



EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MANEJO ECOLÓGICO DE ANTRACNOSIS DE LA PAPAYA EN CAMPO Y POSCOSECHA †

[EVALUATION OF ECOLOGICAL MANAGEMENT STRATEGIES OF PAPAYA ANTHRACNOSE IN FIELD AND POST-HARVEST]

Abraham Monteon-Ojeda¹, Elías Hernández-Castro¹,
Teolincacihuatl Romero-Rosales^{1*}, Betsabe Piedragil-Ocampo²,
Martha Olivia Lázaro-Dzul³ and Ausencio Azuara-Domínguez³

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Autónoma de Guerrero. Periférico Poniente S/N Frente a la Colonia Villa de Guadalupe, Iguala de la independencia, Guerrero, México, CP 40040. Email:

abrahammonteon@uagro.mx, ehernandez@uagro.mx, 18029@uagro.mx

²Colegio de Postgraduados, Posgrado de Recursos Genéticos y Productividad – Fruticultura, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 35.5, Texcoco, Estado de México, México, CP. 56230. Email: bpiedragil@gmail.com

³Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, CP. 87010. Email:

dzulmartha@gmail.com, azuarad@gmail.com

*Corresponding author

SUMMARY

Background: Mexico is the third producer and the first exporter of papaya in the world. The crop has multiple phytosanitary limitations, among which anthracnose stands out, which can cause substantial production losses. The main management method is with chemical synthesis fungicides. **Objective:** To evaluate treatments with biorational characteristics to control anthracnose in papaya crops in pre- and post-harvest. **Methodology:** The causal agent of anthracnose was isolated and identified, the growth inhibitory effect of *C. gloeosporioides* was evaluated *in vitro* with extracts of *Datura stramonium*, *Argemone mexicana*, *Citrus sinensis* essential oil and *Eucalyptus globulus* essential oil; In addition, biorational treatments were applied pre- and post-harvest (botanical extracts, essential oils and *Trichoderma harzianum*); The incidence and severity were evaluated and the percentage of efficacy was calculated. A randomized complete block design was used and analysis of variances and comparisons of means were performed (Tukey, $P \leq 0.05$). **Results:** The *E. globulus* oil extract reached the highest *in vitro* growth inhibition levels, followed by the *C. sinensis* essential oil and the *A. mexicana* extract; In the field phase, *T. harzianum* reached 80.7% efficacy and 8% incidence, the essential oil of *E. globulus* and the essential oil of *C. sinensis* reached 73 and 66% efficacy, respectively. The effect of the treatments applied in pre-harvest demonstrated that successive applications of *T. harzianum* reduced severity by 81% and incidence on papaya fruits by 30%, the essential oil of *E. globulus* and that of *C. sinensis* achieved efficacy of 64 and 68%, in their order. Finally, in the storage phase, *T. harzianum* achieved a control efficiency of 89%, *C. sinensis* oil 84% and 85% for the essential oil of *E. globulus*, *A. mexicana* managed to inhibit 76.46%. **Implications:** Comparison of other biorational management treatments such as the use of essential elements (silicon, sulfur, etc.), nanotechnology, UV irradiation and resistance inducers is suggested. **Conclusion:** These results support that a successful and biorational control of anthracnose in papaya must be based on comprehensive management that considered the preharvest and storage phases.

Key words: Essential oils; disease; vegetable extracts; incidence; severity.

RESUMEN

Antecedentes: México es el tercer productor y el primer exportador de papaya en el mundo, el cultivo presenta múltiples limitantes fitosanitarias entre las que destaca la antracnosis que puede causar pérdidas de producción sustanciales, el principal método de manejo es con fungicidas de síntesis química. **Objetivo:** Evaluar tratamientos con características bioracionales para controlar la antracnosis en el cultivo de papaya en pre y postcosecha. **Metodología:** Se aisló e identificó el agente causal de antracnosis, se evaluó el efecto inhibitorio de crecimiento de *C. gloeosporioides* *in vitro* con extractos de *Datura stramonium*, *Argemone mexicana*, aceite esencial de *Citrus sinensis* y aceite esencial de *Eucalyptus globulus*; además se aplicaron tratamientos bioracionales en pre y

† Submitted September 19, 2023 – Accepted May 29, 2024. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5168>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = Abraham Monteon-Ojeda: <http://orcid.org/0000-0002-5697-3106>; Elías Hernández-Castro: <http://orcid.org/0000-0001-6573-6236>; Teolincacihuatl Romero-Rosales: <http://orcid.org/0000-0002-9158-8481>; Betsabe Piedragil-Ocampo: <http://orcid.org/0000-0001-8458-9139>; Martha Olivia Lázaro-Dzul: <http://orcid.org/0000-0002-2071-1702>; Ausencio Azuara-Domínguez: <http://orcid.org/0000-0002-1180-1538>

postcosecha (Extractos botánicos, aceites esenciales y *Trichoderma harzianum*); se evaluó la incidencia, severidad y se calculó el porcentaje de eficacia. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar y se realizaron análisis de varianzas y comparaciones de medias (Tukey, $P \leq 0.05$). **Resultados:** El extracto de aceite de *E. globulus* alcanzó los niveles de inhibición de crecimiento *in vitro* más altos, seguido el aceite esencial de *C. sinensis* y del extracto de *A. mexicana*; en la fase de campo, *T. harzianum* alcanza un 80.7 % de eficacia y 8 % de incidencia, el aceite esencial de *E. globulus* y el aceite esencial de *C. sinensis* alcanzaron un 73 y 66 % de eficacia, respectivamente. El efecto de los tratamientos aplicados en precosecha demostró, que aplicaciones sucesivas de *T. harzianum* redujeron del 81 % de severidad y de 30 % en incidencia sobre frutos de papaya, el aceite esencial de *E. globulus* y el de *C. sinensis* lograron una eficacia de 64 y 68 %, en su orden. Finalmente, en la fase de almacén, *T. harzianum* logró una eficacia de control de 89 %, el aceite de *C. sinensis* 84 % y 85 % para el aceite esencial de *E. globulus*, *A. mexicana* logro inhibir el 76.46 %. **Implicaciones:** Se sugiere la comparación de otros tratamientos biorracionales de manejo como el uso de elementos esenciales (silicio, azufre, etc.), nanotecnología, irradiación UV e inductores de resistencia. **Conclusión:** Estos resultados sostienen que un control exitoso y biorracional de antracnosis en papayo debe basarse en un manejo integral que considere la fase de precosecha y de almacén. **Palabra clave:** Aceites esenciales; enfermedad; extractos vegetales; incidencia; severidad.

