

Extracto de *Lippia graveolens* sobre respuestas bioquímicas de defensa en duraznero [*Prunus persica* (L.) Batsch]

Lippia graveolens extract on biochemical defense responses in peach trees [*Prunus persica* (L.) Batsch]

Belén Guadalupe Muñoz-Rocha¹ , Diana Jasso de Rodríguez^{2*} , Susana González-Morales³ , Armando Hernández-Pérez⁴ , Mónica L. Chávez-González⁵ , Francisco Daniel Hernández-Castillo⁶ 

¹Doctorado en Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, CP. 25315, Saltillo, Coahuila, México.

²Departamento de Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, CP. 25315, Saltillo, Coahuila, México.

³SECIHTI- Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, CP. 25315, Saltillo, Coahuila, México.

⁴Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, CP. 25315, Saltillo, Coahuila, México.

⁵Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Boulevard Venustiano Carranza No. 935, República, Saltillo, Coahuila CP. 25280, México.

⁶Departamento de Parasitología, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, CP. 25315, Saltillo, Coahuila, México.

*Autor de correspondencia: dianajassocantu@yahoo.com.mx

Artículo científico

Recibido: 28 de febrero 2026

Aceptado: 02 de agosto 2026

RESUMEN. Los extractos vegetales pueden inducir respuestas de defensa en plantas mediante la activación de enzimas y metabolitos secundarios. *Lippia graveolens* contiene compuestos fenólicos con propiedades antifúngicas, pero su efecto *in vivo* en frutales es poco conocido. Este estudio evaluó el efecto del extracto de *L. graveolens* (5 500 mg L⁻¹) sobre la actividad de enzimas de defensa (fenilalanina amonio-liasas, quitinasa, β -1,3-glucanasa, superóxido dismutasa, catalasa y glutatión peroxidasa), el contenido de fenoles y flavonoides, así como la incidencia y severidad de *Alternaria tenuissima* en duraznero [*Prunus persica* (L.) Batsch]. Se aplicaron cinco tratamientos bajo un diseño completamente al azar: TeAb (control), TeIn (inoculado), InFu (inoculado + fungicida), TeLg (extracto) e InLg (inoculado + extracto). El tratamiento InLg redujo significativamente la severidad de la enfermedad en 49% respecto a TeIn y presentó menor incidencia, lo que indica un posible efecto protector del extracto. El tratamiento InLg se asoció con una mayor actividad de PAL, quitinasa y β -1,3-glucanasa en etapas críticas del experimento, así como con cambios en la respuesta antioxidante, particularmente en la actividad de superóxido dismutasa. En conjunto, los resultados sugieren que el extracto de *L. graveolens* tiene potencial para contribuir al manejo de la necrosis descendente en duraznero causada por *A. tenuissima*.
Palabras clave: Duraznero, *Lippia graveolens*, enzimas de defensa, fenoles, flavonoides.

ABSTRACT. Plant extracts are capable of inducing defense responses in plants by triggering enzymes and secondary metabolites. *Lippia graveolens* contains phenolic compounds with antifungal properties; however, its *in vivo* effects in fruit crops is little known. This assay assessed the effect of *L. graveolens* (5 500 mg L⁻¹) extract over plant defense enzymes (phenylalanine ammonia-lyase, chitinase, β -1,3-glucanase, superoxide dismutase, catalase and glutathione peroxidase), phenols and flavonoids content, as well as over the incidence and severity of *Alternaria tenuissima* in peach trees [*Prunus persica* (L.) Batsch]. Five treatments in completely randomized design were applied: TeAb (control), TeIn (inoculated), InFu (inoculated + fungicide), TeLg (extract) and InLg (inoculated + extract). Treatment InLg significantly reduced the disease severity (49% Vs TeIn) and showed lower incidence, indicating the potential protective effect of the extract. Treatment InLg was linked to stronger activity of PAL, chitinase and β -1,3-glucanase in critical stages of the experiment, as well as to changes in the antioxidant response, in particular in the activity of superoxide dismutase. By large, the results suggest that *L. graveolens* extract has the potential to help manage descending necrosis in peach trees, caused by *A. tenuissima*.

Keywords: Peach tree, *Lippia graveolens*, defense enzymes, phenols, flavonoids.

Como citar: Muñoz-Rocha BG, Jasso de Rodríguez D, González-Morales S, Hernández-Pérez A, Chávez-González ML, Hernández-Castillo FD (2026) Extracto de *Lippia graveolens* sobre respuestas bioquímicas de defensa en duraznero [*Prunus persica* (L.) Batsch]. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 13(3): e5186. DOI: 10.19136/era.a13n3.5186.

INTRODUCCIÓN

Las plantas poseen una red compleja de mecanismos de defensa que les permite responder al estrés biótico mediante la activación de rutas bioquímicas asociadas con la síntesis de compuestos antimicrobianos, la acumulación de metabolitos secundarios y la producción de enzimas hidrolíticas y antioxidantes (Jibril *et al.* 2016). Estas respuestas pueden ser inducidas por señales internas o por la presencia de patógenos y forman parte de un sistema regulado que minimiza el daño celular y contribuye al restablecimiento del equilibrio fisiológico (Mahawer *et al.* 2022, Chowdhary *et al.* 2023). No obstante, el manejo de enfermedades en los cultivos depende principalmente del uso de fungicidas sintéticos; sin embargo, su aplicación intensiva favorece la aparición de cepas resistentes y genera impactos ambientales y riesgos para la salud humana (Goswami *et al.* 2018). Ante esta problemática, los extractos vegetales se han propuesto como una alternativa sostenible debido a su capacidad para activar respuestas bioquímicas asociadas con la defensa vegetal. Diversos estudios han demostrado que extractos obtenidos de diferentes especies vegetales pueden inducir la actividad de enzimas relacionadas con la resistencia, como la fenilalanina amonio-liasa (PAL), quitinasa y β -1,3-glucanasa, así como de enzimas antioxidantes como superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT) y glutatión peroxidasa (GPx) (Baysal y Zeller 2004, Burketova *et al.* 2015, Gholamnezhad 2019, Hasanuzzaman *et al.* 2020, Rao y Zheng 2025).

Por otra parte, el duraznero es uno de los frutales de hueso más importantes a nivel mundial debido a su valor económico y amplia adaptabilidad (Vázquez-Cuecuecha *et al.* 2023, Khadivi *et al.* 2025). México ocupa el undécimo lugar en producción mundial de durazno, con Zacatecas como el principal estado productor (SIAP 2024). No obstante, este cultivo es susceptible a diversas enfermedades que afectan su rendimiento y productividad (Luo *et al.* 2022). Entre ellas destaca la necrosis descendente asociada a *Alternaria tenuissima*, cuya presencia ha sido confirmada en huertos de la comunidad Los Caracoles, Valparaíso, Zacatecas (Muñoz-Rocha *et al.* 2024). Frente a esta problemática, el extracto de *Lippia graveolens* es rico en compuestos fenólicos con actividad antifúngica (Albarracín-Gómez *et al.* 2022, Cabral-Miramontes *et al.* 2024, Muñoz-Rocha *et al.* 2025), por lo que representa una alternativa potencial para el manejo de esta enfermedad. Aunque se ha reportado su potencial antimicrobiano *in vitro*, a la fecha existe evidencia limitada de su efecto *in vivo* y capacidad para modular las respuestas bioquímicas del duraznero inoculado con *A. tenuissima*. Por lo anterior, los objetivos de este estudio fueron: (i) evaluar el efecto del extracto hidroalcohólico de *L. graveolens* sobre la actividad de enzimas de defensa y antioxidantes (PAL, quitinasa, β -1,3-glucanasa, SOD, CAT y GPx), así como sobre el contenido de fenoles y flavonoides totales; y (ii) determinar su influencia en la incidencia y la severidad de la necrosis descendente asociada a *A. tenuissima* en duraznero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

La investigación se llevó a cabo de febrero de 2024 a enero de 2025 en un invernadero tipo gótico del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicado en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México (25° 21' 22.7" LN, 101° 02' 09.4" LO; altitud: 1 710 msnm).

El invernadero cuenta con una superficie de 20×20 m (400 m^2), con 6 m de altura al canal y 9 m en el punto más alto. Está cubierto con plástico blanco lechoso calibre 800, que reduce la radiación en un 25%, y con ventilación lateral de 3×10 m.

La obtención y preparación del extracto se llevó a cabo en el laboratorio de Fitoquímica del Departamento de Fitomejoramiento. Por otra parte, los análisis bioquímicos se realizaron en el Laboratorio de Fisiología Vegetal del Departamento de Horticultura.

Material vegetal

Se emplearon árboles de durazno del ecotipo Diamante, injertados sobre patrón criollo, con seis meses de edad. Los árboles se cultivaron en contenedores de 8 L. Como sustrato se utilizó una mezcla de peat moss y perlita (80:20 v/v). El riego se realizó con solución nutritiva de Steiner (1961), modificada al 65%, mediante un sistema de riego semiautomatizado, ajustándose la frecuencia según las necesidades hídricas de los árboles y aplicando el volumen necesario para mantener un lixiviado equivalente al 25%.

