



Artículo Científico

Sensibilidad de *Colletotrichum truncatum* aislado de plantas de *Echeveria gibbiflora* a diferentes biofungicidas

José Terrones Salgado^{1*}, Carlos David Carretillo Moctezuma², José Francisco Díaz Nájera³, Sergio Ayvar Serna³, José Luis Arispe Vázquez⁴, César Flores de los Ángeles⁵, Nicolás Álvarez Acevedo¹. ¹Decanato de Ciencias de la Vida y la Salud, Escuela de Ingeniería en Agronomía, Centro de Investigación en Horticultura y Plantas Nativas, UPAEP University, 21 sur No. 1103, Puebla, Puebla, CP 72410, México. ²Facultad de Matemáticas, Universidad Autónoma de Guerrero, Av. Lázaro Cárdenas S/N, Chilpancingo de los Bravo, Guerrero, CP 39087, México. ³Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero, Fitotecnia, Iguala de la Independencia, Guerrero, CP 40000, México. ⁴Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Km 2.5 Carretera Iguala-Tuxpan, Colonia Centro Tuxpan, Iguala de la Independencia, Guerrero, CP 40000, México. ⁵Laboratorio de Diagnóstico Molecular, UPAEP University, 21 sur No. 1103, Puebla, Puebla, CP 72410, México.

*Autor de correspondencia:
José Terrones Salgado
jose.terrones@upaep.mx

Sección:
Número Especial

Recibido:
15 Noviembre, 2024
Aceptado:
20 Marzo, 2025
Publicado:
02 Abril, 2025

Cita:
Terrones SJ, Carretillo MCD, Díaz NJF, Ayvar SS, Arispe VL, et al., 2025. Sensibilidad de *Colletotrichum truncatum* aislado de plantas de *Echeveria gibbiflora* a diferentes biofungicidas. Revista Mexicana de Fitopatología 43(4): 59. <https://doi.org/10.18781/R.ME.X.FIT.2024-16>

RESUMEN

Antecedentes/Objetivo. *Colletotrichum truncatum* es un hongo fitopatógeno que induce la enfermedad de antracnosis en hojas de *Echeveria gibbiflora* (tememetla), una especie nativa de México de gran valor ornamental. El objetivo fue evaluar la sensibilidad de *C. truncatum* aislado de plantas *E. gibbiflora* a 11 biofungicidas, como una alternativa para el manejo integrado de la enfermedad.

Materiales y Métodos. Mediante pruebas de sensibilidad, se determinó el porcentaje de inhibición del crecimiento del hongo en medio PDA modificado con cada biofungicida en concentraciones de 0, 1, 10, 100, 500 y 1000 mg L⁻¹. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado en arreglo factorial 11 × 6 (11 biofungicidas × seis concentraciones) y cuatro repeticiones. Se determinó la concentración efectiva para 50 % de inhibición (CE₅₀) mediante regresión logística.

Resultados. *C. truncatum* aislado de *E. gibbiflora* fue más sensible al aceite de *Melaleuca alternifolia* (CE₅₀ = 109.23 mg L⁻¹), extracto de *Reynoutria sachalinensis* (CE₅₀ = 168.76 mg L⁻¹) y *Bacillus amyloliquefaciens* QST 713 (CE₅₀=61.07 mg L⁻¹) en condiciones *in vitro*. El aceite de *Laminaria digitata* (CE₅₀ = 19.95 mg L⁻¹), aceites esenciales de *Thymus vulgaris* y *Mentha spicata* (CE₅₀ = 112.47 mg L⁻¹) y el extracto de *Larrea tridentata* y *Ricinus communis* (CE₅₀ = 78.51 mg L⁻¹) inhibieron más de 50 % el crecimiento del hongo.

Conclusión. El aceite de *L. digitata*, aceites esenciales de *T. vulgaris* y *M. spicata* y el extracto de *L. tridentata* y *R. communis* tienen efecto inhibitorio en el crecimiento del hongo superior a 50 %. Estos resultados contribuyen al conocimiento sobre el manejo integrado del *C. truncatum* causante de antracnosis en hoja de *E. gibbiflora* con la aplicación de biofungicidas.



Palabras clave: Biofungicidas, Biocontrol, CE₅₀, Sensibilidad, Hongos, Tememetla, Fitopatógenos

INTRODUCCIÓN

El género *Echeveria* pertenece a la familia Crassulaceae, corresponde a un grupo de plantas endémicas del continente americano de hojas suculentas y de bajos requerimientos agronómicos. De este género, México cuenta con 83 % de la diversidad de especies (Reyes-Santiago *et al.*, 2011a; Reyes-Santiago *et al.*, 2011b; Schoch *et al.*, 2020).

En este género sobresale *Echeveria gibbiflora* (tememetla, oreja de burro, lengua de vaca, estrella de coral) una de las especies nativas mexicanas con gran potencial en la floricultura por su capacidad para desarrollarse en ambientes adversos, la belleza de sus hojas, el tamaño de sus inflorescencias (1 m de longitud), cantidad de racimos (hasta 12 por inflorescencia), el atractivo de sus flores rosa brillante y la aparición continua de nuevos brotes (Reyes-Santiago *et al.*, 2015), son características que la hacen una excelente opción para su comercialización, tanto en maceta, como para flor de corte (Leszczyńska-Borys, 2003).

Por otra parte, uno de los factores que influyen en la calidad de las plantas del género *Echeveria* es el ataque de diversas enfermedades fungosas como antracnosis inducida por *Colletotrichum destructivum* (Yao *et al.*, 2020), cenicilla por *Erysiphe* sp. (Shi *et al.*, 2019), podredumbre del tallo por *Fusarium oxysporum* (Yao *et al.*, 2021), marchitez vascular por *F. oxysporum* f. sp. *echeveriae* (Ortu *et al.*, 2015), mancha foliar fúngica (*Cladosporium tenuissimum*) (Jo *et al.*, 2018), moho blanco (*Sclerotinia sclerotiorum*) (Terrones *et al.*, 2024) y antracnosis inducida por *Colletotrichum truncatum* (Apáez *et al.*, 2025). Es frecuente que para el manejo de enfermedades en zonas urbanas se apliquen pesticidas químicos de manera inadecuada, lo que implica la liberación de residuos tóxicos al ambiente, lo cual representa un riesgo para la salud humana y medio ambiente (Meftaul *et al.*, 2020), ya sea de manera directa mediante la bioacumulación, o bien, indirecta por medio de la cadena alimenticia (Parra-Arroyo *et al.*, 2022), por lo que surge la necesidad de generar estrategias sustentables para el manejo de enfermedades en plantas de ornato para zonas urbanas que permitan disminuir la resistencia de los patógenos a pesticidas químicos y contribuyan a la reducción de contaminación de suelos y mantos acuíferos (Reyes *et al.*, 2015). Los biofungicidas a base de aceites vegetales, extractos vegetales y microorganismos antagonistas sugieren posibles aplicaciones en el control biológico *in vitro* de *C. truncatum* aislado de *E. gibbiflora*. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar la sensibilidad de *C. truncatum* que induce antracnosis en hojas de *E. gibbiflora* a 11 biofungicidas, como alternativa para el manejo integrado de la enfermedad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Origen del aislamiento. Se utilizó un aislamiento obtenido de plantas de *E. gibbiflora* cultivadas en el Centro de Investigación en Horticultura y Plantas Nativas de UPAEP University, ubicado en Atlixco, Puebla, México, donde se observó síntomas de antracnosis en hojas, con una incidencia y severidad de 45 y 40 %, respectivamente. El hongo que indujo la enfermedad se aisló (aislamiento CtEg2) y caracterizó patogénica, cultural, morfológica, morfométrica, molecular y filogenéticamente en un estudio previo e identificado como *Colletotrichum truncatum* (GenBank. ITS: PP406307; TUB2: PP616679; GAPDH: PP616680; ACT: PP616681) (Apáez *et al.*, 2025).