INTRODUCCIÓN

La papaya (*Carica papaya* L.) es originaria del sur de México y América Central. En México, es un cultivo económicamente importante, con gran demanda en mercados nacionales e internacionales (Fuentes y Santamaría, 2014). México es el tercer productor a nivel mundial, con una producción de 1,134,750 mil toneladas al año (SIAP, 2022) y el primer exportador con al menos 163,000 toneladas al año (FAOSTAT, 2019).

El cultivo es afectado por diversas enfermedades asociadas a con patógenos que demeritan la calidad y el rendimiento, destacan algunas de origen fúngico como la cenicilla (*Oidium caricae*), pudriciones pedunculares (*Lasioidiplodia theobromae*, pudriciones acuosas (*Rhizopus stolonifer*; *Fusarium solani*, *F. oxysporium*) y antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) (Oniha y Egwari, 2015). La antracnosis es uno de las principales limitantes fitosanitarias en las regiones productoras del mundo (Ventura *et al.*, 2004). En México, se han reportado pérdidas del 40% por afectaciones durante el transporte y almacenamiento (Baños-Guevara, 2004); Sin embargo, una buena parte de las pérdidas ocasionadas por la enfermedad ocurren en precosecha, al infectar, colonizar y provocar la caída de flores y frutos de amarre (Redondo, 2003). En postcosecha, el principal daño es en frutos, la infección por *C. gloeosporioides* puede ocurrir en cualquier estado de desarrollo y permanecer quiescente hasta que el tejido se hace susceptible, (cuando los frutos infectados comienzan a madurar), se forman pequeñas manchas acuosas e irregulares que luego se agrandan y oscurecen; conforme avanza la enfermedad, las lesiones en frutos se extienden en patrón circular (> de 5 cm), se hacen profundas (> 10 mm) y puede observarse crecimiento micelial rosado a grisáceo con anillos concéntricos oscuros, constituidos por estructuras reproductivas del hongo (masas de conidios) (Kugui, 2020; Ventura *et al.*, 2004).

En México, el manejo fitosanitario en precosecha es limitado, la estrategia principal se enfoca en aplicaciones consecutivas de fungicidas químicos

sintéticos; mientras que, en postcosecha, inmersiones en agua caliente con fungicidas sintéticos, muchos de estos restringidos en los mercados. Lo anterior, conlleva riesgos en la inocuidad agroalimentaria, desarrollo y selección de resistencia de cepas fúngicas, reducción de la calidad nutricional, organoléptica, entre otros (Ali *et al.*, 2015; Madani *et al.*, 2014). Por lo tanto, existe la necesidad constante de explorar alternativas de control de antracnosis en papaya con características inocuas, ecológicas y rentables (Ali *et al.*, 2015). Diversos estudios han documentado la eficacia de algunas especies de plantas formuladas como extractos o aceites esenciales en el control de enfermedades de origen fúngico o bacterial (Ali *et al.*, 2015; Sarkhosh *et al.*, 2018); estas sustancias contienen una diversidad de metabolitos secundarios que confieren propiedades antimicrobianas, usualmente están compuestos por una mezcla de terpenos, aldehídos, terpenoides, alcaloides, flavonoides y alcoholes (Ali *et al.*, 2015; Sarkhosh *et al.*, 2018). Del mismo modo, el control biorracional de enfermedades, es una alternativa inocua y con un excelente potencial. Las especies de *Trichoderma* son utilizadas como biocontrolador de múltiples microorganismos en diversos cultivos (Andrade-Hoyos *et al.*, 2020; de los Santos-Villalobos *et al.*, 2013). Tomando en cuenta lo antes señalado, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto inhibitorio *in vitro* de extractos y aceites esenciales botánicos sobre el crecimiento de *Colletotrichum gloeosporioides*, y evaluar la eficacia de tratamientos ecológicos de antracnosis en pre y postcosecha en el cultivo de papaya cv. Maradol.

MATERIALES Y MÉTODOS

Aislamiento

Se recolectaron flores, hojas y frutos de plantas de *C. papaya* cv. Maradol con síntomas típicos de antracnosis, provenientes de una parcela comercial en producción en la zona norte del estado de Guerrero, México; se llevaron al laboratorio de fitosanidad de la Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local (MCAGL) de la Universidad Autónoma de Guerrero (UAGro), el

material vegetal fue puesto en condiciones 26 ± 2 °C hasta la presencia de síntomas típicos de la enfermedad (lesiones redondas o angulares hundidas de color salmón a marrón, con crecimiento micelial y masas de conidios oscuras). El material vegetal con síntomas y signos de la enfermedad se removió y fraccionó en porciones de 1 cm de largo; se lavaron con agua corriente y se dejaron secar, posteriormente se desinfestaron en una solución de hipoclorito de sodio al 3% por 5 minutos, se lavó tres veces con agua destilada estéril y se dejó secar en papel absorbente previamente esterilizados. Parte del material desinfestado se colocó en papel absorbente esterilizados sobrepuestas en el fondo de contenedores de plásticos previamente desinfestados, se adicionó agua estéril hasta saturación y se sellaron con plástico adherible hasta la esporulación del hongo; posteriormente, para su purificación por punta de hifa se realizaron siembras en medio de cultivo PDA (29 g L^{-1}). Simultáneamente, se elaboraron preparaciones temporales para la identificación de la especie. Por otra parte, se utilizó el resto del material vegetal desinfestado para realizar siembras directas sobre el medio PDA y se realizaron reaislamientos consecutivos mediante la técnica de punta de hifa, hasta la obtención de una colonia pura. Las cajas Petri se incubaron a 26 ± 2 °C por cinco días en condiciones de oscuridad. Una vez obtenida la colonia pura se realizaron siembras continuas con el objetivo de generar inóculo suficiente para las subsecuentes fases el experimento.