Diseño experimental y descripción de tratamientos

El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar, con cinco tratamientos y tres repeticiones por tratamiento. Cada repetición (unidad experimental) estuvo conformada por dos árboles, para un total de 15 unidades experimentales y 30 árboles evaluados. Los tratamientos evaluados fueron: TeAb (testigo absoluto), TeIn (testigo + inoculación), InFu (inoculado + azoxystrobina 1.125 g L^{-1}), TeLg (extracto de *L. graveolens* a $5\,500 \text{ mg L}^{-1}$) e InLg (inoculado + *L. graveolens* a $5\,500 \text{ mg L}^{-1}$). Las aplicaciones del extracto y del fungicida se realizaron en cuatro ocasiones, con intervalos de 15 días.

Inoculación de los durazneros con *A. tenuissima*

Para evitar la dispersión del inóculo, los árboles inoculados se cubrieron con una estructura de madera ($1.5 \times 0.75 \times 0.75$ m), cubierta con malla tergal francesa. Dos días antes de la inoculación se realizó la abrasión en las hojas con carburo de silicio ($220 \mu\text{m}$), para facilitar la infección. El aislado de *A. tenuissima* (Muñoz-Rocha *et al.* 2024) se multiplicó en PDA y se inoculó de tres maneras: 1) Explantes sobre un corte en bisel (Bolboli *et al.* 2022), 2) Aspersión de 25.0 mL de una suspensión de 5×10^4 esporas mL^{-1} + 0.005% Tween-80, en cada árbol y 3) Inyección de 1.2 mL de la suspensión de esporas en 10 brotes de cada árbol. En total se realizaron siete inoculaciones en los meses de agosto a noviembre de 2024.

Método de preparación y aplicación del extracto y fungicida

El extracto de *L. graveolens*, previamente obtenido con la técnica descrita por Muñoz-Rocha *et al.* (2025), se preparó disolviendo 5.5 g del polvo seco en etanol 80% y completando el volumen a 1 L con agua destilada y 1 mL de Bionex. El fungicida se preparó pesando 1.125 g del producto y disolviéndolo en 1 L de agua destilada con 1 mL de Bionex. Estas soluciones se aplicaron a los tratamientos correspondientes entre las 7:30 y 8:30 h.

Variables evaluadas

Incidencia

La incidencia de la enfermedad se calculó como el porcentaje de árboles que presentaron síntomas de necrosis, utilizando la siguiente fórmula (Madden *et al.* 2007):

$$\text{Incidencia (\%)} = \frac{\text{Número de árboles con síntomas}}{\text{Total de árboles}} \times 100$$

Este parámetro se evaluó de forma visual en cada unidad experimental a los 158 días después de la primera inoculación (ddpi).

Severidad

La severidad de la necrosis descendente se evaluó a los 158 ddpi mediante una escala basada en la propuesta de Orozco-Santos (1995) y Valle-De la Paz *et al.* (2019), modificada de acuerdo con las características sintomatológicas observadas en los durazneros durante el presente estudio. La escala constó de seis categorías: 0 = ramas sin síntomas visibles de necrosis; 1 = ramas con necrosis limitada en los ápices; 2 = ramas con necrosis leve, afectando segmentos cortos o puntuales ($\approx 25\%$); 3 = ramas con necrosis moderada, afectando aproximadamente la mitad de su longitud ($\approx 50\%$); 4 = ramas severamente necróticas, con muy poca área sana ($\approx 75\%$); y 5 = ramas completamente necróticas, sin área sana visible ($\approx 100\%$) (Figura 1). Esta escala permitió clasificar la severidad de la necrosis descendente en función de la extensión visible del tejido afectado. Para expresar cuantitativamente la severidad, se utilizó la fórmula propuesta por Townsend y Heuberger (1943), la cual permite transformar los valores de la escala en porcentaje de severidad.

$$\text{Severidad (\%)} = \left(\frac{\sum n * v}{i * N} \right) * 100$$

Donde: n = número de tallos infectados por cada grado de la enfermedad, v = grado de la escala, i = mayor grado de la escala, y N = total de tallos por árbol.

Análisis bioquímicos

Para la determinación de las variables bioquímicas se realizaron cuatro muestreos foliares. Por árbol se recolectaron de 8 a 10 hojas jóvenes completamente desarrolladas. Los muestreos foliares se realizaron a los 21, 49, 103 y 110 ddpi. Los dos primeros muestreos (21 y 49 ddpi) se realizaron 48 h después de la aplicación del extracto de *L. graveolens* y del fungicida. Los muestreos a los 103 y 110 ddpi se realizaron durante la manifestación de síntomas de necrosis. Las muestras de hojas recolectadas de ambos árboles dentro de cada repetición se integraron en una muestra compuesta. En consecuencia, para cada fecha de muestreo se obtuvo una muestra por repetición, equivalente a tres observaciones por tratamiento.

Las hojas muestreadas se colocaron en bolsas de aluminio previamente identificadas y se introdujeron inmediatamente en nitrógeno líquido. Posteriormente se almacenaron en un ultracongelador a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las muestras fueron liofilizadas durante 72 h a $-84\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 0.060 mbar en un liofilizador (Labconco, modelo FreeZone 2.5 L, Kansas City, MO, EE. UU.) y molidas en un molino analítico (Analytical Mill, Cole Parmer) hasta obtener un polvo fino, a partir del cual se llevaron a cabo los análisis bioquímicos.

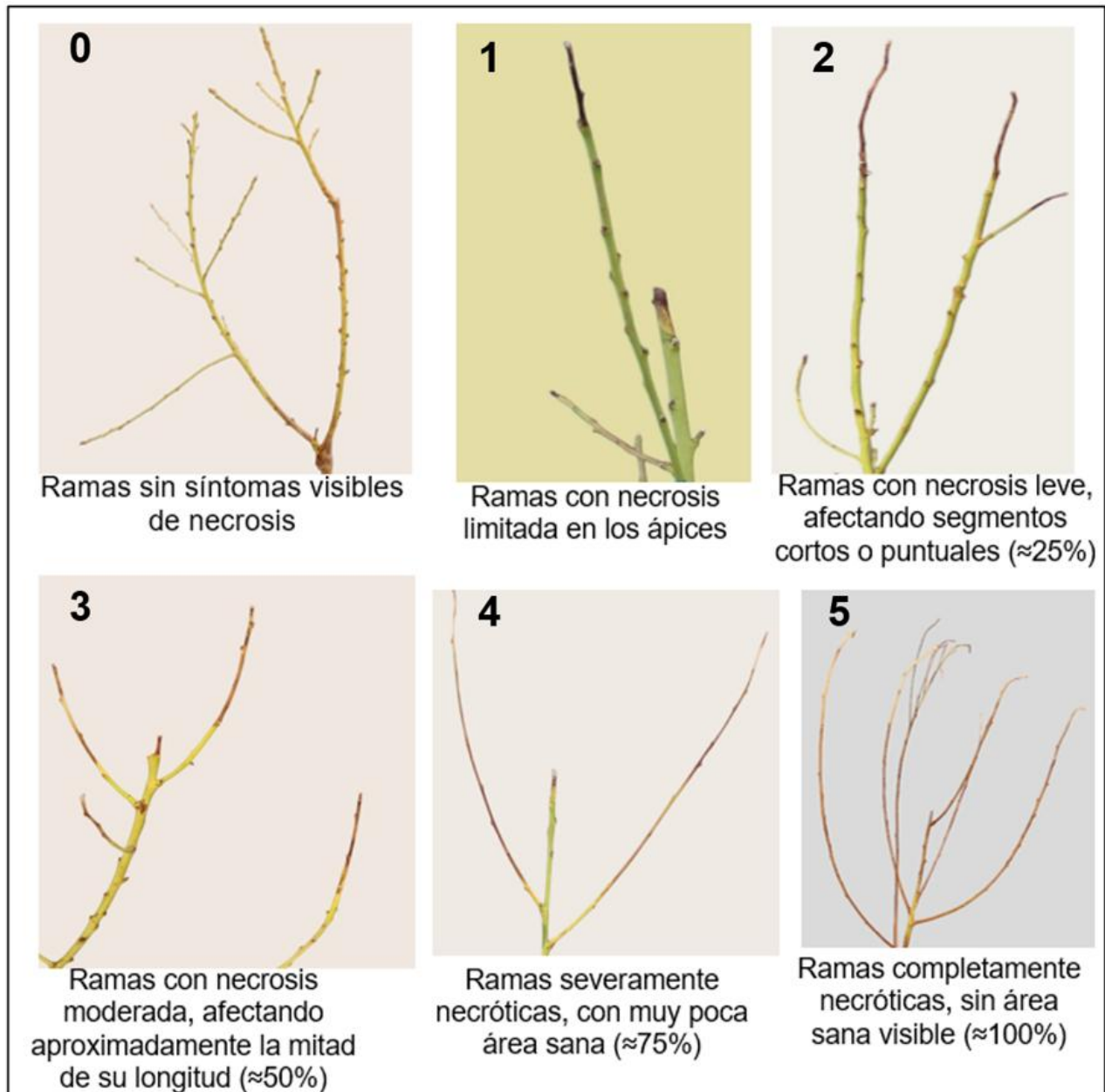


Figura 1. Propuesta de escala visual de severidad para evaluar los síntomas de necrosis en ramas de duraznero del ecotipo Diamante causados por *Alternaria tenuissima*. La escala consta de seis categorías, desde 0 (sin síntomas visibles), hasta 5 (necrosis completa, sin tejido sano visible). Cada categoría representa un rango estimado de porcentaje de tejido afectado.