Preparación de medios de cultivo modificado y siembra de *C. truncatum*. Con el método de medio de cultivo envenenado (Barroso *et al.*, 2021; Guerrero *et al.*, 2007), se evaluó la sensibilidad del aislamiento de *C. truncatum* con 11 biofungicidas (Cuadro 1). Todos los biofungicidas se probaron con seis concentraciones, 0 (testigo), 1, 10, 100, 500 y 1000 mg L⁻¹. Se utilizó medio de cultivo papa dextrosa agar (PDA) modificado con los biofungicidas vertido en cajas Petri (100 × 15 mm). Posteriormente se sembró un disco de 5 mm de PDA con crecimiento activo de *C. truncatum* de siete días de edad y las cajas se incubaron en oscuridad a 25 ± 1 °C (Iturbide *et al.*, 2017).

Cuadro 1. Efecto de diferentes biofungicidas en la sensibilidad de *C. truncatum* aislado de *E. gibbiflora*.

Tratamiento	Nombre Comercial	Ingrediente activo	% ^y	CE50 (mg L ⁻¹)
T1	Timorex [®] Gold, Syngenta	<i>Melaleuca alternifolia</i> ^v	23.8	109.23
T2	REGALIA [®] MAXX, FMC	<i>Reynoutria sachalinensis</i> ^w	20	168.76
T3	Serenade [®] ASO, Bayer	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> QST 713 ^x	1.34 ^z	61.07
T4	Vacciplant [®] , Arysta	<i>Laminaria digitata</i> ^v	4.5	19.95
T5	Nopath [®] , Koppert	<i>Thymus vulgaris</i> , <i>Mentha spicata</i> ^v	32	112.47
T6	OrgFung [®] , Gowan	<i>Larrea tridentata</i> ^w <i>Syzygium aromaticum</i> , <i>Piper nigrum</i> , <i>Ricinus communis</i> , <i>Ruta graveolens</i> ^w	4	99.47
T7	FungiBest control, AgriBest	<i>Larrea tridentata</i> , <i>Ricinus communis</i> ^w	10	71.55
T8	Bio Gober Plus [®] , BioNutra	<i>Larrea tridentata</i> , <i>Ricinus communis</i> ^w <i>Lippia graveolens</i> , <i>Cinnamum verum</i> ,	82.5	78.51
T9	Bacter F [®] , BioNutra	<i>Ricinus communis</i> ^w	31.9	27.57
T10	Naturdai MIM [®] , Idainature	<i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Quercus robur</i> ^w	8.3	60.15
T11	Protector Plus [®] , BioNutra	Sales de potasio ^w	41.9	295.7

^v Aceite vegetal; ^w Extracto vegetal; ^x Antagonista; ^y Concentración del ingrediente activo en la formulación del producto; ^z 1×10⁹ UFC por gramo de producto formulado.

Determinación del porcentaje de inhibición. El diámetro de la colonia se midió cada 24 h durante 12 días (tiempo que tardó en que se llenaran las cajas Petri testigo con micelio del hongo) en dos direcciones perpendiculares utilizando un vernier digital (Truper®, México) y con los datos obtenidos se calculó el porcentaje de inhibición del crecimiento (PIC) con la fórmula de Abbott (1925): $PIC = \left(\frac{Dc - Dt}{Dc} \right) \times 100$ donde: PIC: Porcentaje de inhibición del crecimiento; Dc: Diámetro del control; Dt: Diámetro del tratamiento (García *et al.*, 2021).

Diseño experimental. Fue un experimento factorial, con arreglo en un diseño completamente aleatorizado, 11×6 [11 biofungicidas con seis concentraciones (0, 1, 10, 100, 500 y 1000 mg L⁻¹) cada uno] con 66 tratamientos, cuatro repeticiones y 264 unidades experimentales, cada una consistió en una caja Petri de 100 × 15 mm, se realizaron dos repeticiones del experimento.

Análisis de datos. Los datos obtenidos se sometieron a pruebas de normalidad, utilizando la prueba de Shapiro-Wilk, así mismo, para la prueba de homogeneidad de varianza, se utilizó el test de Levene, el nivel de significancia utilizado fue de $\alpha=0.05$. Se realizó un análisis de concentración-respuesta para evaluar la efectividad biológica de 11 biofungicidas diferentes en términos de inhibición porcentual. Los datos se ajustaron a un modelo log-logístico para determinar la concentración efectiva para 50 % de inhibición (CE₅₀) para cada biofungicida. Se llevó a cabo un análisis de varianza y la prueba de Tukey para realizar comparaciones múltiples entre el porcentaje de inhibición del crecimiento micelial de los 11 biofungicidas, con un nivel de significancia de 5 %. Todas las pruebas estadísticas se llevaron a cabo en el programa R versión 4.3.2.

RESULTADOS

La concentración efectiva para el 50 % de inhibición (CE₅₀) fue diferente en cada biofungicida, para el aceite de *M. alternifolia* fue de 109.23 mg L⁻¹, mientras que para el extracto de *R. sachalinensis* fue de 168.76 mg L⁻¹. En el caso de *B. amyloliquefaciens* QST 713, la estimación de CE₅₀ fue de 61.07 mg L⁻¹, en el aceite de *L. digitata* la CE₅₀ fue de 19.95 mg L⁻¹, respecto a los aceites esenciales de *T. vulgaris* y *M. spicata* se observó una CE₅₀ de 112.47 mg L⁻¹. Para el caso de los extractos de *L. tridentata* y *R. communis* se identificó una CE₅₀ de 78.51 mg L⁻¹, se observó una CE₅₀ de 71.55 mg L⁻¹ en los extractos de *S. aromaticum*, *P. nigrum*, *R. communis* y *R. graveolens*; el extracto de *L. tridentata* obtuvo un valor de 99.47 mg L⁻¹, la CE₅₀ de los extractos de *L. graveolens*, *C. verum* y *R. communis*, presentó un valor de 27.57 mg L⁻¹, en el extracto de *M. tenuiflora* y *Q. robur*, se encontró una CE₅₀ de 60.15 mg L⁻¹, finalmente se determinó la CE₅₀ de las sales de potasio ricas en ácidos grasos con un valor de 295.70 mg L⁻¹ (Cuadro 1, Figura 1).