Aislamiento e identificación

Para la identificación convencional, se realizaron preparaciones temporales y se observaron las características culturales macroscópicas de las colonias y microscópicas estructurales, se utilizaron las claves de Barnett (1998) y Barrón (1968). Para la identificación molecular se utilizaron aislados purificados en cajas Petri con medio PDA con cinco días de crecimiento; la extracción de ADN para la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) y secuenciación de productos se realizó con los iniciadores específicos ITS1 (5'-TCC-GTA-GGT-GAA-CCT-GCG- G-3') ITS1-5.8S- combinado con el iniciador universal ITS 4 (5'-TCC-TCC-GCT-TAT-TGA-TAT-GC-3') de la región conservada del gen 25/28S rDNA para amplificar los espacios internos transcritos y el gen 5.8S del ADN ribosomal (región ITS) (García-Mateos *et al.*, 2021). Las PCR's se llevaron a cabo en un termociclador Hybaid (Hybaid Ltd., Teddington, Inglaterra), las condiciones de amplificación fueron: desnaturalización inicial a 94 °C por 5 minutos; 30 ciclos a 94 °C por 45 s (120 s para inicial); alineación a 57 °C por 60 s (240 s para inicial); extensión inicial a 72 °C por 120 s (240 s para la inicial); y extensión final de 72 °C por siete minutos. Las secuencias obtenidas se analizaron con el software BioEdit y mediante Blast del National Center Biotechnology

Information (NCBI) se determinó su identidad comparando con secuencias reportadas.

Control *in vitro*

Se evaluaron cinco tratamientos: T1 (extracto de *Datura stramonium*) al 35 %, T2 (extracto de *Argemone mexicana*) al 35 %, T3 (aceite esencial de *Citrus sinensis*) al 6 %, T4 (aceite esencial de *Eucalyptus globulus*) al 6 % y un tratamiento testigo en donde solo se utilizó agua esterilizada. En una campana de flujo laminar, se agregaron dos mL de cada tratamiento a cajas Petri con medio de cultivo PDA, la solución se distribuyó homogéneamente en la placa. Posteriormente se depositaron en el centro, una porción de medio de cultivo de cinco mm de diámetro con el inóculo purificado proveniente de cepas de cuatro días de desarrollo (Guerrero-Rodríguez *et al.*, 2007). Las placas se incubaron en condiciones de 26 ± 2 °C y oscuridad por ocho días. Posteriormente, con la ayuda de un vernier digital, se midió el diámetro de crecimiento micelial y se calculó el porcentaje de inhibición con la fórmula:

$$\text{Inhibición (\%)} = \frac{D1 - D2}{D1} * 100$$

Donde; D1 es el diámetro de colonias de hongos fitopatógenos creciendo sin tratamiento de control y D2 es diámetro de colonias de hongos fitopatógenos bajo tratamientos de inhibición.

Manejo en precosecha

En una parcela comercial de papayo cv. Maradol de dos años de edad en etapa de floración - fructificación, se establecieron cinco tratamientos: T1 (Aceite esencial de *C. sinensis*) al 6 %, T2 (aceite esencial de *E. globulus*) al 6 %, T3 (pyraclostrobin 133 g L^{-1} + epoxiconazol 50 g L^{-1}) como tratamiento testigo positivo, T4 (*T. harzianum*), además, de un tratamiento testigo sin aplicación. En esta etapa se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar generalizados con seis repeticiones (UE) por tratamiento, en donde una unidad experimental (UE), fue una planta. Se realizaron cuatro aplicaciones por tratamiento, a los cinco, 15, 25 y 35 días después del inicio de floración (antes), estas fueron dirigidas a flores y frutos. Las aspersiones se efectuaron vía foliar con una mochila aspersora motorizada de gasolina de 25 cc marca Honda®, acondicionada con una boquilla de cono lleno a una presión constante de 200 – 250 psi y calibrada con un gasto de 200 L ha^{-1} . Las aplicaciones se realizaron por la mañana de 7:30 – 8:30 am cuando la temperatura era más baja (12 ± 2 °C) y el viento se encontraba a 0 - 5 km por hora. Para la evaluación de los tratamientos, se registró la incidencia de síntomas de antracnosis en flores, seleccionando al azar 10 flores por planta y contabilizando aquellas con síntomas típicos de antracnosis. También, se calculó la eficacia de los tratamientos mediante la fórmula Abbott (1925):

$$Eficacia\ (\%) = \frac{IT - it}{IT} * 100$$

En donde; *IT* es la incidencia en el testigo, *it* es la incidencia media en las unidades bajo tratamientos de control. La evaluación de la incidencia se realizó a los 10, 20 y 30 días después de la primera aplicación (ddpa).

En la misma parcela, se realizó una cosecha de frutos en madurez fisiológica (frutos con 1 a 3 franjas amarillas) desarrollados bajo los tratamientos de control, aproximadamente a los 120 - 130 días después de antesis (dda); los frutos se llevaron al laboratorio de fitosanidad de la MCAGL de la UAGro, se lavaron con agua corriente y se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio al 3 % por 5 minutos, se lavaron con agua estéril y se dejaron secar a temperatura ambiente; posteriormente, los frutos se almacenaron a 26 ± 2 °C. Se evaluó la incidencia y severidad de los frutos a los 10 días después de la cosecha. La evaluación de la severidad se realizó con base en la escala de Solano y Arauz (1995) modificada para este estudio (Tabla 1) y el porcentaje de severidad se calculó con la fórmula de Townsend y Heuberger (1943):

$$Severidad\ (\%) = \left(\frac{\text{suma de } Ni * Vi}{N * V} \right) * 100$$

En donde; *Ni* = Número de frutos en cada categoría, *Vi* = Valor Numérico de cada categoría, *N* = Número total de frutos y *V* = Valor de la categoría más alta de la escala. Además, se calculó la eficacia de los tratamientos mediante la fórmula Abbott (1925) antes mencionada. La incidencia se determinó como el porcentaje de frutos de cada tratamiento, que presentaban síntomas de antracnosis.

Tabla 1. Escala para evaluar la severidad de antracnosis (*C. gloeosporioides*) en frutos de papaya (*Carica papaya* L.) Solano y Arauz (1995) modificada para este estudio.