Cuantificación de proteínas

Para obtener el extracto de biomoléculas (EB), se pesaron 100 mg de cada tejido y se añadieron 10 mg de polivinilpirrolidona y 1.5 mL de tampón fosfato 0.1 M (pH 7.0-7.2). Tras 20 s de agitación en vórtex, 5 min de sonicación en un baño ultrasónico Branson 1510 (Branson Ultrasonics Corp., Danbury, CT, USA) y centrifugación (12 500 rpm, 4°C, 10 min), el sobrenadante se filtró mediante membrana de nylon de 0.45 µm y se diluyó 1:15 con el mismo tampón (Ramos *et al.* 2010).

Las proteínas totales se cuantificaron mediante el método de Bradford (1976). Se mezclaron 100 μL del extracto EB con 1 mL de reactivo de Bradford, se incubaron durante 5 min a temperatura ambiente y la absorbancia se registró a 595 nm en un espectrofotómetro (GENESYS 10S UV-Vis, Thermo Fisher Scientific, Inc., MA, USA), empleando un tampón como blanco. La concentración de proteínas se interpoló a partir de una curva estándar de albúmina sérica bovina (0–200 $\mu\text{g mL}^{-1}$) y se expresó en mg g^{-1} de peso seco (mg g^{-1} PS).

Cuantificación de enzimas

Actividad de PAL

Se evaluó de acuerdo con Sykłowska-Baranek *et al.* (2015), con ligeras modificaciones. Se mezclaron 100 μL del extracto EB con 9 μL de L-fenilalanina 6 mM y se incubaron durante 30 min a 40°C. La reacción se detuvo con 250 μL de HCl 5 N, se enfrió en hielo y se añadieron 5 mL de agua destilada. La absorbancia se registró a 290 nm utilizando un espectrofotómetro (GENESYS 10S UV-Vis, Thermo Fisher Scientific, Inc., MA, USA), utilizando tampón fosfato (pH 7.0) como blanco. El ácido trans-cinámico formado se cuantificó mediante una curva estándar (0.02–0.6 ppm) y la actividad se expresó como U g^{-1} PT (producción en μmol de ácido trans-cinámico por minuto por gramo de proteínas totales).

Cuantificación de quitinasa y β -1,3-glucanasa

Se preparó un extracto enzimático (EE). Se pesaron 100 mg de tejido vegetal liofilizado y se suspendieron en 2 mL de tampón acetato de sodio 0.1 M (pH 5.2). La suspensión se sonicó durante 10 min y posteriormente se centrifugó (12 000 rpm, 10 min, 4°C). El sobrenadante obtenido se filtró a través de una membrana de nylon de 0.45 μm (Ramos *et al.* 2010). Este EE se utilizó en los ensayos específicos de quitinasa y β -1,3-glucanasa.

Actividad de quitinasa

Se determinó mezclando 250 μL del EE con 500 μL de tampón citrato-fosfato 0.1 M (pH 5.2) y 250 μL de quitina coloidal al 0.5%. La mezcla se incubó a 37°C durante 20 min con agitación, y la reacción se detuvo por ebullición durante 5 min (Rodríguez-Pedroso *et al.* 2006). Los azúcares reductores liberados se cuantificaron mediante el método del ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS), registrando la absorbancia a 540 nm (Miller 1959) con un espectrofotómetro (GENESYS 10S UV-Vis, Thermo Fisher Scientific Inc., MA, USA). La actividad enzimática se expresó en unidades por gramo de proteínas totales (U g^{-1} PT), definiéndose una unidad (U) como la cantidad de enzima capaz de liberar 1 μmol de glucosa equivalente por minuto.

Actividad de β -1,3-glucanasa

Se determinó incubando 100 μL de EE con 200 μL de laminarina (1 mg mL^{-1}) y 100 μL de tampón acetato 0.1 M (pH 5.2) durante 30 min a 40°C. Posteriormente, se adicionó reactivo DNS y se calentó 5 min, registrando la absorbancia a 540 nm utilizando un espectrofotómetro (GENESYS 10S UV-Vis, Thermo Fisher Scientific, Inc., MA, USA). El contenido de azúcares reductores se calculó a partir de una curva estándar de glucosa. La actividad enzimática se expresó en unidades por gramo de proteínas totales (U g^{-1} PT), considerando una unidad (U) como la cantidad de enzima capaz de liberar 1 μmol de glucosa equivalente por minuto.

Enzimas antioxidantes

Actividad de SOD

Se determinó utilizando el Kit de ensayo de superóxido dismutasa (n° 706002) que evalúa la capacidad de la enzima para inhibir la generación de radical superóxido en una reacción competitiva. La absorbancia se midió a 450 nm en un espectrofotómetro UV-Vis (Thermo Scientific G10S, Waltham, MA, EE. UU.), siguiendo las instrucciones del fabricante. Una unidad de actividad se definió como la cantidad de enzima necesaria para reducir en un 50% la formación del radical superóxido, y los resultados se expresaron como U g⁻¹ PT (unidades de SOD por gramo de proteína total).

Actividad de CAT

Se determinó según el método descrito por Cansev *et al.* (2011), midiendo la disminución de H₂O₂ a 270 nm utilizando un espectrofotómetro (GENESYS 10S UV-Vis, Thermo Fisher Scientific, Inc., MA, USA). Para el tiempo inicial (T₀), se mezclaron 0.1 mL de extracto EB con 0.4 mL de ácido tricloroacético (TCA) 5% y 1 mL de H₂O₂ 100 mM, registrando de inmediato la absorbancia. Para el tiempo final (T₁), se combinaron 1 mL de extracto con 1 mL de H₂O₂ 100 mM, y tras 60 s a 20°C con agitación, la reacción se detuvo con 0.4 mL de TCA 5%. El blanco se preparó sustituyendo el H₂O₂ por tampón fosfato (pH 7.2). La actividad enzimática se expresó como U g⁻¹ PT (consumo en mM de H₂O₂ por minuto por gramo de proteínas totales).

Actividad de GPx

Se determinó conforme a Flohé y Günzler (1984), con las modificaciones de Xue *et al.* (2001), utilizando H₂O₂ como sustrato. En cada tubo se mezclaron 0.2 mL de extracto EB, 0.5 mL de glutatión reducido (GSH, 1 mM) y 0.2 mL de Na₂HPO₄ 0.067 M. La reacción se inició con 0.2 mL de H₂O₂ 1.3 mM y se incubó durante 10 min a temperatura ambiente. Posteriormente, se detuvo con 1 mL de TCA 1% y se centrifugó (3000 rpm, 10 min). Del sobrenadante, se tomaron 0.48 mL, a los que se añadieron 2.2 mL de Na₂HPO₄, 0.32 M y 0.32 mL de DTNB 1 mM. La absorbancia se registró a 412 nm utilizando un espectrofotómetro (GENESYS 10S UV-Vis, Thermo Fisher Scientific, Inc., MA, USA), y el GSH residual se cuantificó mediante una curva estándar (0-0.25 mM). La actividad enzimática se expresó como U g⁻¹ PT (consumo en mM de GSH por minuto por gramo de proteínas totales).

Contenido de fenoles y flavonoides totales

Contenido de Fenoles totales

La extracción de fenoles totales se realizó de acuerdo con la metodología propuesta por Singleton *et al.* (1999), con ligeras modificaciones, se pesaron 100 mg del tejido liofilizado y se colocaron en tubos eppendorf de 2 mL, posteriormente, con una micropipeta se agregaron 2.0 mL de la mezcla agua:acetona (1:1 v/v). La mezcla se homogeneizó en vórtex durante 30 s, se sonicó 5 min y se centrifugó (12 500 rpm, 10 min, 4°C); el extracto se filtró y reservó para el ensayo colorimétrico.

La cuantificación de fenoles totales se efectuó con el reactivo Folin-Ciocalteu. Para lo cual se colocaron 50 µL de extracto, 200 µL de reactivo Folin, 500 µL de Na₂CO₃ al 20% en un tubo de ensayo y se agregaron 5 mL de agua destilada; la mezcla reaccionó 30 min a 45°C y la absorbancia se midió a 750 nm utilizando un espectrofotómetro (GENESYS 10S UV-Vis, Thermo Fisher

Scientific, Inc., MA, USA). La concentración se interpoló en una curva estándar de ácido gálico (100-1000 mg L⁻¹) y los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico por gramo de peso seco (mg EAG g⁻¹ PS) (Sultana *et al.* 2009).

Contenido de flavonoides totales

Los flavonoides totales se cuantificaron de acuerdo con la técnica descrita por Zhishen *et al.* (1999). Se pesaron 100 mg de tejido liofilizado posteriormente, se agregaron 2 mL de metanol al 80%, utilizando tubos eppendorf de 2 mL. La suspensión se homogeneizó 20 s en vórtex, se sonicó 5 min y se centrifugó (4000 rpm, 10 min, 4°C).