Los valores de estimación de concentración efectiva al 50 % (error estándar y valor de t y p) indicaron que la estimación es altamente significativa ($p < 0.001$) en todos los biofungicidas, excepto en los aceites esenciales de *T. vulgaris* y *M. spicata*, ya que según los valores la estimación es significativa ($p < 0.05$) (Cuadro 1).

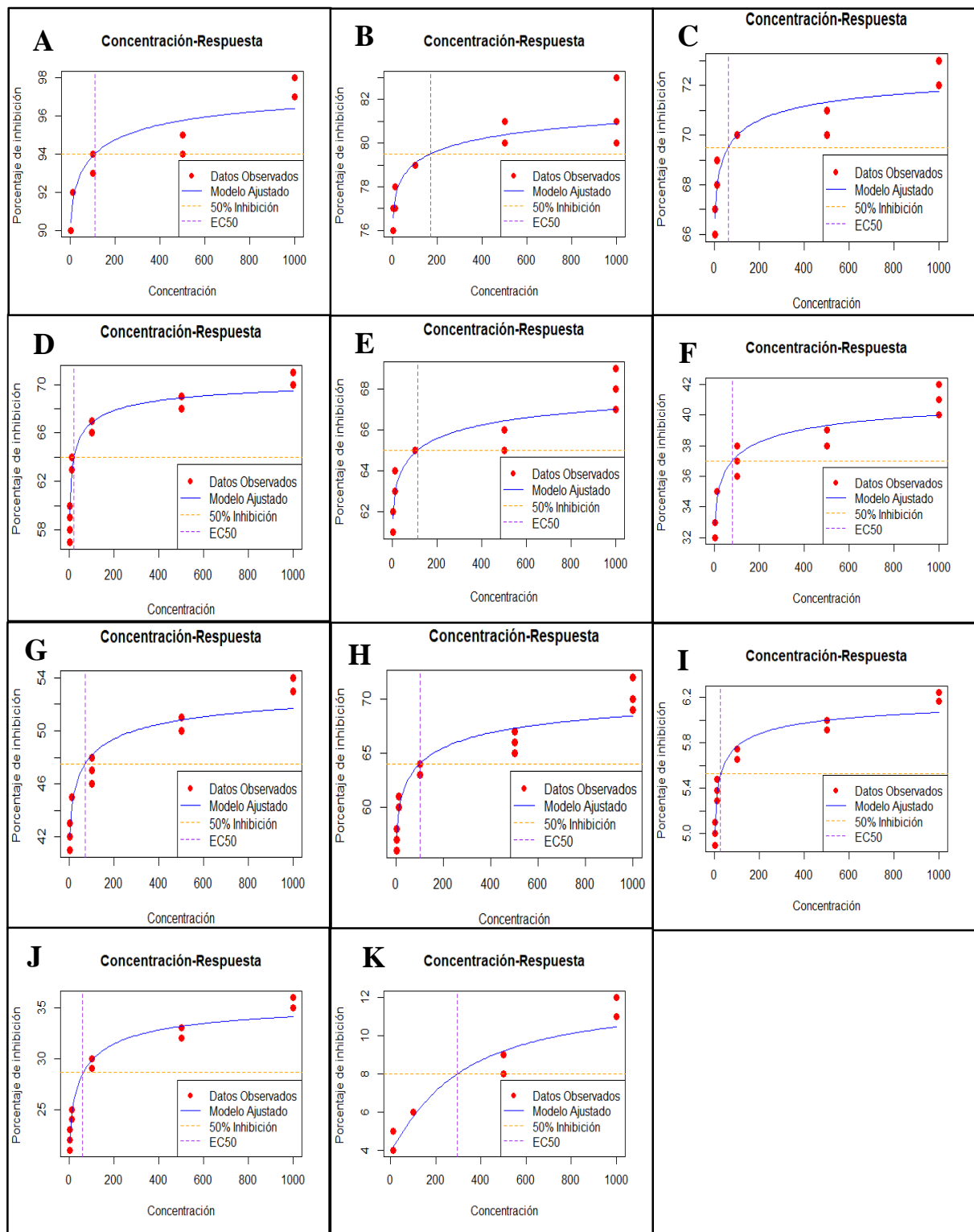


Figura 1. Concentración respuesta y CE_{50} de 11 biofungicidas contra *C. truncatum* aislado de *E. gibbiflora*. A) aceite de *M. alternifolia*; B) extracto de *R. sachalinensis*; C) *B. amyloliquifaciens* QST 713; D) aceite de *L. digitata*; E) aceites esenciales de *T. vulgaris* y *M. spicata*; F) extractos de *L. tridentata* y *R. communis*; G) cinamaldehído, extractos de *S. aromaticum*, *P. nigrum*, *R. communis* y *R. graveolens*; H) extracto de *L. tridentata*; I) extractos de *L. graveolens*, *C. verum* y *R. communis*; J) extracto de *M. tenuiflora* y *Q. robur*; K) sales de potasio ricas en ácidos grasos.

Al realizar el análisis de varianza, mostró diferencias significativas entre los porcentajes de inhibición de crecimiento micelial de los biofungicidas (p-valor < 2e-16***). La prueba de Tukey se utilizó para realizar comparaciones múltiples entre los porcentajes de inhibición del crecimiento micelial de los 11 biofungicidas, con un nivel de significancia de 5 %. La variabilidad residual es relativamente baja (MSerror = 3.94), lo que sugiere que el modelo se ajusta bien a los datos observados. El coeficiente de variación fue de 3.65 %, lo cual indica que la variabilidad de los datos es relativamente baja en comparación con la media observada (53.46 %), la prueba de comparación de medias de Tukey mostró grupos estadísticamente distintos.