Grado de severidad	Área enferma (%)
0	0
1	1-6
2	7-12
3	13-18
4	29-25
5	>25

Manejo en Postcosecha

Como ensayo adicional, se evaluaron tratamientos de manejo en postcosecha de antracnosis. Se cosecharon frutos en madurez fisiológica aparentemente sanos obtenidos de una parcela comercial de papayo cv. Maradol sin manejo de enfermedades, localizada en la zona norte del estado de Guerrero. Se obtuvieron 30 frutos utilizando un

muestro aleatorio simple y fueron llevados al laboratorio de fitosanidad de la MCAGL de la UAGro. Los frutos se lavaron con jabón líquido y agua corriente; se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio al 3 % por seis minutos, se lavaron tres veces con agua destilada estéril y se dejaron secar a temperatura ambiente. Se establecieron seis tratamientos de control de enfermedades en postcosecha: T1 (extracto de *A. mexicana*), T2 (aceite esencial de *C. sinensis*), T3 (aceite esencial de *E. globulus*), T4 (pyraclostrobin 133 g L⁻¹ + epoxiconazol 50 g L⁻¹), T5 (*Trichoderma harzianum*), y T6 (testigo absoluto) donde se aplicó agua esterilizada. Los tratamientos se aplicaron por inmersión (3 minutos) utilizando un contenedor plástico; seguido, los frutos se dejaron secar a temperatura ambiente y se almacenaron a 26 ± 2 °C. Se evaluó la severidad con base en la escala de Solano y Arauz (1995) modificada para este estudio (Tabla 1). El porcentaje de severidad se calculó con la fórmula de Townsend y Heuberger (1943) antes mencionada; además, se calculó la eficacia de los tratamientos mediante la fórmula Abbott (1925). La incidencia se determinó como el porcentaje de frutos de cada tratamiento, que presentaban síntomas de antracnosis.

Análisis estadístico

En el ensayo de control *in vitro* se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cinco repeticiones por tratamiento, en donde una unidad experimental (UE), fue una caja Petri. Para la etapa de evaluación de tratamientos de manejo en precosecha se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar generalizados con seis repeticiones (UE) por tratamiento, en donde una unidad experimental (UE), fue un fruto. Finalmente, en la fase de manejo en poscosecha se estableció un diseño experimental completamente al azar con cinco repeticiones (frutos) por tratamiento. Con los datos obtenidos de las variables evaluadas en todas las etapas del experimento, y utilizando el programa estadístico SAS System® 9.3 para Windows®, se realizaron análisis de varianzas (ANDEVAS) y comparación de medias con la prueba de Tukey (P ≤ 0.05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aislamiento e identificación

Las flores de plantas de papayo con síntomas de antracnosis, típicamente presentaron manchas necróticas extendidas, tizones y pudriciones en sépalos y pétalos, que posteriormente ocasionaron la caída de flores y frutos en amarre; en frutos en madurez fisiológica, se observaron lesiones circulares o angulares superficiales de color salmón a marrón con apariencia de 0.1 a >5 cm diámetro conforme progresó la enfermedad; típicamente se observaron lesiones hundidas con formación de anillos concéntricos y presencia de micelio

algodonoso (gris, salmón y marrón) con aglomeraciones de conidios. Se obtuvieron aislados que presentaron características morfológicas y culturales tipológicas del género *Colletotrichum* sp. (Barnett y Hunter, 1998); La especie fue identificada como *C. gloeosporioides*, con base a las observaciones de preparaciones temporales, y a la morfología de colonias: con micelio abundante algodonoso, de color blanco a gris pálido, con masas conidiales de color naranja a marrón oscuro en anillos concéntricos, se detectó la presencia de apresorios claviformes; conidios: abundantes oblongos con extremos obtusos, de 14 a 17 x 4 a 4.5 µm; y de setas: septadas, rectas, de 70 a 100 x 3 a 4.5 µm, de color marrón oscuro hacia la base y marrón más claro hacia la parte superior, estrechándose gradualmente hacia un ápice en forma de punta (Gunnell y Gubler, 1992; Sutton 1980, 1992).

La amplificación del ADN ribosomal con los cebadores a partir del ADN obtenido de los aislados de *Colletotrichum* sp. produjeron secuencias de la región 5.8S del RNA ribosomal de aproximadamente 450 pb, en el análisis de dichas secuencias se encontró 99 % de similitud con *C. gloeosporioides*. Estos hallazgos han sido previamente reportados. Por ejemplo, Torres-Calzada *et al.* (2013), aislaron y caracterizaron múltiples cepas de *C. gloeosporioides* y *C. capsici* provenientes de los estados de Quintana Roo, Veracruz, Yucatán, Chiapas y Campeche, como causantes de síntomas típicos de antracnosis en papaya; en otro estudio en Malasia, se reportó a *C. gloeosporioides* como causante de antracnosis en papaya cv. ‘Sekaki’ (Ong y Ali, 2015); en forma similar, Kumara y Rawal (2010) en la India, identificaron y caracterizaron a *C. gloeosporioides* como agente causal de antracnosis en papaya; lo anterior, evidencia la distribución cosmopolita del patógeno.

Control *in vitro*

Se encontraron diferencias en la intensidad de la inhibición del crecimiento micelial (porcentaje) de *C. gloeosporioides* en función de los tratamientos aplicados; se detectaron inhibiciones de crecimiento desde 20.7 a 89 %, en este sentido, el extracto de aceite de *E. globulus* alcanzó significativamente ($p \leq 0,05$) los niveles de inhibición más altos, seguido el aceite esencial de *C. sinensis* con 71 % y del extracto de *A. mexicana* (44 %); aunque significativamente superior al testigo, el extracto de *D. stramonium* solo alcanzó un 21 % de inhibición (Tabla 2). Resultados similares fueron reportados por Villacís-Aldaz *et al.* (2017), quienes evaluaron los efectos antifúngicos de la aplicación de cinco extractos vegetales (*Urtica dioica*, *Chamaemelum nobile*, *Artemisia vulgaris*, *Lavandula officinalis* y *D. ferox*) sobre el crecimiento *in vitro* de *C. acutatum* causante de antracnosis en tomate de árbol (*Solanum betaceum*), encontraron diferencias estadísticas en el porcentaje

de inhibición de crecimiento micelial del hongo, los mejores tratamientos fueron los extractos de *L.officinalis* y *C. nobile* quienes presentaron una inhibición micelial del 66 y 53 % respectivamente. En otro estudio, Andrade y Vieira (2016), evaluaron el efecto de aceites esenciales en la germinación de esporas y en la acción *in vitro* sobre el crecimiento micelial de *C. gloeosporioides*, utilizaron aceites esenciales de anís (*Pimpinella anisum*), zacate limón (*Cymbopogon citratus*), romero (*Rosmarinus officinalis*), canela (*Cinnamomum zeylanicum*), árbol del té (*Melaleuca alternifolia*) y menta (*Mentha piperita*), los aceites esenciales de zacate limón y anís a una concentración de 10 µl l⁻¹ inhibieron 38,6% y 39,4% la germinación de los conidios; además, el aceite esencial de zacate limón y canela a 30 µL L⁻¹ presentaron el mayor efecto fungitóxico, al presentar crecimientos miceliales de 25.8 mm y 27.0 mm, respectivamente, en comparación con el testigo (sin aplicación) que permitió 77 mm de diámetro.