Para la lectura se colocaron 250 µL de alícuota en un tubo de ensayo, se adicionaron 75 µL de NaNO₂ al 5%, se homogeneizó en un vórtex. Después de 5 minutos en reposo, se agregó 150 µL de AlCl₃ al 10%, 500 µL de NaOH 1 M y 2.025 mL de agua destilada. Se realizó la lectura a 510 nm utilizando un espectrofotómetro (GENESYS 10S UV-Vis, Thermo Fisher Scientific, Inc., MA, USA). Los resultados se expresaron mediante una curva estándar de catequina, y se expresan como mg equivalentes de catequina por peso seco (mg EC g⁻¹ PS).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron bajo un diseño completamente al azar, con cinco tratamientos, tres repeticiones por tratamiento. Para las variables expresadas en porcentaje, como incidencia y severidad, los datos fueron transformados mediante la función arcoseno de la raíz cuadrada de la proporción antes del análisis estadístico. Posteriormente, los resultados se destransformaron para su presentación e interpretación. Previo al análisis de varianza (ANOVA), se verificó el cumplimiento de los supuestos de normalidad de los residuos mediante la prueba de Shapiro-Wilk y de homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene. Una vez comprobados dichos supuestos, los datos se analizaron con ANOVA y las medias se compararon mediante la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). Todos los análisis se realizaron utilizando el programa Statistical Analysis System (SAS), versión 9.2.

RESULTADOS

Incidencia y severidad

La incidencia y la severidad de la enfermedad en durazneros inoculados con *A. tenuissima* mostraron diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 1). El tratamiento TeIn presentó el mayor porcentaje de incidencia. Por otra parte, los tratamientos InFu e InLg presentaron la misma incidencia (83.3%). Asimismo, la incidencia en los durazneros del tratamiento InLg disminuyó un 16.7% en comparación con TeIn. Sin embargo, a pesar de que en los tratamientos TeAb y TeLg no se inoculó el hongo fitopatógeno, se observó una incidencia del 66.6% en ambos casos (Tabla 1).

En cuanto a la severidad de la enfermedad, el tratamiento TeIn registró el valor más alto (48.1%). Por su parte, los tratamientos InFu e InLg, ambos inoculados y tratados con fungicida y extracto de *L. graveolens*, respectivamente, mostraron valores estadísticamente similares entre sí (Tabla 1). Por otra parte, el tratamiento InLg permitió disminuir la severidad en un notable 49.3% en comparación con los árboles de TeIn, lo que representa una reducción importante del daño.

Mientras que los árboles de TeAb y TeLg mostraron los valores más bajos de severidad con 4.6 y 9.9%, respectivamente, atribuidos a la ausencia de una inoculación directa.

Tabla 1. Incidencia y severidad en durazneros bajo diferentes tratamientos.

Tratamiento	Porcentaje de Incidencia (%)	Porcentaje de Severidad (%)
TeAb	66.6 ^a	4.6 ^a
TeIn	100.0 ^c	48.1 ^c
InFu	83.3 ^b	23.5 ^b
TeLg	66.6 ^a	9.9 ^a
InLg	83.3 ^b	24.4 ^b
ANVA $p \leq$	0.0001	0.0001

TeAb = testigo absoluto; TeIn = Testigo inoculado; InFu = Inoculado + fungicida; TeLg = extracto de *L. graveolens*; InLg = Inoculado + extracto de *L. graveolens*. Valores con la misma letra en columnas, son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Análisis bioquímicos

Enzima PAL

Los datos correspondientes a la actividad de PAL evaluada a los 21 ddpi no se incluyeron en el análisis debido a limitaciones estadísticas asociadas a la distribución de los datos obtenidos en dicho muestreo. Por lo tanto, la presentación de resultados para esta variable inicia a partir de los 49 ddpi. La actividad de la enzima PAL presentó diferencias significativas entre tratamientos y fechas de muestreo (Figura 2). A los 49 ddpi, los tratamientos TeLg e InLg registraron las mayores actividades enzimáticas, mientras que InFu presentó los valores más bajos. A los 103 ddpi, la actividad de PAL se incrementó en el tratamiento InLg, alcanzando el valor más alto entre los tratamientos evaluados, mientras que InFu disminuyó hasta niveles prácticamente no detectables. Finalmente, a los 110 ddpi, TeAb presentó la mayor actividad enzimática, seguido por TeLg e InLg, los cuales mostraron valores estadísticamente similares entre sí. En contraste, InFu mantuvo los niveles más bajos de actividad durante las últimas fechas de evaluación. En conjunto, los resultados evidencian una mayor actividad de PAL en los tratamientos que recibieron la aplicación del extracto de *L. graveolens*.

Enzima quitinasa y β -1,3-glucanasa

La actividad de estas enzimas en los durazneros bajo diferentes tratamientos presentó diferencias significativas (Figura 3). A los 21 ddpi (Figura 3A), el tratamiento TeIn presentó mayor actividad de quitinasa, seguido de InFu (13.38 U g⁻¹ PT), mientras que TeLg e InLg presentaron estadísticamente la actividad más baja. A los 49 ddpi, InFu presentó el valor más alto, seguido por InLg. Posteriormente, a los 103 y 110 ddpi, las diferencias entre tratamientos fueron menos evidentes; sin embargo, InLg mantuvo una actividad relativamente estable durante las últimas fechas de evaluación.

Por otra parte, la actividad de la enzima β -1,3-glucanasa (Figura 3B) a los 21 ddpi, el tratamiento TeIn mostró la mayor actividad enzimática. En los muestreos de 49 y 103 ddpi, el tratamiento InFu registró los valores más altos, mientras que InLg presentó una respuesta intermedia, superior a TeIn a los 49 ddpi y similar a este tratamiento en las evaluaciones posteriores. Finalmente, a los 110 ddpi, las diferencias entre tratamientos fueron menores y los valores tendieron a ser similares.

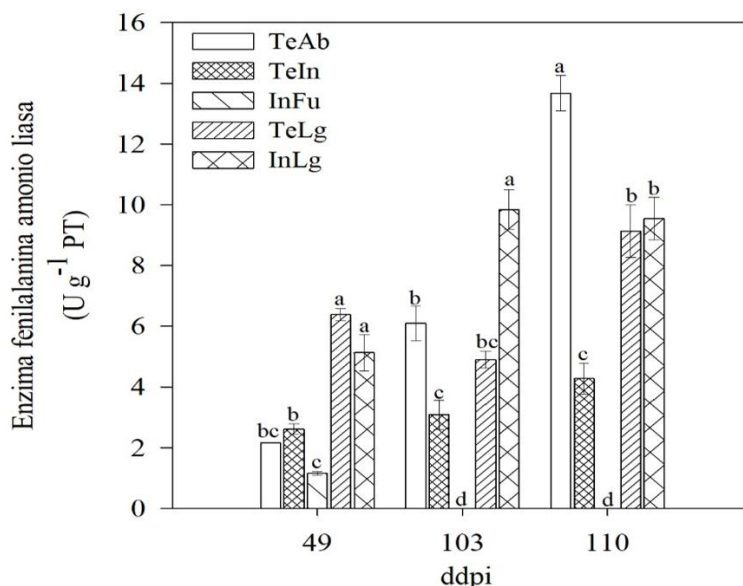


Figura 2. Actividad de la enzima fenilalanina amonio-liasas (PAL) en hojas del duraznero del ecotipo Diamante, en cuatro momentos del experimento. Las barras representan el promedio $\pm$ error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$).

Enzimas antioxidantes

En esta investigación, la actividad de las enzimas antioxidantes SOD, CAT y GPx, se vio afectada por los diferentes tratamientos evaluados en los diferentes muestreos realizados (Tabla 2).

Enzima SOD

A los 21 ddpi, en el tratamiento TeIn registró la mayor actividad enzimática, seguido por InFu. A los 49 ddpi, InFu presentó el valor más alto, mientras que InLg mostró una actividad significativamente superior a la observada en TeIn. Posteriormente, a los 103 ddpi, InFu y TeLg registraron las mayores actividades, mientras que InLg presentó el valor más bajo. Sin embargo, a los 110 ddpi, la actividad de SOD en InLg aumentó nuevamente, alcanzando valores estadísticamente similares a los observados en InFu y superiores a los registrados en TeIn (Tabla 2).

Enzima CAT

Al igual que para PAL, los datos correspondientes a la actividad de CAT evaluada a los 21 ddpi, no se incluyeron en el análisis debido a limitaciones estadísticas asociadas a la distribución de los datos obtenidos en dicho muestreo. En consecuencia, los resultados de esta variable se presentan a partir de los 49 ddpi.