El tratamiento a base de aceite de *M. alternifolia*, fue significativamente diferente al resto de los tratamientos presentando el mayor porcentaje de inhibición del crecimiento micelial con un valor de 93.6 %, mientras que el biofungicida compuesto por sales de potasio ricas en ácidos grasos fue significativamente diferente al resto de los tratamientos, ya que presentó el menor porcentaje de inhibición de crecimiento micelial con un valor de 7.63 %. Los biofungicidas compuestos por extracto de *R. sachalinensis*, *B. amyloliquefaciens* QST 713, aceite de *L. digitata*, aceites esenciales de *T. vulgaris* y *M. spicata* y el extracto de *L. tridentata* presentaron porcentajes de inhibición superiores a 50 %, con valores de 78.85, 69.5, 65.4, 64.55 y 63.4 %, respectivamente (Figura 2).

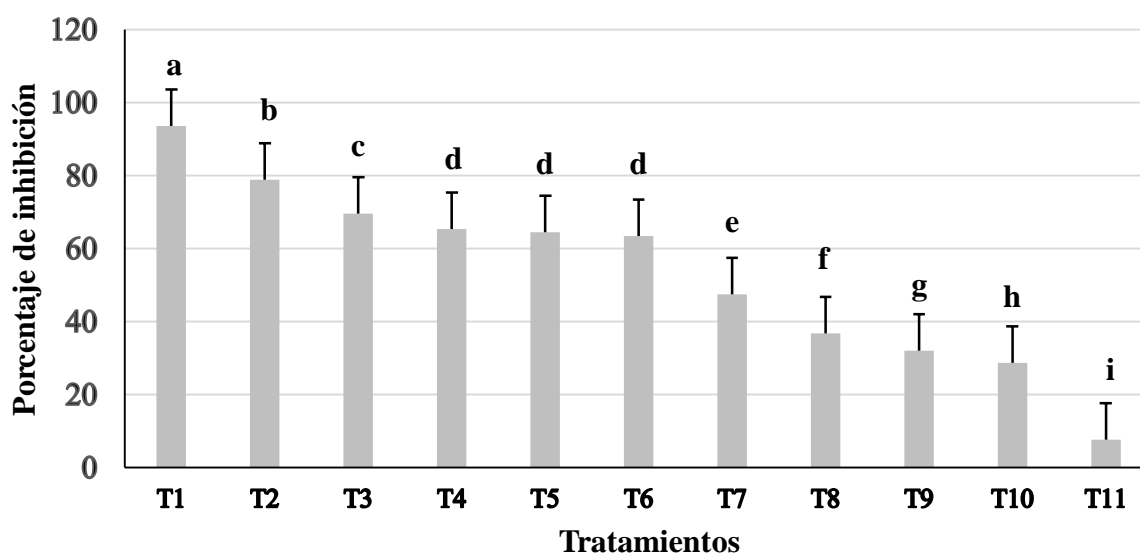


Figura 2. Porcentaje de inhibición del crecimiento micelial de *C. truncatum* aislado de *E. gibbiflora*, evaluado con 11 biofungicidas *in vitro*. Los valores medios seguidos por las mismas letras, son estadísticamente similares (Tukey $\alpha = 0.05$) según la prueba de diferencia significativa honesta de Tukey. T1= aceite de *M. alternifolia*; T2= extracto de *R. sachalinensis*; T3= *B. amyloliquefaciens* QST 713; T4= aceite de *L. digitata*; T5= aceites esenciales de *T. vulgaris* y *M. spicata*; T6= extracto de *L. tridentata*; T7= cinamaldehído, extractos de *S. aromaticum*, *P. nigrum*, *R. communis* y *R. graveolens*; T8= extractos de *L. tridentata* y *R. communis*; T9= extractos de *L. graveolens*, *C. verum* y *R. communis*; T10= extracto de *M. tenuiflora* y *Q. robur*; y T11= sales de potasio ricas en ácidos grasos.

Se calculó el porcentaje de inhibición del crecimiento micelial de *C. truncatum*, por cada una de las seis concentraciones (0, 1, 10, 100, 500 y 1000 mg L⁻¹) de los 11 biofungicidas evaluados, en la concentración 0 mg L⁻¹ el porcentaje de inhibición fue 0 % en todos los biofungicidas, cuando se evaluó 1 mg L⁻¹ el porcentaje de inhibición varió de 0.5 a 90.0 %, cuando se probó la concentración de 10 mg L⁻¹ el porcentaje de inhibición se mantuvo en un rango de 4.8 a 92.0 %, mientras que cuando se probó 100 mg L⁻¹ se identificó un rango de 6.0 a 93.8 % de inhibición, en la concentración de 500 mg L⁻¹ los valores de porcentaje de inhibición encontrados fueron de 8.3 a 94.8 %, finalmente, cuando se utilizó una concentración de 1000 mg L⁻¹ se detectó que el porcentaje de inhibición del crecimiento micelial osciló de 11.5 a 97.5, en el 100 % de las concentraciones utilizadas, el tratamiento a base de sales de potasio presentó los valores más bajos de porcentaje de inhibición, mientras que el tratamiento a base de aceite de *M. alternifolia* presentó los valores más altos (Cuadro 2), además, se pudo observar que en todos los biofungicidas evaluados, el porcentaje de inhibición fue incrementando,

Cuadro 2. Efecto de diferentes biofungicidas en el porcentaje de inhibición de crecimiento micelial de *C. truncatum* aislado de *E. gibbiflora*.

Tratamiento	Nombre comercial	Ingrediente activo	% ^y	Concentración (mg L ⁻¹) / porcentaje de inhibición de crecimiento micelial				
				1	10	100	500	1000
T1	Timorex [®] Gold, Syngenta	<i>Melaleuca alternifolia</i> ^v	23.8	90.0	92.0	93.8	94.8	97.5
T2	REGALIA [®] MAXX, FMC	<i>Reynoutria sachalinensis</i> ^w <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> QST	20	76.3	77.8	79.0	80.3	81.0
T3	Serenade [®] ASO, Bayer	713 ^x	1.34 ^z	66.3	68.3	70.0	70.5	72.5
T4	Vacciplant [®] , Arysta	<i>Laminaria digitata</i> ^v	4.5	58.5	63.8	66.3	68.3	70.3
T5	Nopath [®] , Koppert	<i>Thymus vulgaris</i> , <i>Mentha spicata</i> ^v	32	61.3	63.3	65.0	65.3	68.0
T6	OrgFung [®] , Gowan	<i>Larrea tridentata</i> ^w <i>Syzygium aromaticum</i> , <i>Piper nigrum</i> , <i>Ricinus communis</i> , <i>Ruta graveolens</i> ^w	4	57.0	60.5	63.3	66.0	70.3
T7	FungiBest control, AgriBest	<i>Larrea tridentata</i> , <i>Ricinus communis</i> ^w	10	42.0	45.0	47.0	50.3	53.3
T8	Bio Gober Plus [®] , BioNutra	<i>Larrea tridentata</i> , <i>Ricinus communis</i> ^w	82.5	32.5	32.5	37.0	38.8	40.8
T9	Bacter F [®] , BioNutra	<i>Lippia graveolens</i> , <i>Cinnamum verum</i> , <i>Ricinus communis</i> ^w	31.9	25.0	29.0	32.3	35.3	38.8
T10	Naturdai MIM [®] , Idainature	<i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Quercus robur</i> ^w	8.3	21.8	24.8	29.5	32.3	35.5
T11	Protector Plus [®] , BioNutra	Sales de potasio ^w	41.9	0.5	4.8	6.0	8.3	11.5