Tabla 2. Efecto de tratamientos biorracionales en la inhibición de crecimiento micelial de *C. gloeosporioides* aislado de tejido con síntomas de antracnosis en papayo (*C. papaya* L.) cv. Maradol en condiciones *in vitro* en Guerrero, México, 2022.

Tratamientos	Crecimiento micelial (cm)	Eficacia de inhibición (%)
T1 (extracto de <i>D. stramonium</i>)	6.2 b*	20.69 d
T2 (extracto de <i>A. mexicana</i>)	4.3 c	44.4 c
T3 (aceite esencial de <i>C. sinensis</i>)	2.3 d	70.7 b
T4 (aceite esencial de <i>E. globulus</i>)	0.8 e	89.4 a
Testigo absoluto	7.8 a	0.00 e
SE**	0.47	6.04

*Medias con diferentes letras en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$).

** Error estándar de la media.

Manejo en precosecha

La eficacia de los tratamientos fue acumulativa a través del tiempo, las menores eficacias de la enfermedad en campo (flores) se registraron al inicio del experimento y las más altas en la última evaluación de tratamientos realizada 30 días después de la primera aplicación (ddpa) de tratamientos. El fungicida sistémico sintético resultó el mejor tratamiento ($p \leq 0.05$) con 81% de eficacia de control y con 8.33 % de incidencia, sin embargo, estadísticamente fue igualmente efectivo que *T. harzianum* quien alcanzó un 80.7 % de eficacia y 8 % de incidencia; el aceite esencial de *E. globulus* y

el aceite esencial de *C. sinensis* fueron buenas alternativas de manejo al alcanzar un 73 y 66 % de eficacia, en su orden. El testigo absoluto alcanzó 44 % de incidencia de la enfermedad, lo que denota la importancia del manejo en la etapa reproductiva (Tabla 3).

La evaluación del efecto de los tratamientos aplicados en precosecha sobre la incidencia y severidad en la enfermedad en etapas de postcosecha demostró que, aplicaciones sucesivas de *T. harzianum* lograron una reducción del 81 % en la severidad de síntomas de antracnosis y una reducción del 30 % en la incidencia de la enfermedad; por otro lado, el aceite esencial de *E. globulus* y el aceite esencial de *C. sinensis* lograron un porcentaje de eficacia de control del 64 y 68 % respectivamente. El tratamiento más efectivo fue el fungicida químico sintético con al menos el 92% de eficacia de control y una reducción del 70 % de incidencia. Los porcentajes de severidad más altos se observaron en las unidades experimentales sin tratamiento de control con incidencia del 100% (Tabla 4).

En un estudio similar, García-Mateos *et al.* (2021) evaluaron la efectividad del extracto metanólico de *Phytolacca icosandra* sobre la inhibición del halo de crecimiento micelial de *C. gloeosporioides* sobre flores de papaya, dichos resultados indicaron una efectividad de poco más del 70% cuando el extracto

se evaluó al 50%; atribuyeron el efecto inhibitorio a la presencia de terpenoides. Se han encontrado pocos estudios que incorporen el uso de agentes biocontroladores en precosecha para el control de antracnosis en papaya; en un estudio en fresa, Es-Soufi *et al.* (2020), evaluaron el potencial de *Bacillus amyloliquefaciens* Bc2 y *T. harzianum* contra antracnosis en campo, los tratamientos se aplicaron una sola vez durante la siembra de los explantes de fresa, mezclados en seis gramos de sustrato (turba/antagonista) a una concentración de 3×10^5 UFC mL⁻¹ para *B. amyloliquefaciens* y 1×10^5 esporas g⁻¹ en el caso de *T. harzianum*; ambos agentes biocontroladores inhibieron totalmente la presencia de antracnosis, moho gris y cenicilla en fresas cultivadas en condiciones de campo. Coincidente con lo reportado en el presente estudio, Hong *et al.* (2015) determinaron el efecto de aplicaciones de metabolitos secundarios crudos aislados *T. harzianum* sobre la incidencia y severidad de antracnosis de plantas de chile rojo en condiciones de campo, sus resultados indican que los metabolitos aplicados en precosecha pudieron alargar el período de incubación y disminuir la severidad de la enfermedad en un 30.2 y 87.05 %, respectivamente, además, incrementaron el número de frutos por planta y el peso fresco de frutos en un 15.33 y 34.53% respectivamente. En forma similar, Hosseini *et al.* (2020), utilizaron plantas de fresa en condiciones de invernadero, realizaron aspersiones con aceites esenciales de *Allium sativum* y *Rosamarinus*

Tabla 3. Porcentaje de incidencia y eficacia de control de antracnosis en flores de papayo (*C. papaya* L.) cv. Maradol bajo tratamientos biorracionales de manejo en condiciones de campo en Guerrero, México, 2022.

Tratamientos	Incidencia 1	Eficacia 1	Incidencia 2	Eficacia 2	Incidencia 3	Eficacia 3
T1 (Aceite esencial de <i>C. sinensis</i>)	12.33 b*	44.04 a	20.33 b	50.35 b	14.66 b	66.35 c
T2 (aceite esencial de <i>E. globulus</i>)	8.00 b	64.39 a	15.33 bc	62.58 ab	11.66 bc	72.92 bc
T3 (pyraclostrobin 133 g/l + epoxiconazol 50 g/l)	11.66 b	47.11 a	14.66 c	64.06 a	8.00 c	81.52 a
T4 (<i>T. harzianum</i>)	13.00 b	40.75 a	15.66 bc	61.52 ab	8.33 c	80.73 ab
Testigo absoluto	22.00 a	0.00 b	41.00 a	0.00 c	43.66 a	0.00 d
SE**	4.60	1.02	4.70	1.93	5.74	2.52

*Medias con diferentes letras en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$).

** Error estándar de la media.

Tabla 4. Efecto de tratamientos biorracionales aplicados en precosecha, sobre la severidad e incidencia de antracnosis (*C. gloeosporioides*) en frutos de papayo (*C. papaya* L.) cv. Maradol en postcosecha. Guerrero, México, 2022.