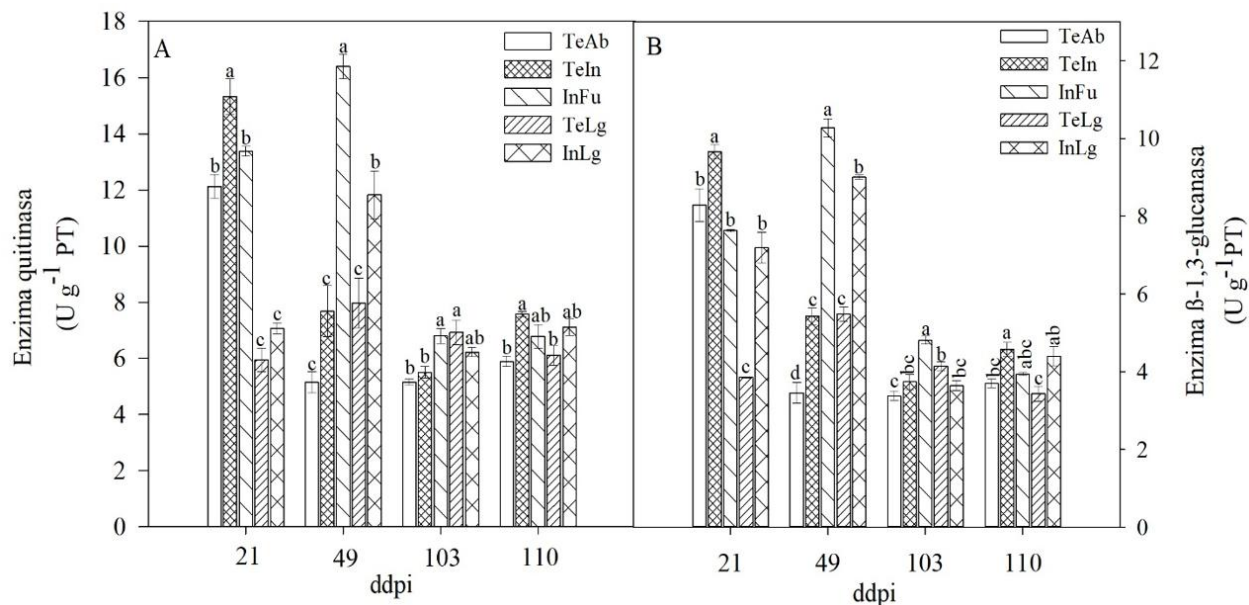


Figura 3. Actividad de las enzimas quitinasa (A) y β-1,3-glucanasa (B) en hojas del duraznero del ecotipo Diamante evaluadas en distintos momentos del experimento. Las barras representan el promedio ± error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$).

A los 49 ddpi, InFu registró la mayor actividad enzimática ($1.17 \text{ U g}^{-1} \text{ PT}$), seguido por TeLg ($0.75 \text{ U g}^{-1} \text{ PT}$). En el muestreo realizado a los 103 ddpi, los tratamientos TeIn y TeLg presentaron las mayores actividades de CAT (0.54 y $0.51 \text{ U g}^{-1} \text{ PT}$, respectivamente), mientras que InFu e InLg mostraron los valores más bajos. Finalmente, a los 110 ddpi, TeLg mantuvo la mayor actividad enzimática ($0.58 \text{ U g}^{-1} \text{ PT}$), en tanto que InLg registró una actividad de $0.32 \text{ U g}^{-1} \text{ PT}$, sin diferencias estadísticas respecto a TeIn e InFu (Tabla 2).

Enzima Gpx

A los 21 ddpi, el tratamiento TeIn registró la mayor actividad de la enzima Gpx, seguido por InFu. Posteriormente, a los 49 ddpi, InFu presentó el valor más alto, mientras que InLg mostró una actividad superior a la observada en TeIn. A los 103 ddpi, TeIn e InFu registraron las mayores actividades de GPx, mientras que InLg presentó uno de los valores más bajos. Finalmente, a los 110 ddpi, InFu mantuvo la mayor actividad enzimática y fue estadísticamente similar a TeLg, mientras que InLg registró la menor actividad entre los tratamientos evaluados (Tabla 2).

Contenido de fenoles y flavonoides totales

El contenido de fenoles y flavonoides totales fue afectado significativamente por los tratamientos y las fechas de muestreo, con excepción del contenido de flavonoides a los 103 ddpi, donde no se observaron diferencias significativas entre tratamientos (Figura 4). A los 21 y 49 ddpi, el tratamiento TeAb registró los mayores contenidos de fenoles totales y flavonoides, mientras que InLg los valores bajos. A los 103 ddpi, TeLg mostró el contenido más alto de fenoles, superando significativamente al resto de los tratamientos. Finalmente, a los 110 ddpi, los tratamientos TeIn, InFu, TeLg e InLg presentaron contenidos de fenoles estadísticamente similares entre sí y superiores a los observados en TeAb (Figura 4A).

Tabla 2. Efecto del extracto de *L. graveolens* y del fungicida sobre la actividad de enzimas antioxidantes en duraznero.

Enzimas antioxidantes	Tratamiento	Días después de la primera inoculación (ddpi)			
		21	49	103	110
Superóxido dismutasa (U g ⁻¹ PT)	TeAb	167.48 ^c	65.8 ^e	88.44 ^c	79.79 ^c
	TeIn	217.47 ^a	109.54 ^d	100.03 ^b	93.34 ^b
	InFu	187.31 ^b	192.2 ^a	110.61 ^a	114.83 ^a
	TeLg	103.54 ^d	120.23 ^c	108.94 ^a	63.76 ^d
	InLg	161.99 ^c	175.82 ^b	73.19 ^d	107.1 ^a
	ANVA $p \leq$	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	CV (%)	3.8	1.84	2.17	3.27
Catalasa (Ug ⁻¹ PT)	TeAb	-	0.31 ^c	0.36 ^b	0.43 ^{ab}
	TeIn	-	0.32 ^c	0.54 ^a	0.36 ^b
	InFu	-	1.17 ^a	0.20 ^c	0.42 ^{ab}
	TeLg	-	0.75 ^b	0.51 ^a	0.58 ^a
	InLg	-	0.31 ^c	0.18 ^c	0.32 ^b
	ANVA $p \leq$	-	0.0001	0.001	0.0042
	CV (%)	-	14.86	12.41	14.59
Glutación peroxidasa (Ug ⁻¹ PT)	TeAb	115.91 ^c	53.71 ^d	80.03 ^d	113.57 ^{bc}
	TeIn	183.60 ^a	112.14 ^c	218.15 ^a	112.22 ^{bc}
	InFu	156.29 ^b	266.06 ^a	205.58 ^a	138.69 ^a
	TeLg	87.94 ^d	118.73 ^c	148.22 ^b	124.83 ^{ab}
	InLg	99.47 ^{cd}	217.36 ^b	109.56 ^c	101.16 ^c
	ANVA $p \leq$	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	CV (%)	6.26	5.74	5.5	4.43

CV = coeficiente de variación; ANVA = análisis de varianza; - Datos no incluidos en el análisis debido a limitaciones estadísticas asociadas a la distribución de los datos obtenidos en dicho muestreo; TeAb = testigo absoluto; TeIn = Testigo inoculado; InFu = Inoculado + fungicida; TeLg = testigo con extracto de *L. graveolens*; InLg = Inoculado + extracto de *L. graveolens*. Valores con la misma letra en columnas, son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

En cuanto al contenido de flavonoides totales, a los 21 ddpi, el tratamiento TeIn registró el mayor contenido, mientras que InFu presentó el valor más bajo. A los 49 ddpi, TeAb mostró el contenido más alto y superó significativamente al resto de los tratamientos. En la evaluación final (110 ddpi), InLg presentó contenidos de flavonoides estadísticamente iguales a los observados en TeIn, InFu y TeLg, pero inferiores al contenido de TeAb (Figura 4B).

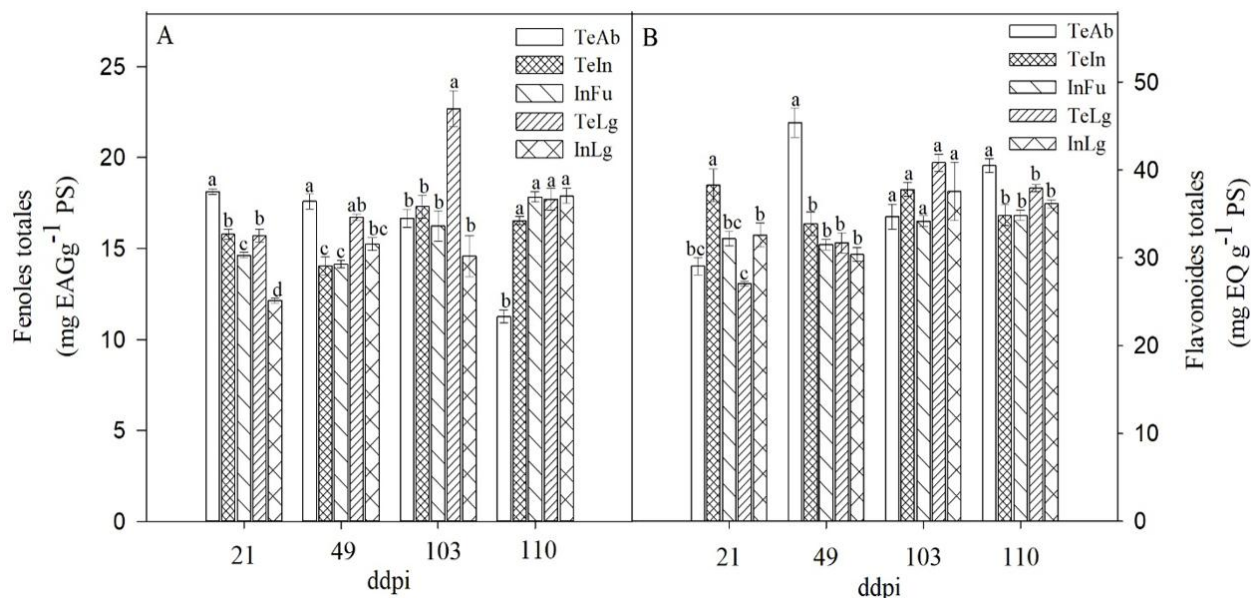


Figura 4. Contenido de fenoles totales (A) y flavonoides totales (B) en hojas del duraznero del ecotipo Diamante evaluadas en distintos momentos del experimento. Las barras representan el promedio $\pm$ error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$).