^v Aceite vegetal; ^w Extracto vegetal; ^x Antagonista; ^y Concentración del ingrediente activo en la formulación del producto; ^z 1×10⁹ UFC por gramo de producto formulado

conforme incrementaba la concentración, por ejemplo, para el caso del aceite de *M. alternifolia* cuando se evaluaron concentraciones de 1, 10, 100, 500 y 1000 mg L⁻¹, se identificaron valores de porcentaje de inhibición de crecimiento de micelio de *C. truncatum* de 90.0, 92.0, 93.8, 94.8 y 97.5 respectivamente. Los biofungicidas compuestos por extracto vegetal de *L. tridentata*, aceite vegetal de *T. vulgaris* y *M. spicata*, aceite vegetal de *L. digitata*, antagonista *B. amyloliquefaciens* QST 713, extracto vegetal de *R. sachalinensis* y aceite vegetal de *M. alternifolia*, presentaron porcentajes de inhibición de crecimiento micelial superiores a 50 % (Cuadro 2).

DISCUSIÓN

El cálculo de la CE₅₀ de cada producto, permitió identificar que siete biofungicidas (64 %) tuvieron efectividad a concentraciones menores de 100 mg L⁻¹ y 4 de ellos (36 %) a concentraciones entre 101 y 300 mg L⁻¹, donde los biofungicidas más eficientes en el control de *C. truncatum*, fueron el aceite de *M. alternifolia*, extracto de *R. sachalinensis* y *B. amyloliquefaciens* QST 713, con una efectividad en el control a concentraciones relativamente bajas de 109.23, 168.76 y 61.07 mg L⁻¹, respectivamente.

De acuerdo con Quyen y Quoc (2024) los aceites esenciales del extracto de *M. alternifolia* contiene 45 compuestos, de los cuales terpinen-4-ol corresponde al principal compuesto (44.55 %) asociado con actividad antioxidante y antimicrobiana. Asimismo, se ha documentado que el mecanismo de acción de este aceite esencial en *Penicillium expansum*, es sobre la membrana plasmática del hongo, es desconocido si se debe a la alteración de la estructura de la membrana o al cambio en la permeabilidad de esta, sin embargo, se reportó que la exposición del hongo por 4 horas a la fase de vapor del aceite esencial de *M. alternifolia* provocó pérdida de ADN, proteína y glucosa, así como daño lipídico (da Rocha *et al.*, 2019).

En relación con el control de algunas especies de *Colletotrichum*, do Nascimento *et al.* (2019) encontraron que con una concentración de 25 µL de aceite esencial de *M. alternifolia* se inhibe la germinación de esporas de *Colletotrichum gloeosporioides* aislado de plantas de pimiento (*Capsicum annuum*) en 100 %. Por su parte, da Costa *et al.* (2023) reportaron que la CE₁₀₀ sobre el crecimiento micelial de *C. musae* en cultivo *in vitro* se logró con una concentración de 2.15 µg mL⁻¹ de aceite esencial de *M. alternifolia*, mientras que tratamientos de frutos de plátanos con emulsiones acuosas del aceite esencial reducen en más de 80 % la severidad de antracnosis inducida por *C. musae* sin tener efectos fitotóxicos. Estos datos concuerdan con los resultados presentados en esta investigación, por el contrario, en un estudio realizado por Kiranmayee *et al.* (2020) al evaluar el efecto de ocho aceites esenciales en el crecimiento *in vitro* de *C. gloeosporioides* aislado de tallos y raíces de granada (*Punica granatum*), mostró que el aceite esencial de *M. alternifolia* tuvo un menor efecto en concentraciones de 0.5, 1.0 y 2.0 %, comparado con aceite de tomillo (*T. vulgaris*) y de clavo (*S. aromaticum*), los cuales fueron los biofungicidas más efectivos en la inhibición del crecimiento micelial, lo cual sugiere que para evaluar el efecto fungicida de *M. alternifolia* se deben tomar en cuenta varios factores como la especie del patógeno, el hospedante del cual fue aislado, la concentración del biofungicida y el ambiente.

Por otra parte, se ha demostrado que *M. alternifolia* tiene efecto sobre el crecimiento de otras especies de hongos fitopatógenos, tal como se indica en una investigación realizada por Rani y Tripathi (2022) donde con una dosis de 0.02 % de aceite esencial de *M. alternifolia* se reportó 100 % de la inhibición en la germinación de esporas de *Botrytis cinerea* aislado de frutos de chile (*C. annuum*), de igual manera, los autores indican que la aplicación de este aceite como fumigante y en tratamientos de inmersión de los frutos incrementa la vida de anaquel del chile. También se evaluó la sensibilidad del hongo *Alternaria alternata* al aceite esencial de *M. alternifolia* donde se utilizaron 11 concentraciones que oscilaron de 0.0125 a 1.0 %, se identificó que la concentración en la que se alcanzó la inhibición completa fue de 0.2 %; mientras que, al hacer la evaluación *in vivo* mediante tratamientos de la semilla de frijol caupí (*Vigna unguiculata*) con el aceite esencial no se redujo el porcentaje de incidencia del patógeno (de Figuerêdo *et al.*, 2019), lo cual es un indicativo de que, adicional a las pruebas de sensibilidad *in vitro* de *C. truncatum* al aceite esencial de *M. alternifolia*, es necesario realizar pruebas *in vivo* en plantas de *E. gibbiflora* para determinar la dosis óptima en campo.

Adicional al efecto antifúngico, existen reportes que indican que *M. alternifolia* tiene efecto en la inhibición de crecimiento de bacterias patógenas de humanos y algunos hongos productores de micotoxinas. Quyen y Quoc (2024) calcularon la CE₅₀ de los aceites esenciales de *M. alternifolia* para la inhibición del crecimiento de *Bacillus cereus* (ATCC 11778), *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), *Salmonella enterica* (ATCC 13076) y *Escherichia coli* (ATCC 25922) y reportaron que la inhibición de 50 % del crecimiento bacteriano fue a una concentración de 360 mg mL⁻¹. Otro estudio similar, realizado por Zhang *et al.* (2018) demuestra que el aceite esencial de *M. alternifolia* tiene efecto antimicrobiano, no solo en el crecimiento de bacterias como *E. coli*, *S. aureus* y *Pseudomonas aeruginosa*, sino también en el de hongos como *Penicillium italicum* y *P. digitatum* con una CE₅₀ de 48.35 µg mL⁻¹. Lo anterior representa una ventaja en el uso del aceite esencial de *M. alternifolia* debido a que *E. gibbiflora* es una planta comúnmente utilizada en jardines, donde hay contacto con niños y mascotas, por lo que, si llegara a ocurrir contaminación del agua o residuos orgánicos utilizados para el cultivo de esta planta, el aceite podría contribuir a minimizar los riesgos de contaminación, sin embargo, es necesario hacer más estudios al respecto.