Tratamientos	Eficacia (%)	Severidad (%)	Incidencia (%)
T1 (aceite esencial de <i>C. sinensis</i>)	68.02 c*	25.00 b	93.33 a
T2 (aceite esencial de <i>E. globulus</i>)	63.75 c	28.33 b	100.00 a
T3 (pyraclostrobin 133 g/l + epoxiconazol 50 g/l)	92.11 a	6.11 d	30.00 c
T4 (<i>T. harzianum</i>)	80.80 b	15.00 c	70.00 b
T5 Testigo absoluto	0.00 d	78.33 a	100.00 a
SE**	5.97	4.68	5.15

*Medias con diferentes letras en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$).

** Error estándar de la media.

officinalis en concentraciones de 700 y 1700 $\mu\text{L L}^{-1}$ respectivamente, posteriormente (24 h) las inocularon con una suspensión de conidios de *C. nymphaeae* (1×10^6 conidios mL^{-1}) y evaluaron la presencia y el grado de enfermedad de antracnosis, sus resultados indican una eficacia en la reducción de la severidad del 96% con el aceite esencial de *A. sativum*, en el caso del aceite esencial de *R. officinalis*, registró un descenso del 77% en la severidad. Los aceites esenciales presentan propiedades no solo antifúngicas, sino, antibacteriales, potencializadoras y estimulantes de procesos celulares que coadyuban a la protección natural de las plantas contra hongos, bacterias y acelerando la curación de heridas (Rabari *et al.*, 2018). Los aceites esenciales son eficaces, económicos y seguros para el medio ambiente, por lo que pueden ser excelentes alternativas al uso de fungicidas químicos sintéticos, para el manejo de enfermedades causadas por especies de *Colletotrichum* en diversos cultivos (Rabari *et al.*, 2018).

Manejo en postcosecha

En esta etapa, al igual que en las anteriores, el tratamiento T4 (pyraclostrobin 133 g L^{-1} + epoxiconazol 50 g L^{-1}) y T5 (*T. harzianum*) obtuvieron los las mayores eficacias de control (93 y 89 %) y menores niveles de severidad (4.6%) e incidencia (28%). El resto de los tratamientos alcanzaron una reducción de síntomas de antracnosis en postcosecha de 84 % para el aceite de *C. sinensis* y 85 % para el aceite esencial de *E. globulus*. En este mismo sentido, el extracto de *A. mexicana* logro inhibir el 77 % de la enfermedad, además los niveles de severidad fueron relativamente bajos (16%) en comparación con el testigo (68%). El manejo en poscosecha ha sido el fenómeno más estudiado en el combate de las afectaciones de antracnosis en papaya, múltiples investigaciones han reportado la eficacia de productos no químicos (extractos vegetales, aceites esenciales, biocontroladores o elementos esenciales como silicio, etc.) con características antimicrobianas y en particular antifúngicas contra diversas especies de *Colletotrichum* (Baños-Guevara *et al.*, 2004; Rabari *et al.*, 2018). García-Mateos *et al.* (2021) utilizaron

extractos de *Argemone ochroleuca* e identificaron la presencia de alcaloides que podrían explicar el efecto inhibitorio sobre antracnosis en frutos de papaya. En el mismo sentido, Sahu *et al.* (2012) evaluaron extractos fríos y calientes de *A. mexicana* en diferentes solventes contra aislados de *Pseudomonas aeruginosa* resistentes a antibióticos, encontraron que todos los extractos presentaron actividad antibacterial que estuvo asociada a la presencia de fitoquímicos como antocianinas, flavonoides, saponinas, taninos, terpenos y alcaloides, lo anterior potencializa el uso de esta especie en el combate de diversas enfermedades. Jagana *et al.*, (2018), evaluaron la actividad antifúngica de aceites esenciales sobre antracnosis del banano (*Colletotrichum musae*) en postcosecha, encontraron que aplicaciones por inmersión (frutos) de aceite de zacate limón, aceite de neem y aceite esencial de *E. globulus* a una concentración de 2.0 % alcanzaron 92, 91 y 89% de eficacia de control respectivamente. Múltiples estudios han reportado la actividad antifúngica de aceites esenciales provenientes de diversas especies de plantas, estas propiedades estuvieron fuertemente asociadas con fenoles monoterpénicos, como el timol, carvacrol y eugenol; además se ha informado de propiedades insecticidas (p. ej., eugenol), nematocidas, y se ha demostrado que algunos aceites esenciales inhiben de manera efectiva germinación de las plantas (uso potencial como bioherbicidas) (Isman, 2000). Similar a lo encontrado en el presente estudio, Tasiwal *et al.* (2012), evaluaron el efecto de biocontroladores, sales, agua caliente y fungicidas químicos sobre el porcentaje de severidad de antracnosis sobre frutos de papayo en madurez fisiológica (*in vivo*), reportaron que inmersiones en una solución con *T. harzianum* al 5% alcanzó un 56.6 % de severidad, el tratamiento con *Pseudomonas fluorescens* obtuvo 53.4% y la combinación de *T. harzianum* + *Pseudomonas fluorescence*, 43.3 %, mientras que el control no tratado alcanzo un 90% de severidad; cabe destacar que los fungicidas sintéticos ampliamente utilizados Benomilo y Captan, alcanzaron un 46.6 y 43.3 % de severidad respectivamente, lo que destaca la eficiencia de los productos biológicos.

Tabla 5. Efecto de tratamientos biorracionales aplicados en postcosecha, sobre la severidad (%) e incidencia (%) de antracnosis (*C. gloeosporioides*) en frutos de papayo (*C. papaya* L.) cv. Maradol en Guerrero, México, 2022.

Tratamientos	Eficacia	Severidad	Incidencia
T1 (extracto de <i>A. mexicana</i>)	76.46 c*	16.02 b	76.00 b
T2 (aceite esencial de <i>C. sinensis</i>)	84.18 b	10.66 c	64.00 b
T3 (aceite esencial de <i>E. globulus</i>)	85.28 b	10.00 c	60.00 b
T4 (pyraclostrobin 133 g/l + epoxiconazol 50 g/l)	93.18 a	4.66 d	28.00 c
T5 (<i>T. harzianum</i>)	89.80 a	4.68 d	28.00 c
T6 (Testigo absoluto)	0.00 d	68.02 a	100.00 a
SE**	6.09	4.15	5.11

*Medias con diferentes letras en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$).