DISCUSIÓN

Incidencia y severidad

La capacidad del extracto de *L. graveolens* para disminuir el desarrollo de la necrosis descendente podría estar asociada a la presencia de metabolitos secundarios con actividad antifúngica, capaces de interferir en procesos esenciales para el establecimiento y colonización de *A. tenuissima*. Entre estos compuestos destacan diversos ácidos fenólicos y flavonoides, ampliamente reconocidos por afectar la germinación de esporas, el crecimiento micelial y la integridad de las membranas celulares de hongos fitopatógenos (Rodríguez *et al.* 2023, Ali *et al.* 2024), y en particular, el ácido vanílico, previamente identificado como uno de los compuestos mayoritarios del extracto de *L. graveolens* (Muñoz-Rocha *et al.* 2025), el cual ha sido relacionado con la inhibición de la síntesis de micotoxinas y el desarrollo micelial en especies de *Fusarium* (Schöneberg *et al.* 2018).

Por otra parte, la reducción observada en la enfermedad concuerda con la actividad antifúngica previamente demostrada por el extracto frente a *A. tenuissima* bajo condiciones *in vitro* (Muñoz-Rocha *et al.* 2025), donde se registró una inhibición total del crecimiento del patógeno. Esto sugiere que parte del efecto observado en los durazneros pudo deberse a una acción directa de los compuestos presentes en el extracto, durante el establecimiento y desarrollo del hongo.

Un aspecto relevante en la presente investigación fue la incidencia observada en los tratamientos no inoculados, los cuales desarrollaron síntomas de la enfermedad a pesar de no haber recibido inoculación artificial con *A. tenuissima*. La presencia de la enfermedad en estos árboles podría atribuirse a una posible deriva durante la aplicación del inóculo, favoreciendo la contaminación cruzada entre tratamientos. Sin embargo, esta presencia no fue tan marcada como en los árboles inoculados. En este sentido, Woudenberg *et al.* (2013) señalan que *A. tenuissima* es un hongo

fitopatógeno y saprófito ampliamente distribuido, con capacidad para colonizar diversas especies vegetales, lo que pudo favorecer la ocurrencia de infecciones naturales en los tratamientos no inoculados. Por otra parte, los resultados obtenidos coinciden con lo reportado por Deresa y Diriba (2023), quienes señalan que los extractos vegetales ricos en metabolitos secundarios pueden reducir el desarrollo de enfermedades en distintos cultivos. De manera similar, Quintero-Rodríguez *et al.* (2024) observaron que extractos provenientes de especies de la familia Lamiaceae, entre ellas romero, tomillo y orégano, disminuyeron la severidad de enfermedades en poscosecha de aguacate. No obstante, estos resultados contrastan con los obtenidos por Tucuch-Pérez *et al.* (2021), quienes no observaron diferencias significativas en la incidencia ni en la severidad de plantas de tomate inoculadas con *Fusarium oxysporum* y tratadas con extracto de *L. graveolens*. Estas discrepancias pueden atribuirse a diferencias en la sensibilidad de los patógenos, la especie hospedera, la composición química del extracto, la dosis aplicada y las condiciones ambientales bajo las cuales se desarrolló cada estudio (Dèné y Valiūškaitė 2021). En conjunto, estos antecedentes indican que la eficacia de los extractos vegetales depende de la interacción entre el hospedero, el patógeno y el ambiente. Por ello, la evaluación específica de cada sistema biológico resulta fundamental para determinar su potencial como alternativa para el manejo de enfermedades en cultivos agrícolas.

Análisis bioquímicos

Enzima PAL

Como parte de las respuestas bioquímicas de defensa, la enzima PAL es fundamental en la vía de los fenilpropanoides, ya que participa en la síntesis de lignina, flavonoides y fitoalexinas, compuestos clave en la defensa vegetal (Bhuvaneshwari y Paul 2012). Su activación, inducida por elicitores naturales o sintéticos, suele representar una de las primeras respuestas bioquímicas ante el estrés, fortaleciendo las barreras estructurales y químicas de la planta (Ertani *et al.* 2016, Kumari y Vengadaramana 2017, Vyas y Mukhopadhyay 2018). La actividad de la enzima PAL aumentó en las hojas del duraznero tras la aplicación del extracto de *L. graveolens*, lo cual indica un posible efecto inductor del extracto sobre la vía de los fenilpropanoides. En este sentido Burketova *et al.* (2015) mencionan que los extractos vegetales pueden actuar como elicitores, estimulando esta vía metabólica y promoviendo la producción de metabolitos secundarios con actividad antimicrobiana. Los resultados obtenidos son similares a lo reportado por Kadoo y Badere (2023), quienes observaron que la aplicación de extracto de *Cleistanthus collinus* indujo eficazmente la actividad de PAL en plántulas de pepino y chile. De forma similar, Gholamnezhad (2019) reportó que la aplicación del extracto de neem en manzanas inoculadas con *Botrytis cinerea* incrementó significativamente la actividad de esta enzima en poscosecha. En este sentido, la tendencia de una mayor actividad de PAL en durazneros tratados con el extracto de *L. graveolens* podría estar asociada a la activación de la vía de los fenilpropanoides.

Enzimas quitinasa y β -1,3-glucanasa

Las enzimas quitinasa y β -1,3-glucanasa juegan un papel clave en la defensa vegetal, ya que están involucradas en la degradación de componentes de la pared celular de hongos patógenos, facilitando su lisis y limitando su proliferación. Ambas forman parte de la respuesta inducida mediada por proteínas PR (pathogenesis-related), y su activación ha sido ampliamente asociada a

mecanismos de resistencia sistémica adquirida (RSA) en diversos cultivos (Van Loon *et al.* 2006, Grover 2012). En este contexto, estudios previos demuestran que la aplicación de extractos vegetales puede inducir la actividad de quitinasa y β -1,3-glucanasa en diferentes especies hortícolas. Sobre lo mismo, Baysal y Zeller (2004) observaron una mayor actividad de estas enzimas tras aplicar extracto de *Hedera helix* en manzano, lo cual contribuyó a reducir los síntomas causados por *Erwinia amylovora*. Por su parte Kadoo y Badere (2017) demostraron que la aplicación de extractos de *Cleistanthus collinus* en plántulas de chile y pepino incrementó la actividad de estas enzimas, lo que se asoció con una mayor resistencia frente a patógenos del suelo. Asimismo, Grover (2012) señala que los extractos naturales pueden actuar como elicitores al estimular la expresión de genes relacionados con enzimas hidrolíticas, incluyendo quitinasas y β -1,3-glucanasas, como parte de la resistencia sistémica adquirida en plantas. En este sentido, la reducción de severidad observada en el tratamiento InLg, podría estar relacionada con una mayor actividad de las enzimas quitinasa y β -1,3-glucanasa inducida por el extracto de *L. graveolens*, especialmente en momentos clave del desarrollo de la enfermedad. De esta manera, el efecto antifúngico observado en el presente estudio podría estar relacionado no solo con una acción directa del extracto, sino también con su posible capacidad para aumentar la actividad de estas enzimas.

Enzimas antioxidantes: SOD, CAT y GPx

De manera complementaria a la acción de las enzimas hidrolíticas involucradas en la defensa antifúngica, el control del estrés oxidativo durante la interacción planta-patógeno representa otro componente clave de la respuesta defensiva. Desde esta perspectiva, las enzimas antioxidantes constituyen una de las principales líneas de defensa en las plantas frente al estrés oxidativo inducido por patógenos. Entre las más relevantes se encuentran la SOD, CAT y GPx, cuya acción conjunta permite descomponer especies reactivas de oxígeno (ROS) como el anión superóxido (O_2^-) y el peróxido de hidrógeno (H_2O_2), protegiendo así la integridad celular. La modulación en la actividad de estas enzimas refleja la intensidad de la respuesta antioxidante y la capacidad adaptativa de la planta frente a condiciones de estrés (Apel y Hirt 2004, Gill y Tuteja 2010). Por otra parte, se ha demostrado que ciertos elicitores de origen vegetal pueden inducir la actividad antioxidante en tejidos vegetales, favoreciendo una mejor respuesta frente al estrés (Hasanuzzaman *et al.* 2020). Bajo este contexto, la aplicación del extracto de *L. graveolens* mostró un comportamiento variable sobre las enzimas antioxidantes evaluadas. El tratamiento InLg promovió una actividad intermedia de SOD, con un incremento en la fase final del experimento. En contraste, para CAT y GPx, el tratamiento InLg presentó valores inferiores al tratamiento con fungicida, aunque mantuvo una actividad sostenida a lo largo del tiempo. Este patrón sugiere que el extracto ayudó a mantener controlada la respuesta antioxidante, evitando activaciones excesivas o desreguladas durante el desarrollo del experimento. Estos resultados coinciden con lo reportado por Ei *et al.* (2024), quienes demostraron que la aplicación de extractos vegetales en arroz indujo la actividad de enzimas antioxidantes como parte de una respuesta de defensa activada por los compuestos bioactivos presentes en los extractos. Por otra parte, diversos autores han señalado que los extractos vegetales ricos en compuestos polifenólicos pueden modular la actividad de enzimas antioxidantes, actuando como señalizadores endógenos en condiciones de estrés biótico (Hasanuzzaman *et al.* 2020, Rao y Zheng 2025). En el caso del presente estudio, la actividad de las enzimas antioxidantes podría atribuirse a la presencia de ácidos fenólicos, flavonoides y taninos condensados en el extracto de *L. graveolens*, los cuales no solo presentan capacidad antioxidante,

sino que también podrían participar como moduladores de rutas metabólicas asociadas a la respuesta al estrés biótico (Muñoz-Rocha *et al.* 2025).