El extracto de *R. sachalinensis* fue el segundo biofungicida con mayor inhibición del crecimiento de *C. truncatum*. De acuerdo con Margaritopoulou *et al.* (2020), en un estudio realizado sobre el control cenicilla inducido por *Podosphaera xanthii* en calabacín, el extracto de *R. sachalinensis* funciona como elicitor o inductor de los mecanismos de defensa de las plantas, debido a que desencadena varias reacciones como la formación de calosa, la acumulación de peróxido de hidrógeno y el aumento de producción de ácido salicílico, p-cumárico y cafeico, con lo cual se redujo significativamente la germinación de conidios y severidad de la enfermedad. Santos-Esteban *et al.* (2021) reportaron que el extracto de *R. sachalinensis* inhibió el crecimiento de *Fusarium oxysporum* aislado de frijol (*Phaseolus vulgaris*) en 100 %, mientras que Baysal-Gurel y Bika (2021) reportan que aplicaciones foliares de este mismo extracto a una concentración de 0.5 mL L⁻¹, redujeron la severidad cenicilla (*Podosphaera physocarpis*) en el árbol ornamental sagitario (*Physocarpus opulifolius*) cultivado en casa sombra.

Por otra parte, *B. amyloliquifaciens* QST 713 tuvo un efecto significativamente mayor que el resto de los tratamientos después del aceite esencial de *M. alternifolia* y el extracto

de *R. sachalinensis*. Se ha reportado que *B. amyloliquefaciens* QST 713 tiene efecto en la regulación de genes relacionados con la activación de factores de transcripción de la familia WRKY y NAC, asociados con mecanismos de defensa ante estreses y receptores LRR-RLK que intervienen en el reconocimiento del patógeno y transducción de señales, mediante estudios transcriptómicos en frutos de duraznos tratados con *B. amyloliquefaciens* QST 713, para el control de *Monilinia fructicola*, donde también se indica que el biofungicida inhibió el crecimiento del hongo en cultivo *in vitro* y redujo la severidad de los síntomas de la enfermedad (Tsalgatidou *et al.*, 2014). Por su parte, Pérez-Moreno *et al.* (2015) encontraron que *B. amyloliquefaciens* QST 713 inhibió el crecimiento en cultivo *in vitro* de *Sclerotinia minor* aislado de plantas sintomáticas de lechuga (*Lactuca sativa*) con un crecimiento promedio radial micelial de 1.9 cm. Otro estudio realizado por Solano-Báez *et al.* (2021) indica que *B. amyloliquefaciens* QST 713 en una concentración de 6×10^7 UFC mL⁻¹ redujo en 81.7 % la incidencia de ahogamiento de plántulas de calabacita producida por un complejo integrado por *Phytophthora capsici*, *Rhizoctonia solani* y *F. oxysporum*.

Finalmente, los biopesticidas utilizados para el control de enfermedades fúngicas tienen diversas ventajas, debido a que cuentan con mecanismos de acción múltiple por la cantidad de fitoquímicos que contienen, por lo que no generan resistencia, son ecológicos, sencillos de producir, efectivos y económicos, no generan residuos y tienen baja toxicidad en organismos que no son su objetivo, donde se incluye al humano, por lo que los riesgos a la salud de las personas son reducidos (Deresa y Diriba, 2023; Suteu *et al.*, 2020). Cabe mencionar que, para el manejo de enfermedades de plantas en jardines, parques y lugares públicos, donde *E. gibbiflora* es apreciada, es de suma importancia hacer uso de fungicidas que no generen residualidad, sean amigables con el ambiente y de bajo riesgo para los humanos y la fauna, debido al constante contacto de los usuarios con este tipo de entornos.

Por lo anterior, la presente investigación representa una aportación para el manejo integrado de enfermedades en *E. gibbiflora* en zonas urbanas, sin embargo, Lecomte *et al.* (2016) indican que una vez que se identifica el biofungicida con eficiencia en el control de fitopatógenos en especies ornamentales es necesario estandarizar las dosis, formulación y método de aplicación, por lo que es una pauta para continuar con la investigación.

CONCLUSIONES

C. truncatum que induce antracnosis en hojas de *E. gibbiflora* es más sensible a los biofungicidas compuestos por aceite de *M. alternifolia* (109.23 mg L⁻¹), extracto de *R. sachalinensis* (168.76 mg L⁻¹) y *B. amyloliquefaciens* QST 713 (61.07 mg L⁻¹) en condiciones *in vitro*. El aceite de *L. digitata* (19.95 mg L⁻¹), aceites esenciales de *T. vulgaris* y *M. spicata* (112.47 mg L⁻¹) y el extracto de *L. tridentata* y *R. communis* (78.51 mg L⁻¹) tienen efecto inhibitorio en el crecimiento del hongo superior a 50 % (los cuales varían de 63.4 a 93.6 %) y representan una alternativa para el manejo integrado de la enfermedad. La regresión logística tiene un buen ajuste y permite modelar porcentajes con predicciones biológicas significativas, asimismo, permite calcular la CE₅₀ de biofungicidas.

LIMITACIONES

No aplica.

CONFLICTO DE INTERÉS

Todos los autores declaran no tener conflicto de interés en relación con esta investigación.

FINANCIAMIENTO

Esta investigación fue financiada parcialmente por la Universidad Popular del Estado de Puebla (UPAEP University).

