chemical Composition of *Salvia balansae*. *Molecules*, 28(23), 7801. <https://doi.org/10.3390/molecules28237801>
- Montaño Méndez, I. E., Valenzuela Patrón, I. N., & Villavicencio López, K. V. (2021). Competitividad del tomate rojo de México en el mercado internacional: análisis 2003-2017. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(7), 1185–1197. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i7.2531>
- Montaño-Herrera, A., Santiago-Saenz, Y. O., López-Palestina, C. U., Cadenas-Pliego, G., Pinedo-Guerrero, Z. H., Hernández-Fuentes, A. D., & Pinedo-Espinoza, J. M. (2022). Effects of Edaphic Fertilization and Foliar Application of Se and Zn Nanoparticles on Yield and Bioactive Compounds in *Malus domestica* L. *Horticulturae*, 8(6), 542. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8060542>
- Montoya, A. M., Grimaldo, J., & González, G. M. (2024). Identificación fenotípica y molecular de aislamientos clínicos y ambientales de *Fusarium* spp. *Gaceta Médica de México*, 160(5). <https://doi.org/10.24875/GMM.24000256>
- Moshari-Nasirkandi, A., Iaccarino, N., Romano, F., Graziani, G., Alirezalu, A., Alipour, H., & Amato, J. (2024). Chemometrics-based analysis of the phytochemical profile and antioxidant activity of *Salvia* species from Iran. *Scientific Reports*, 14(1), 17317. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-68421-8>
- Olajuyigbe, O., & Ashafa, A. (2014a). Chemical Composition and Antibacterial Activity of Essential Oil of *Cosmos bipinnatus* Cav. Leaves from South Africa. *Iranian journal of pharmaceutical research : IJPR*, 13(4), 1417–1423.
- Olajuyigbe, O., & Ashafa, A. (2014b). Chemical Composition and Antibacterial Activity of Essential Oil of *Cosmos bipinnatus* Cav. Leaves from South Africa. *Iranian journal of pharmaceutical research : IJPR*, 13(4), 1417–1423.
- Omotayo, O. P., & Babalola, O. O. (2023). *Fusarium verticillioides* of maize plant: Potentials of propitious phytomicrobiome as biocontrol agents. *Frontiers in Fungal Biology*, 4. <https://doi.org/10.3389/ffunb.2023.1095765>

- Ortega, R., Calzada, F., Fortis-Barrera, Á., Solares-Pascasio, J., & Alarcón-Aguilar, F. J. (2024). Ethnobotanical Medicine, Pharmacology and Phytochemistry of the Species *Salvia* del Valle de México: A Review. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 68(4), 774–832. <https://doi.org/10.29356/jmcs.v68i4.2288>
- Pio Martínez, J. (2021). Agricultura y alimentación en México. Evolución, desempeño y perspectivas. *Relaciones Estudios de Historia y Sociedad*, 41(162), 267. <https://doi.org/10.24901/rehs.v41i162.770>
- Ramírez Juárez, J. (2022). Seguridad alimentaria y la agricultura familiar en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(3), 553–565. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i3.2854>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9–10), 1231–1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Rivero-Perez, N., Hernández-Alvarado, J. L., Valladares-Carranza, B., Delgadillo-Ruiz, L., Ojeda-Ramírez, D., Sosa-Gutiérrez, C. G., Morales-Ubaldo, A. L., Vega-Sanchez, V., & Zaragoza-Bastida, A. (2019). *Salix babylonica* L. as a Natural Anticoccidial Alternative in Growing Rabbits. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2019, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2019/2107231>
- Rodríguez-Grimaldo, J. E., González, G. M., & Montoya, A. M. (2023). Fusarium: un fitopatógeno que amenaza la salud humana. *Revista Ciencia UANL*, 25(114), 37–43. <https://doi.org/10.29105/cienciauani25.114-1>
- Rolnik, A., & Olas, B. (2021). The Plants of the Asteraceae Family as Agents in the Protection of Human Health. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(6), 3009. <https://doi.org/10.3390/ijms22063009>
- Rosa, C. da, Câmara, S. G., & Béria, J. U. (2011). Representações e intenção de uso da fitoterapia na atenção básica à saúde. *Ciência & Saúde Coletiva*, 16(1), 311–318. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232011000100033>
- SADER. (2017). *Ficha Técnica: Fusarium verticillioides en agave*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/244027/Ficha_Tecnica_Fusarium_verticillioides_en_agave_Versi_n_FINAL.pdf.
- SADER. (2020a). *México, nación fundada en el campo*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/mexico-nacion-fundada-en-el-campo>.
- SADER. (2020b, julio 4). *La papa como alimento básico*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/la-papa-como-alimento-basico>.