Contenido de fenoles y flavonoides totales

La variabilidad observada en los niveles de fenoles y flavonoides totales sugiere que estos metabolitos secundarios respondieron de manera específica a los tratamientos aplicados. En el caso de los fenoles totales, el tratamiento InLg presentó valores relativamente bajos en todos los muestreos, sin llegar a superar a TeIn ni a InFu. Esto sugiere que, en este caso, el extracto no promovió de forma consistente la acumulación de compuestos fenólicos en el tejido foliar. Por otro lado, el contenido de flavonoides totales en el tratamiento InLg se mantuvo relativamente estable a lo largo del experimento, aunque sin mostrar incrementos marcados en los muestreos. Por lo tanto, no se observó un efecto sobresaliente del extracto en la acumulación de flavonoides, aunque sí mantuvo niveles similares a los tratamientos TeAb y TeIn, lo que podría reflejar una contribución moderada del extracto a la síntesis de estos compuestos. Aunque el tratamiento InLg no promovió consistentemente una mayor acumulación de estos compuestos en las hojas del duraznero, se asoció con mayor actividad de enzimas relacionadas con la defensa, como PAL, quitinasa, β -1,3-glucanasa y la enzima antioxidante SOD, en momentos clave. Esta respuesta sugiere que los compuestos bioactivos del extracto de *L. graveolens* podrían haber participado en la modulación de respuestas bioquímicas asociadas con la defensa vegetal más que como precursores directos de metabolitos secundarios (Grover 2012, Ramaroson *et al.* 2022). Además, es posible que los compuestos fenólicos sintetizados se hayan utilizado rápidamente en las rutas de defensa (por ejemplo, para la biosíntesis de lignina o fitoalexinas), lo que explicaría su baja acumulación en el tejido vegetal pese a la activación de las enzimas correspondientes (Maslennikova *et al.* 2023).

CONCLUSIONES

La aplicación del extracto hidroalcohólico de *L. graveolens* en durazneros inoculados con *A. tenuissima* redujo la incidencia y la severidad de la necrosis descendente bajo condiciones de invernadero. Asimismo, el extracto estuvo asociado con modificaciones en la actividad de enzimas relacionadas con la defensa vegetal, particularmente de PAL, quitinasa, β -1,3-glucanasa y SOD, lo que sugiere una posible participación de mecanismos bioquímicos involucrados en la respuesta de la planta frente al patógeno. En conjunto, los resultados indican el potencial del extracto de *L. graveolens* para el manejo de esta enfermedad.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca otorgada a la Dra. Belén Guadalupe Muñoz-Rocha para estudios de Doctorado en Ciencias en Parasitología Agrícola en la UAAAN, Saltillo, Coahuila, México (número de beca: 848580; número de CVU: 1099851). A la Dra. Dennise Anahí Carrillo Lomelí por las revisiones realizadas a los análisis de los resultados de investigación derivados de este trabajo. Asimismo, a la T.A. María Guadalupe

Moreno Esquivel, a la T.A. Edith E. Chaires Colunga y al C. Juan José Valenzuela Cabrera del Laboratorio de Fitoquímica de la UAAAN, así como al Ing. Froylán Meraz Saavedra del Jardín Botánico “Gustavo Aguirre Benavides”, del Departamento de Botánica de la UAAAN, por su valiosa asistencia en la colecta de plantas y la obtención de los extractos.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

LITERATURA CITADA

- Albarracin-Gómez LD, Hortua-Gamboa SD, Acero-Godoy J (2022) Efecto inhibitorio del aceite esencial de *Lippia graveolens* sobre *Fusarium oxysporum* en la familia *Solanaceae*. Una revisión. Revista Tecnología en Marcha 36 (1): 54-65. <https://doi.org/10.18845/tm.v36i1.5877>
- Ali N, Shoaib A, Rafiq M, Malik B, Yousaf M (2024) Vanillic acid enhances mung bean resistance and growth against *Macrophomina phaseolina* as a sustainable antifungal approach. Journal of Crop Health 76(6): 1473-1480. <https://doi.org/10.1007/s10343-024-01062-z>
- Apel K, Hirt H (2004) Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction. Annual Review of Plant Biology 55(1): 373-399. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141701>
- Baysal Ö, Zeller W (2004) Extract of *Hedera helix* induces resistance on apple rootstock M26 similar to Acibenzolar-S-methyl against fire blight (*Erwinia amylovora*). Physiological and Molecular Plant Pathology 65(6): 305-315. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2005.03.003>
- Bhuvaneshwari V, Paul PK (2012) Transcriptional and translational regulation of defense enzymes induced by neem fruit extract in tomato. Archives of Phytopathology and Plant Protection 45(12): 1374-1385. <https://doi.org/10.1080/03235408.2012.655931>
- Bolboli Z, Tavakolian B, Mostowfizadeh-Ghalamfarsa R, Jafari M, Cacciola SO (2022) *Stilbocrea banihashemiana* sp. nov. a new fungal pathogen causing stem cankers and twig dieback of fruit trees. Journal of Fungi 8(7): 694. <https://doi.org/10.3390/jof8070694>
- Bradford MM (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry 72(1-2): 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Burketova L, Trda L, Ott PG, Valentova O (2015) Bio-based resistance inducers for sustainable plant protection against pathogens. Biotechnology Advances 33(6): 994-1004. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.01.004>
- Cabral-Miramontes JP, Martínez-Rocha AL, Rosales-Castro M, López-Rodríguez A, Meneses-Morales I, Del Campo-Quinteros E, Herrera-Ocelotol KK, Gándara-Moreno G, Velázquez-Huizar SJ, Ibarra-Sánchez L, Ruiz-Baca E (2024) Antifungal activity of mexican oregano (*Lippia graveolens* Kunth) extracts from industrial waste residues on *Fusarium* spp. in Bean Seeds (*Phaseolus vulgaris* L.). Agriculture 14(11): 1975. <https://doi.org/10.3390/agriculture14111975>
- Cansev A, Gulen H, Eris A (2011) The activities of catalase and ascorbate peroxidase in olive (*Olea europaea* L. cv. Gemlik) under low temperature stress. Horticulture, Environment, and Biotechnology 52(2): 113-120. <https://doi.org/10.1007/s13580-011-0126-4>