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Concepción, José Terrones Salgado; conceptualización, José Terrones Salgado y Nicolás Álvarez Acevedo; metodología, José Terrones Salgado, Cesar Flores de los Ángeles, José Francisco Díaz Nájera, Sergio Ayvar Serna; Software, José Terrones Salgado y Carlos David Carretillo Moctezuma; validación, José Terrones Salgado, José Francisco Díaz Nájera, José Luis Arispe Vázquez y César Flores de los Ángeles; análisis formal, José Terrones Salgado, Carlos David Carretillo Moctezuma, José Francisco Díaz Najera y Segio Ayvar Serna; investigación, José Terrones Salgado, Carlos David Carretillo Moctezuma, José Francisco Díaz Nájera, Segio Ayvar Serna, José Luis Arispe Vázquez, César Flores de los Ángeles, Nicolás Álvarez Acevedo; recursos, José Terrones Salgado; obtención de datos, José Terrones Salgado, Nicolás Álvarez Acevedo y José Francisco Díaz Nájera; redacción (preparación del manuscrito original, revisión y edición), José Terrones Salgado, Carlos David Carretillo Moctezuma, José Francisco Díaz Nájera, Sergio Ayvar Serna, José Luis Arispe Vázquez, César Flores de los Ángeles, Nicolás Álvarez Acevedo; visualización, José Terrones Salgado, José Francisco Díaz Nájera y José Luis Arispe Vázquez; supervisión, José Terrones Salgado; administración del proyecto, José Terrones Salgado; obtención de financiamiento, José Terrones Salgado. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

REFERENCIAS

- Apáez BM, Carretillo MCD, Terrones SJ, Díaz NJF, Flores DC, Sánchez RFJ, Santiago VAG, Álvarez AN, Tuxpan PMA, García SG y Mendoza RJA. 2025. First report of *Colletotrichum truncatum* causing anthracnose on *Echeveria gibbiflora* in Mexico. *Journal of Plant Pathology*. <https://doi.org/10.1007/s42161-025-01839-9>
- Barroso AAC, Ochoa FYM, Cerna CE, Tucuch PMA, Olalde PV y Robles YL. 2021. Manejo *in vitro* de antracnosis (*Colletotrichum acutatum* Simmonds) en aguacate mediante el uso de principios activos botánicos. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 8: e3038. <https://doi.org/10.19136/era.a8n2.3038>
- Baysal-Gurel F and Bika R. 2021. Management of powdery mildew on ninebark using sanitizers, biorational products, and fungicides. *HortScience* 56:532-537. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI15691-21>
- Cuevas DMC, Domínguez, FAS y Toledo ÁM. 2012. Monitoreo de suelos contaminados mediante pruebas ecotoxicológicas. *Tlatemoani: Revista académica de investigación* 11:1-18. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7323794>
- da Costa GD, Rodrigues RW, Gonçalves DC, Sessa DV, da Silva XA, Aparecida OÁ, Menini L, Costa H. 2023. Use of *Melaleuca alternifolia* essential oil as an efficient strategy to extend the shelf life of banana fruits. *Biochemical Systematics and Ecology* 108:104641. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2023.104641>

- da Rocha NAC, Navarro BB, Canton L, Maraschin M and Di PRM. 2019. Antifungal activity of palmarosa (*Cymbopogon martinii*), tea tree (*Melaleuca alternifolia*) and star anise (*Illicium verum*) essential oils against *Penicillium expansum* and their mechanisms of action. *LWT - Food Science and Technology* 105:385-392. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.02.060>
- de Figuerêdo AFM, da Silva FKR, de Araújo IG, da Nóbrega LP, dos Santos XAL, Lima TS ... and Cardoso TAL. 2019. Control of *Alternaria alternata* using melaleuca essential oil (*Melaleuca alternifolia*). *Journal of Experimental Agriculture International* 40:1-10 https://www.researchgate.net/profile/Kevison-Franca/publication/335452433_Control_of_Alternaria_alternataUsing_Melaleuca_Essential_Oil_Melaleuca_alternifolia/inks/5d667b74299bf11adf274fcb/Control-of-Alternaria-alternataUsing-Melaleuca-Essential-Oil-Melaleuca-alternifolia.pdf
- Deresa EM and Diriba TF. 2023. Phytochemicals as alternative fungicides for controlling plant diseases: A comprehensive review of their efficacy, commercial representatives, advantages, challenges for adoption, and possible solutions. *Heliyon*: e13810. [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(23\)01017-4](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(23)01017-4)
- do Nascimento DM, dos Santos PL and Kronka AZ. 2019. Essential oils inhibit *Colletotrichum gloeosporioides* spore germination. *Summa Phytopathologica* 45:432-433. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/207645>
- García MMR, Acosta RM, Rodríguez PE, Vásquez SJ y Hernández RL. 2021. Extractos vegetales para el control de *Colletotrichum gloeosporioides in vitro*, en periodo de floración y poscosecha del fruto de *Carica papaya*. *Polibotánica* 51:213-228. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.51.14>
- Ghanghas BS, Rohilla AK, Chahal PK, Malik J, Niwas R and Mukteshwar R. 2023. Good practices adopted by horticulture farmers to minimize residual effects of pesticides for food safety hazard and soil health. *Journal of Environmental Biology* 44:267-274. <http://doi.org/10.22438/jeb/44/3/SI-155>
- Guerrero RE, Solís GS, Hernández CFD, Flores OA, Sandoval LV y Jasso CD. 2007. Actividad biológica *in vitro* de extractos de *Flourensia cernua* D.C. en patógenos de postcosecha: *Alternaria alternata* (Fr.:Fr.) Keissl., *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc. y *Penicillium digitatum* (Pers.:Fr.) Sacc. *Revista Mexicana de Fitopatología* 25:48-53. <https://www.phytojournal.com/archives/2020/vol9issue3/PartA/9-3-162-930.pdf>
- Iturbide ZAS, Colinas LMTB, Lozoya SH, Medina MSA y Ayala AJ. 2017. *In vitro* evaluation of extracts from the *Lilium* genus to control *Fusarium oxysporum*. *Revista Mexicana de Fitopatología* 35:611-622. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1609-6>
- Jo H, Jang M, Hong JK and Park CJ. 2018. First report of fungal leaf spot in *Echeveria* spp. caused by *Cladosporium tenuissimum* in Korea. *Plant disease* 102:1450. <https://doi.org/10.1094/PDIS-08-17-1277-PDN>
- Kiranmayee V, Mishra JP, Prasad R, Sekhar JC, Reddy VP and Kumar S. 2020. Isolation and *in vitro* evaluation of essential oils against anthracnose of pomegranate caused by *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. and Sacc. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 9:37-40. <https://www.phytojournal.com/archives/2020/vol9issue3/PartA/9-3-162-930.pdf>
- Lecomte C, Alabouvette C, Edel-Hermann V, Robert and Steinberg C. 2016. Biological control of ornamental plant diseases caused by *Fusarium oxysporum*: A review. *Biological control* 101:17-30. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.06.004>
- Leszczyńska-Borys H, Borys MW and Galván JL. (2003). *Echeveria gibbiflora* DC. -A new ornamental plant from Mexico. I. Vase Life*. *Acta Horticulturae* 683: 271-278. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.683.32>
- Margaritopoulou T, Toufexi E, Kizis D, Balayiannis G, Anagnostopoulos C, Theocharis A, ... and Markellou E. 2020. *Reynoutria sachalinensis* extract elicits SA-dependent defense responses in courgette genotypes against powdery mildew caused by *Podosphaera xanthii*. *Scientific Reports* 10:3354. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60148-6>
- Meftaul IM, Venkateswarlu K, Dharmarajan R, Annamalai P and Megharaj M. 2020. Pesticides in the urban environment: A potential threat that knocks at the door. *Science of the Total Environment* 711:134612. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134612>
- Molina-Vargas LF and Melo-Martínez SE. 2010. Importancia del método estadístico para el cálculo de la CE50 y CE95 de algunos isotiocianatos evaluados contra *Rhizoctonia solani* Kühn. *Agronomía Colombiana* 28:235-244. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-99652010000200013&script=sci_arttext
- Ortu G, Bertetti D, Gullino ML and Garibaldi A. 2015. *Fusarium oxysporum* f. sp. *echeveriae*, a novel forma specialis causing crown and stem rot of *Echeveria agavoides*. *Phytopathologia Mediterranea* 54:64-75. https://doi.org/10.14601/Phytopathol_Mediterr-13533
- Parra-Arroyo L, González-González RB, Castillo-Zacarías C, Martínez EMM, Sosa-Hernández JE, Bilal M, ... and Parra-Saldívar R. 2022. Highly hazardous pesticides and related pollutants: Toxicological, regulatory, and analytical aspects. *Science of the Total Environment* 807: 151879. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151879>