- SADER. (2021, marzo 30). *La riqueza de México es el maíz*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/la-riqueza-de-mexico-es-el-maiz>.
- SADER. (2022, marzo 22). *El jitomate, hortaliza mexicana de importancia mundial*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-jitomate-hortaliza-mexicana-de-importancia-mundial?idiom=es>.
- Santana-Baños, Y., Del Busto-Concepción, A., Rodríguez-Espinosa, F. L., Carrodegua-Díaz, S., Cándano-Sánchez, A., & Dago-Dueñas, Y. (2022a). Efecto alelopático de extractos acuosos de *Azadirachta indica* en la germinación de *Solanum lycopersicum*. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 23(3). https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num3_art:2734
- Santana-Baños, Y., Del Busto-Concepción, A., Rodríguez-Espinosa, F. L., Carrodegua-Díaz, S., Cándano-Sánchez, A., & Dago-Dueñas, Y. (2022b). Efecto alelopático de extractos acuosos de *Azadirachta indica* en la germinación de *Solanum lycopersicum*. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 23(3). https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num3_art:2734
- Savary, S., Bregaglio, S., Willocquet, L., Gustafson, D., Mason D'Croz, D., Sparks, A., Castilla, N., Djurle, A., Allinne, C., Sharma, M., Rossi, V., Amorim, L., Bergamin, A., Yuen, J., Esker, P., McRoberts, N., Avelino, J., Duveiller, E., Koo, J., & Garrett, K. (2017). Crop health and its global impacts on the components of food security. *Food Security*, 9(2), 311–327. <https://doi.org/10.1007/s12571-017-0659-1>
- SEMARNAT. (2021, marzo 29). *Plantas medicinales de México*. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/plantas-medicinales-de-mexico>.
- SIAP. (2024, agosto 1). *Panorama agroalimentario 2018-2024*. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/panorama-agroalimentario-258035>
- Singh, N. K., Baranwal, J., Pati, S., Barse, B., Khan, R. H., & Kumar, A. (2023). Application of plant products in the synthesis and functionalisation of biopolymers. *International Journal of Biological Macromolecules*, 237, 124174. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124174>
- Solórzano-Solórzano, J. A., Vélez Zambrano, S. M., & Vélez Olmedo, J. B. (2024). *Fusarium spp.* in corn crops: Identification, geographic distribution, symptoms, mycotoxins, disease cycle, control, and current and future challenges. *Scientia Agropecuaria*, 15(4), 537–556. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2024.040>
- Soto-García, M., & Rosales-Castro, M. (2016). Efecto del solvente y de la relación masa/solvente, sobre la extracción de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de extractos de corteza de *Pinus durangensis* y *Quercus*

- sideroxylla. *Maderas. Ciencia y tecnología*, (ahead), 0–0. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2016005000061>
- Tapia, C., & Amaro, J. (2014). Género *Fusarium*. *Revista chilena de infectología*, 31(1), 85–86. <https://doi.org/10.4067/S0716-10182014000100012>
- Tijitaresmi, A., Moektiwardoyo, M., Susilawati, Y., & Shiono, Y. (2020). *Antimalarial Activity of Lamiaceae Family Plants: Review*.
- Truong, D.-H., Nguyen, D. H., Ta, N. T. A., Bui, A. V., Do, T. H., & Nguyen, H. C. (2019). Evaluation of the Use of Different Solvents for Phytochemical Constituents, Antioxidants, and *In Vitro* Anti-Inflammatory Activities of *Severinia buxifolia*. *Journal of Food Quality*, 2019, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2019/8178294>
- Twaij, B. M., & Hasan, Md. N. (2022). Bioactive Secondary Metabolites from Plant Sources: Types, Synthesis, and Their Therapeutic Uses. *International Journal of Plant Biology*, 13(1), 4–14. <https://doi.org/10.3390/ijpb13010003>
- Urías-Rivas, M. O., Benitez-Diequez, I., & Bojórquez-López, M. (2024). Efectos de las prácticas de agroquímicos en la salud humana y el medio ambiente en la agricultura sostenible. *Revista Ra Ximhai*, 20(2), 151–171. <https://doi.org/10.35197/RX.20.02.2024.07.MU>
- Uritu, C. M., Mihai, C. T., Stanciu, G.-D., Dodi, G., Alexa-Stratulat, T., Luca, A., Leon-Constantin, M.-M., Stefanescu, R., Bild, V., Melnic, S., & Tamba, B. I. (2018). Medicinal Plants of the Family Lamiaceae in Pain Therapy: A Review. *Pain Research and Management*, 2018, 1–44. <https://doi.org/10.1155/2018/7801543>
- Vargas-Amado, G., Castro-Castro, A., Harker, M., Luis Villaseñor, J., Ortiz, E., & Rodríguez, A. (2013). Distribución geográfica y riqueza del género *Cosmos* (Asteraceae: Coreopsideae). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84(2), 536–555. <https://doi.org/10.7550/rmb.31481>
- Vieira, S. F., Ferreira, H., & Neves, N. M. (2020). Antioxidant and Anti-Inflammatory Activities of Cytocompatible *Salvia officinalis* Extracts: A Comparison between Traditional and Soxhlet Extraction. *Antioxidants*, 9(11), 1157. <https://doi.org/10.3390/antiox9111157>
- Villa-Martínez, A., Pérez-Leal, R., Morales-Morales, H. A., Basurto-Sotelo, M., Soto-Parra, J. M., & Martínez-Escudero, E. (2014). Situación actual en el control de *Fusarium* spp. y evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales. *Acta Agronómica*, 64(2), 194–205. <https://doi.org/10.15446/acag.v64n2.43358>
- Villavicencio Nieto, M. A., & Pérez Escandón, B. Estela. (2013). *Plantas medicinales del estado de Hidalgo*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

- Volcy, C. (2016). Historia de los conceptos de causa y enfermedad: paralelismo entre Medicina y Fitopatología. *Revista de la Universidad Nacional de Colombia*, 13, 86–97. <https://www.redalyc.org/pdf/1805/180513860007.pdf>
- Waterman, P. G. ., & Mole, Simon. (1994). *Analysis of phenolic plant metabolites*. Blackwell Scientific.
- Yuen, J. (2021). Pathogens which threaten food security: Phytophthora infestans, the potato late blight pathogen. *Food Security*, 13(2), 247–253. <https://doi.org/10.1007/s12571-021-01141-3>
- Zepeda Jazo, I. (2018). Manejo sustentable de plagas agrícolas en México. *Agricultura Sociedad y Desarrollo*, 15(1). <https://doi.org/10.22231/asyd.v15i1.752>