- Chowdhary VA, Tank JG (2023) Biomolecules regulating defense mechanism in plants. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences 93(1): 17–25. <https://doi.org/10.1007/s40011-022-01387-7>
- Dėnė L, Valiūškaitė A (2021) Sensitivity of *Botrytis cinerea* isolates complex to plant extracts. Molecules 26(15): 4595. <https://doi.org/10.3390/molecules26154595>
- Deresa EM, 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 9(3): e13810. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13810>
- Ei E, Park HH, Kuk YI (2024) Effects of plant extracts on growth promotion, antioxidant enzymes, and secondary metabolites in rice (*Oryza sativa*) plants. Plants 13(19): 2727. <https://doi.org/10.3390/plants13192727>
- Ertani A, Pizzeghello D, Francioso O, Tinti A, Nardi S (2016) Biological activity of vegetal extracts containing phenols on plant metabolism. Molecules 21(2): 205. <https://doi.org/10.3390/molecules21020205>
- Flohé L, Günzler WA (1984) Assays of glutathione peroxidase. Methods Enzymol 105(1): 114–120. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(84\)05015-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(84)05015-1)
- Gholamnezhad J (2019) Effect of plant extracts on activity of some defense enzymes of apple fruit in interaction with *Botrytis cinerea*. Journal of Integrative Agriculture 18(1): 115-123. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62104-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62104-5)
- Gill SS, Tuteja N (2010) Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiology and Biochemistry 48(12): 909-930. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>
- Goswami SK, Singh V, Chakdar H, Choudhary P (2018) Harmful effects of fungicides-Current status. International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology 11(779): 1011-1019.
- Grover A (2012) Plant chitinases: genetic diversity and physiological roles. Critical Reviews in Plant Sciences 31(1): 57-73. <https://doi.org/10.1080/07352689.2011.616043>
- Hasanuzzaman M, Bhuyan MHM, Zulfiqar F, Raza A, Mohsin S, Mahmud J, Fujita M, Fotopoulos V (2020) Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: Revisiting the crucial role of a universal defense regulator. Antioxidants 9(8): 681. <https://doi.org/10.3390/antiox9080681>
- Jibril SM, Jakada BH, Kutama AS, Umar HY (2016) Plant and pathogens: pathogen recognition, invasion and plant defense mechanism. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 5(6): 247-257. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2016.506.028>
- Kadoo MR, Badere RS (2017) Modulation of the activity of chitinases and β -1, 3 glucanase in seedlings of cucumber and chilli by the aqueous extract of *Cleistanthus collinus*. Physiological and Molecular Plant Pathology 98: 46-53. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2017.03.004>
- Kadoo MR, Badere RS (2023) Enhancement of phenylalanine ammonia-lyase activity in cucumber and chilli seedlings by aqueous extract of *Cleistanthus collinus*. Indian Journal of Natural Products and Resources 14(4): 651-655. <https://doi.org/10.56042/ijnpr.v14i4.6320>
- Khadivi A, Mirheidari F, Saeidifar A, Moradi Y, Tunç Y, Mishra DS (2025) Morphological and pomological characterizations of peach [*Prunus persica* (L.) Batsch] Accessions. Food Science & Nutrition 13(7): e70501. <https://doi.org/10.1002/fsn3.70501>
- Kumari Y, Vengadaramana A (2017) Stimulation of defense enzymes in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and chilli (*Capsicum annuum* L.) in response to exogenous application of different chemical elicitors. Universal Journal of Plant Science 5(1): 10-15. [10.13189/ujps.2017.050102](https://doi.org/10.13189/ujps.2017.050102)
- Luo CX, Schnabel G, Hu M, De Cal A (2022) Global distribution and management of peach diseases. Phytopathology Research 4(1): 30. <https://doi.org/10.1186/s42483-022-00134-0>
- Madden LV, Hughes G, Van den Bosch F (2007). The study of plant disease epidemics. American Phytopathological Society. St. Paul Minnesota, USA. xiv + 421 p.

- Mahawer SK, Arya S, Kabdal T, Kumar R, Prakash O, Chitara MK, Koli P (2022) Plant defense systems: mechanism of self-protection by plants against pathogens. In: Soni R, Suyal Dc and Goel R (eds) Plant protection: from chemicals to biologicals. Walter de Gruyter GmbH. Berlín, Alemania. pp. 115-140. <https://doi.org/10.1515/9783110771558-006>
- Maslennikova D, Ivanov S, Petrova S, Burkhanova G, Maksimov I, Lastochkina O (2023) Components of the phenylpropanoid pathway in the protective effect of SNP on wheat under salinity. *Plants* 12(11): 2123. <https://doi.org/10.3390/plants12112123>
- Miller GL (1959) Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. *Analytical Chemistry* 31(3): 426-428. <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>
- Muñoz-Rocha BG, Hernández-Pérez A, Moo-Huchín VM, Hernández-Castillo FD, Ochoa-Fuentes YM, Chávez-González ML, Carrillo-Lomelí DA, Peña-Ramos FM, Jasso de Rodríguez D (2025) Can phenolic compounds of semi-desert plant extracts control phytopathogenic fungi isolated from peach trees? *Industrial Crops and Products* 236: 121882. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.121882>
- Muñoz-Rocha BG, Jasso De Rodríguez D, Ochoa-Fuentes YM, Hernández-Pérez A, Hernández-Castillo FD, Velázquez-Guerrero JJ, Juárez-Maldonado A (2024) Hongos asociados a la necrosis descendente del duraznero en Valparaíso, Zacatecas, México: Primer reporte. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 11(3). <https://doi.org/10.19136/era.a11n3.4163>
- Orozco-Santos M (1995) Enfermedades presentes y potenciales de los cítricos en México. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. 150p.
- Quintero-Rodríguez E, Montoya-Vargas MP, López-Luján LM, Guzmán-Cabrera SA, Aristizábal-Sepúlveda OL, Bedoya-Pérez JC (2024) Evaluación del efecto de extractos vegetales para el control de enfermedades poscosecha del aguacate HASS. *Revista Politécnica* 20(40): 173-185. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v20n40a11>
- Ramaroson ML, Koutouan C, Helesbeux JJ, Le Clerc V, Hamama L, Geoffriau E, Briard M (2022) Role of phenylpropanoids and flavonoids in plant resistance to pests and diseases. *Molecules* 27(23): 8371.
- Ramos SJ, Faquin V, Guilherme LRG, Castro EM, Ávila FW, Carvalho GS, Bastos CEA, Oliveira C (2010) Selenium biofortification and antioxidant activity in lettuce plants fed with selenate and selenite. *Plant, Soil and Environment* 56(12): 584-588. <https://doi.org/10.17221/113/2010-PSE>
- Rao MJ, Zheng B (2025) The role of polyphenols in abiotic stress tolerance and their antioxidant properties to scavenge reactive oxygen species and free radicals. *Antioxidants* 14(1): 74. <https://doi.org/10.3390/antiox14010074>
- Rodríguez B, Pacheco L, Bernal I, Piña M (2023) Mechanisms of action of flavonoids: antioxidant, antibacterial and antifungal properties. *Ciencia, Ambiente y Clima* 6(2): 33-66. <https://doi.org/10.22206/cac.2023.v6i2.3021>
- Rodríguez-Pedroso AT, Ramírez-Arrebato NÁ, Cárdenas-Travieso RM (2006) Efecto de la quitosana en la inducción de la actividad de enzimas relacionadas con la defensa y protección de plántulas de arroz (*Oryza sativa* L.) contra *Pyricularia grisea* Sacc. *Revista Mexicana de Fitopatología* 24: 1-7.
- Schöneberg T, Kibler K, Sulyok M, Musa T, Buchel TD, Mascher F, Bertossa M, Voegelé RT, Vogelgsang S (2018) Can plant phenolic compounds reduce *Fusarium* growth and mycotoxin production in cereals? *Food Additives & Contaminants: Part A* 35 2455–2470. <https://doi.org/10.1080/19440049.2018.1538570>
- SIAP (2024) Panorama Agroalimentario 2024. <https://panorama.siap.gob.mx/vista/productos.php>. Fecha de consulta: 10 de julio de 2024.
- Singleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventós RM (1999) Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology* 299: 152-178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Steiner AA (1961) A universal method for preparing nutrient solutions of a certain. *Plant Soil* 15(2): 134-154.

- Sultana B, Anwar F, Ashraf M (2009) Effect of extraction solvent/technique on the antioxidant activity of selected medicinal plant extracts. *Molecules* 14(6): 2167-2180. <https://doi.org/10.3390/molecules14062167>
- Syklowska-Baranek K, Grech-Baran M, Naliwajski MR, Bonfill M, Pietrosiuk A (2015) Paclitaxel production and PAL activity in hairy root cultures of *Taxus x media* var. *Hicksii* carrying a taxadiene synthase transgene elicited with nitric oxide and methyl jasmonate. *Acta Physiologiae Plantarum* 37(10): 218. <https://doi.org/10.1007/s11738-015-1949-x>
- Townsend GR, Heuberger JW (1943) Methods for estimating losses caused by diseases in fungicide experiments. *Plant Disease Reporter* 27: 340-343.
- Tucuch-Pérez MA, Bojórquez-Vega JJ, Arredondo-Valdés R, Hernández-Castillo FD, Anguiano-Cabello JC (2021) Actividad biológica de extractos vegetales del semidesierto mexicano para manejo de *Fusarium oxysporum* de tomate. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 8(2). <https://doi.org/10.19136/era.a8n2.2745>
- Valle-De la Paz M, Guillén-Sánchez D, Perales-Rosas D, López-Martínez V, Juárez-López P, Martínez-Fernández E, Hernández-Arenas M, Ariza-Flores R, Gijón-Hernández AR (2019) Distribución, incidencia y severidad de la muerte descendente (*Lasiodiplodia* spp.) en lima persa en Morelos, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 37(3): 464-478. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1904-7>
- Vázquez-Cuecuecha OG, García-Gallegos E, Chávez-Gómez JA (2023) Caracterización física y química de los frutos de tres variedades de *Prunus persica* L. Batsch en Tlaxcala. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 14(5): 85-94. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i5.3197>
- Vyas P, Mukhopadhyay K (2018) Elicitation of phenylpropanoids and expression analysis of pal gene in suspension cell culture of *Ocimum tenuiflorum* L. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences* 88: 1207-1217.
- Woudenberg JHC, Groenewald JZ, Binder M, Crous PW (2013) *Alternaria* redefined. *Studies in Mycology* 75: 171-212. <https://doi.org/10.3114/sim0015>
- Xue T, Hartikainen H, Piironen V (2001) Antioxidative and growth-promoting effect of selenium on senescing lettuce. *Plant and Soil* 237(1): 55-61. <https://doi.org/10.1023/A:1013369804867>
- Zhishen J, Mengcheng T, Jianming W (1999) The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals *Food Chemistry* 64(4): 555-559.
- Van Loon LC, Rep M, Pieterse CMJ (2006) Significance of inducible defense-related proteins in infected plants. *Annual Review of Phytopathology* 44: 135-162. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.44.070505.143425>