- Pérez-Moreno L, Belmonte-Vargas JR, Núñez-Palenius HG, Guzmán-Mendoza R and Mendoza-Celedón B. 2015. *In vitro* sensitivity of two species of *Sclerotinia* spp. and *Sclerotium cepivorum* to agents of biological control and fungicides. *Revista Mexicana de Fitopatología* 33:256-267. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0185-33092015000200256&script=sci_arttext&tlng=en
- Quyen PT and Quoc LPT. 2024. Chemical composition and biological evaluation of tea tree (*Melaleuca alternifolia* L.) leaves essential oils. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 77:10743-10750. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v77n2.109468>
- Rani A and Tripathi P. 2022. Antifungal activity of essential oils of *Melaleuca alternifolia*, *Psidium guajava* and *Zingiber officinale* in the management of grey mould of chilli. *Research Journal of Agricultural Sciences* 13: 1201-1205 <https://www.researchgate.net/publication/377307092>
- Reyes A, Ricón G, López L, Martínez ZE y Quiñones E. 2015. Lucha entre microbios: una herramienta para el control de enfermedades de plantas. *Revista Digital Universitaria UNAM* 16:2-15. <http://www.revista.unam.mx/vol.16/num11/art92/>
- Reyes-Santiago JP, Islas-Luna MA and González-Zorzano O, Carrillo RP, Vergara SFR, Brachet ICP. 2011b. *Echeveria* Manual del perfil diagnóstico del género *Echeveria* en México. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 141 p.
- Reyes-Santiago JP, Islas-Luna MA and González-Zorzano O. 2011a. Guía práctica de propagación y cultivo de las especies del género *Echeveria*. Editorial Universidad Nacional Autónoma de México. Mexico City, Mexico. 111p.
- Reyes-Santiago JR, Brachet ICP, González-Zorzano O, Islas-Luna MA y López CL. 2015. Four new taxa of the genus *Echeveria* from the state of Oaxaca, Mexico. *Haseltonia* 21:80-91. <https://doi.org/10.2985/026.021.0112>
- Santos-Esteban D, Ayvar-Serna S, Díaz-Nájera JF and Bahena AM. 2021. Control orgánico de *Fusarium oxysporum* aislado de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Foro de estudios sobre guerrero* 8:227-230. <https://revistafesgro.cocytieg.gob.mx/index.php/revista/article/view/103/6>
- Schoch CL, Ciufo S, Domrachev M, Hottton CL, Kannan S, Khovanskaya R, Leipe D... Karsch-Mizrachi I. 2020. NCBI Taxonomy: a comprehensive update on curation, resources and tools. *Database The Journal of Biological Databases and Curation* 2020:1-21. <https://doi.org/10.1093/database/baaa062>
- Shi QQ, Zhou YN, Shi X, Huang KW, Song WW, Li MM and Liang C. 2019. First report of *Erysiphe* sp. causing powdery mildew on *Echeveria sunyan* in China. *Plant disease* 104:575-575. <https://doi.org/10.1094/PDIS-08-19-1731-PDN>
- Solano-Báez AR, Leyva-Mir SG, Núñez-Pastrana R, Quezada-Salinas A and Márquez-Licon G. 2021. Biocontrol del ahogamiento de plántulas de calabacita con *Bacillus subtilis* QST 713. *Revista Mexicana de Fitopatología* 39:302-313. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2101-2>
- Suteu D, Rusu L, Zaharia C, Badeanu M and Daraban GM. 2020. Challenge of utilization vegetal extracts as natural plant protection products. *Applied Sciences* 10:8913. <https://doi.org/10.3390/app10248913>
- Terrones-Salgado J, Ortega-Acosta C, Sánchez-Ruiz FJ, Ortega-Acosta SÁ, Alberto FP, Acevedo NÁ, ... and Argüelles-Hernández E. 2024. First report of white mold caused by *Sclerotinia sclerotiorum* on *Echeveria gigantea* in Mexico. *Plant Disease* PDIS-01. <https://doi.org/10.1094/PDIS-01-24-0196-PDN>
- Tsalgatidou PC, Papageorgiou A, Boutsika A, Chatzidimopoulos M, Delis C, Tsitsigiannis DI, ... and Zambounis A. 2024. Insights into the interaction between the biocontrol agent *Bacillus amyloliquefaciens* QST 713, the pathogen *Monilinia fructicola* and peach fruit. *Agronomy* 14:771. <https://doi.org/10.3390/agronomy14040771>
- Yao J, Huang P, Chen H and Yu D. 2021. *Fusarium oxysporum* is the pathogen responsible for stem rot of the succulent plant *Echeveria* ‘Perle von Nürnberg’ and observation of the infection process. *European Journal of Plant Pathology* 159:555-568. <https://doi.org/10.1007/s10658-020-02186-4>
- Yao J, Huang P, Chen H, Chen H., Hou X. and Yu D. 2020. Anthracnose pathogen of the succulent plant *Echeveria* ‘Perle von Nürnberg’. *Australasian Plant Pathology* 49:209-212 <https://doi.org/10.1007/s13313-020-00693-w>
- Zhang X, Guo Y, Guo L, Jiang H and Ji Q. 2018. *In vitro* evaluation of antioxidant and antimicrobial activities of *Melaleuca alternifolia* essential oil. *BioMed Research International* 2018: 1-8. <https://doi.org/10.1155/2018/2396109>