** Error estándar de la media.

CONCLUSIONES

Los tratamientos biorracionales lograron reducir significativamente el crecimiento de *C. gloeosporioides*, así como la incidencia y severidad de antracnosis en papayo en pre y poscosecha. Los aceites esenciales de *E. globulus* y *C. sinensis*, resultaron ser una excelente alternativa de manejo de antracnosis con características ecológicas e inocuas; sin embargo, en la fase de campo y almacén (poscosecha), *T. harzianum* fue el mejor tratamiento no químico de control de la enfermedad.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONACYT) por las facilidades prestadas para la realización de la estancia posdoctoral académica: “Caracterización, epidemiología, manejo químico alternativo, agroecológico de antracnosis (*Colletotrichum* sp.) de papayo (*Carica papaya* L.) bajo el sistema de milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) en Guerrero, México” con número de solicitud: 839413. Al proyecto CONAHCYT 317237: “Hacia una soberanía alimentaria autogestiva: fortalecimiento del sistema milpa a través del manejo agroecológico y de la conservación de recursos genéticos nativos en las regiones de Acapulco y la costa chica de Guerrero” por el invaluable apoyo otorgado.

Funding. This research was funded by Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) through a scholarship (No. 839413). Also funded by project CONAHCYT 317237: “Hacia una soberanía alimentaria autogestiva: fortalecimiento del sistema milpa a través del manejo agroecológico y de la conservación de recursos genéticos nativos en las regiones de Acapulco y la costa chica de Guerrero”

Conflict of interest. There is no conflict of interest related to this publication.

Compliance with ethical standards. Due to the nature of this publication, no ethical standards are necessary.

Data availability. Available with the principal author upon request in the email: abrahammonteon@uagro.mx

Author contribution statement (CRediT). **A. Monteon-Ojeda** - Conceptualization, Formal analysis, Methodology, Writing - original draft. **T. Romero-Rosales** - Conceptualization, Formal analysis, Methodology, Writing - original draft. **E. Hernández-Castro**, Data curation, Validation, supervision, Resources, Writing – review & editing. **B. Piedragil-Ocampo** - Data curation, Validation, supervision, Resources, Writing – review & editing. **M. O. Lázaro-Dzul** - Data curation, Validation, supervision, Resources, Writing – review & editing.

A. Azuara-Domínguez - Data curation, Validation, supervision, Resources, Writing – review & editing.

REFERENCES

- Abbott, W.S., 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18(2), pp.265-267. <https://doi.org/10.1093/jee/18.2.265a>
- Ali, A., Wee Pheng, T. and Mustafa, M.A., 2015. Application of lemongrass oil in vapour phase for the effective control of anthracnose of ‘Sekaki’ papaya. *Journal of Applied Microbiology*, 118(6), pp. 1456-1464. <http://doi.org/10.1111/jam.12782>
- Andrade, W.P. and Vieira, G.H.C., 2016. Effect of essential oils on in vitro anthracnose and in fruits of the papaya plant. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, 18, pp. 367-372. https://doi.org/10.1590/1983-084x/15_089
- Andrade-Hoyos, P., Silva-Rojas, H.V. and Romero-Arenas, O., 2020. Endophytic Trichoderma species isolated from *Persea americana* and *Cinnamomum verum* roots reduce symptoms caused by *Phytophthora cinnamomi* in avocado. *Plants*, 9(9), pp. 12-20. <https://doi.org/10.3390/plants9091220>
- Baños-Guevara, P.E., Zavaleta Mejía, E., Colinas-León, M.T., Luna-Romero, I. and Gutiérrez-Alonso, J.G., 2004. Control biológico de *Colletotrichum gloeosporioides* [(Penz.) Penz. y Sacc.] en papaya Maradol Roja (*Carica papaya* L.) y fisiología postcosecha de frutos infectados. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 22(2), pp. 198-205. <https://www.redalyc.org/pdf/612/61222206.pdf>
- Barnett, H.L. and Hunter, B., 1998. *Illustrated genera of imperfect fungi*. 3rd. ed. Minneapolis: Burgess Publishing Company.. <https://doi.org/10.2307/3757954>
- Barron, G.L., 1968. *The Genera of Hyphomycetes from Soil*. Baltimore:Williams and Wilkins Co. <https://doi.org/10.2307/1294461>
- de los Santos-Villalobos, S., Guzmán-Ortiz, D.A., Gómez-Lim, M.A., Délano-Frier, J.P., de-Folter, S., Sánchez-García, P. and Peña-Cabriales, J.J., 2013. Potential use of *Trichoderma asperellum* (Samuels, Liechfeldt et Nirenberg) T8a as a biological control agent against anthracnose in mango (*Mangifera indica* L.). *Biological Control*, 64(1), pp. 37-44.

- <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.10.006>
- Es-Soufi, R., Tahiri, H., Azaroual, L., El Oualkadi, A., Martin, P., Badoc, A. and Lamarti, A., 2020. Biocontrol potential of *Bacillus amyloliquefaciens* Bc2 and *Trichoderma harzianum* TR against strawberry anthracnose under laboratory and field conditions. *Agricultural Sciences*, 11(3), pp. 260-277. <https://doi.org/10.4236/as.2020.113017>
- FAOSTAT, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura., 2019. <https://www.fao.org/faostat/es/> Accedido en octubre de 2022.
- Fuentes, G. and Santamaría, J. M., 2014. Papaya (*Carica papaya* L.): origin, domestication, and production. In *Genetics and Genomics of Papaya*, pp. 3-15. New York: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8087-7_1
- García-Mateos, M.R., Acosta-Ramos, M., Rodríguez-Pérez, E., Vásquez-Sánchez, J. and Hernández-Ramos, L., 2021. Extractos vegetales para el control de *Colletotrichum gloeosporioides* in vitro, en periodo de floración y poscosecha del fruto de Carica papaya. *Polibotánica*, (51), pp. 213-228. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.51.14>
- Guerrero-Rodríguez, E., Solís-Gaona, S., Hernández-Castillo, F.D., Flores-Olivas, A., Sandoval-López, V. and Jasso-Cantú, D., 2007. In vitro biological activity of extracts of *Flourensia cernua* DC on postharvest pathogens: *Alternaria alternata* (Fr.: Fr.) Keissl., *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc. y *Penicillium digitatum* (Pers.: Fr.) Sacc. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 25(1), pp. 48-53. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmfi/v25n1/v25n1a7.pdf>
- Gunnell, P.S. and Gubler, W.D., 1992. Taxonomy and morphology of *Colletotrichum* species pathogenic to strawberry. *Mycologia*, 84(2), pp. 157-165. <https://doi.org/10.1080/00275514.1992.12026122>
- Hong, J.K., Yang, H.J., Jung, H., Yoon, D.J., Sang, M.K. and Jeun, Y.C., 2015. Application of volatile antifungal plant essential oils for controlling pepper fruit anthracnose by *Colletotrichum gloeosporioides*. *The Plant Pathology Journal*, 31(3), p. 269. <http://doi.org/10.5423/PPJ.OA.03.2015.0027>
- Hosseini, S., Amini, J., Saba, M.K., Karimi, K. and Pertot, I., 2020. Preharvest and postharvest application of garlic and rosemary essential oils for controlling anthracnose and quality assessment of strawberry fruit during cold storage. *Frontiers in Microbiology*, 11, pp. 1-15. <http://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01855>
- Isman, M.B., 2000. Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Protection*, 19(8-10), 603-608. [http://doi.org/10.1016/s0261-2194\(00\)00079-X](http://doi.org/10.1016/s0261-2194(00)00079-X)
- Jagana, D., Hegde, Y.R. and Lella, R., 2018. Bioefficacy of essential oils and plant oils for the management of banana anthracnose-a major post-harvest disease. *International Journal Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(4), pp. 2359-2365. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.704.270>
- Kugui, S., 2020. Prevalence, Incidence and Severity of Anthracnose in *Carica Papaya* Fruits in Baringo and Elgeyo Marakwet Counties. *African Journal of Education, Science and Technology*, 6(1), pp. 9 – 18. <http://41.89.164.27/bitstream/handle/123456789/835/Kugui%20Kiprop.pdf?sequence=1&disAllowed=y>
- Kumara, K.L. and Rawal, R.D., 2010. Influence of carbon, nitrogen, temperature and pH on the growth and sporulation of some Indian isolates of *Colletotrichum gloeosporioides* causing anthracnose disease of papaya (*Carrica papaya* L). *Tropical Agricultural Research and Extension*, p. 11. <http://doi.org/10.4038/tare.v11i0.1779>
- Madani, B., Mohamed, M.T.M., Biggs, A.R., Kadir, J., Awang, Y., Tayebimeigooni, A. and Shojaei, T.R., 2014. Effect of pre-harvest calcium chloride applications on fruit calcium level and post-harvest anthracnose disease of papaya. *Crop Protection*, 55, pp. 55-60. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.10.009>
- Ong, M.K. and Ali, A., 2015. Antifungal action of ozone against *Colletotrichum gloeosporioides* and control of papaya anthracnose. *Postharvest Biology and Technology*, 100, pp. 113-119. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.09.023>

- Oniha, M.I. and Egwari, L.O., 2015. Fruit, leaf and stem diseases of *Carica papaya* L. *Journal of Agriculture and Food*, 3, pp. 132-142. <https://core.ac.uk/download/pdf/32226431.pdf>
- Rabari, V.P., Chudashama, K.S. and Thaker, V.S., 2018. In vitro screening of 75 essential oils against *Colletotrichum gloeosporioides*: a causal agent of anthracnose disease of mango. *International Journal of Fruit Science*, 18(1), pp. 1-13. <https://doi.org/10.1080/15538362.2017.1377666>
- Redondo, A.P., 2001. Manejo no convencional de enfermedades en papaya. In: A.F. Páez Redondo, ed. Memoria de seminarios participativos "Agronomía y manejo sanitario de la producción y poscosecha de papaya", Valledupar: Corpoica-Pronatta. pp.43-46. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13694/60521_63078.pdf?sequence=1&disAllowed=y#page=44
- Sahu, M.C., Debata, N.K. and Padhy, R.N., 2012. Antibacterial activity of *Argemone mexicana* L. against multidrug resistant *Pseudomonas aeruginosa*, isolated from clinical samples. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2(2), pp. 800-807. [https://doi.org/10.1016/s2221-1691\(12\)60316-5](https://doi.org/10.1016/s2221-1691(12)60316-5)
- Sarkhosh, A., Schaffer, B., Vargas, A.I., Palmateer, A.J., Lopez, P., Soleymani, A. and Farzaneh, M., 2018. Antifungal activity of five plant-extracted essential oils against anthracnose in papaya fruit. *Biological Agriculture and Horticulture*, 34(1), pp. 18-26. <https://doi.org/10.1080/01448765.2017.1358667>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP)., 2021. <https://www.gob.mx/siap>. Accedido en octubre de 2022.
- Solano, V. and Arauz, L.F., 1995. Combate de antracnosis en frutos de papaya mediante aplicaciones de fungicidas en el campo en la zona Atlántica de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 19(2), pp. 25-30. https://www.mag.go.cr/rev_agr/v19n02_025.pdf
- Sutton, B.C., 1980. *The Coelomycetes: Fungi Imperfecti with Picnidia, Acervuli and Stromata*. Commonwealth Mycological Institute. Surrey:Kew. 696 p. <https://doi.org/10.1007/bf03213663>
- Sutton, B.C., 1992. The genus *Glomerella* and its anamorph *Colletotrichum*. In: Bailey J. A. and M. J. Jeger, eds. *Colletotrichum: Biology, Pathology and Control*. Wallingford: CAB Internacional. pp.1-26.
- Tasiwal, V., Kumari, V., Benagi, V.I. and Meena, M.K., 2012. In vivo evaluation of salts, bioagents, hot water treatment and fungicides against anthracnose of papaya caused by *Colletotrichum gloeosporioides*. *International Journal of Plant Protection*, 5(1), pp. 132-135. http://researchjournal.co.in/upload/assignments/5_132-135.pdf
- Torres-Calzada, C., Tapia-Tussell, R., Higuera-Ciapara, I. and Perez-Brito, D., 2013. Morphological, pathological and genetic diversity of *Colletotrichum* species responsible for anthracnose in papaya (*Carica papaya* L). *European Journal of Plant Pathology*, 135(1), pp. 67-79. <https://doi.org/10.1007/s10658-012-0065-7>
- Townsend, G.R., Heuberger, J.W., 1943. Methods for estimating losses caused by diseases in fungicide experiments. *Plant Disease Reporter*, 27, pp. 340-343.
- Ventura, J.A., Costa, H. and Tatagiba, J.D.S., 2004. Papaya diseases and integrated control. In *Diseases of Fruits and Vegetables: Volume II*, pp. 201-268. Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/1-4020-2607-2_7
- Villacís-Aldaz, L.A., León-Gordon, O., Santana-Mayorga, R., Mangui-Tobar, J., Carranza, G. and Pazmiño-Miranda, P., 2017. Antifungal (in vitro) activity of plant extracts for the control of anthracnose (*Colletotrichum acutatum*). *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 5(1), pp. 59-64. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2017.050100059>