



Estudio comparativo *in vitro* e *in vivo* de la antracnosis en papaya (*Carica papaya*) causada por *Colletotrichum gloeosporioides* y *Colletotrichum truncatum*

Yuridia Rodríguez-González¹, Ernesto Castañeda-Hidalgo^{2*}, Celerino Robles³, Gisela Margarita Santiago-Martínez², Verónica Martínez-Gallegos³, Salvador Lozano-Trejo². ¹Maestría en Ciencias en Productividad en Agroecosistemas. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Tecnológico Nacional de México. ²Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Ex-Hacienda de Nazareno, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México, C.P. 71223. ³Instituto Politécnico Nacional-CIIDIR-Unidad Oaxaca. Hornos 1003, Col. Nochebuena, Santa Cruz Xoxocotlán Oaxaca, México. C.P. 71230.

***Autor de Correspondencia:**

Ernesto Castañeda-Hidalgo
casta_h50@hotmail.com

Sección:

Edición periódica

Recibido:

23 Septiembre, 2025

Aceptado:

09 Diciembre, 2025

Publicado:

16 Diciembre, 2025

Adelantada 2026

Cita:

Rodríguez-González Y,
Castañeda-Hidalgo E, Robles
C, Santiago-Martínez GM,
Martínez-Gallegos V, et al.
2026. Estudio comparativo *in vitro* e *in vivo* de la antracnosis en papaya (*Carica papaya*) causada por *Colletotrichum gloeosporioides* y *Colletotrichum truncatum*.
Revista Mexicana de
Fitopatología 44(1): 104.
<https://doi.org/10.18781/R.ME.X.FIT.2509-3>

RESUMEN

Antecedentes/Objetivo. Mundialmente, México es el principal exportador de papaya fresca, donde Oaxaca es el mayor productor nacional. Sin embargo, la antracnosis, enfermedad causada por especies del complejo *Colletotrichum* spp., puede llegar a afectar hasta el 40 % de la producción. El objetivo de la investigación fue identificar al agente causal de la antracnosis en localidades productoras de Oaxaca y evaluar la eficacia de diferentes productos (químicos y biológicos) en la reducción de la severidad de esta enfermedad bajo condiciones *in vitro* e *in vivo*.

Desarrollo experimental. Se realizó un muestreo de frutos con lesiones de antracnosis en 12 sitios de los municipios de Villa de Tututepec de Melchor Ocampo y Santa María Huazolotitlán, costa de Oaxaca. Los aislamientos se identificaron mediante análisis morfológicos y microcultivos. Tres fungicidas químicos (procloraz, benomilo y azoxystrobin) y tres biológicos (*Bacillus subtilis*, *Trichoderma* sp. y *Bacillus cereus*) fueron evaluados *in vitro* e *in vivo*, con un diseño completamente al azar, con comparación de medias Duncan ($p \leq 0.005$).

Resultados. Se identificaron *Colletotrichum gloeosporioides* y *C. truncatum* asociados a la antracnosis. En las pruebas *in vitro*, procloraz fue el tratamiento más eficaz, con valores de inhibición de 86.42 % frente a *C. truncatum* y 48.66 % frente a *C. gloeosporioides*, alcanzando una efectividad general del 75 %. Asimismo, *B. subtilis* y *Trichoderma* sp. mostraron una alta eficacia *in vitro* (≥ 70 %), evidenciando un potencial de control biológico en condiciones de laboratorio.

Conclusiones. Se confirmaron a *C. gloeosporioides* (en el 66.7 % de los sitios muestreados) y a *C. truncatum* (en el 33.3 % de los sitios muestreadas) como causantes de la antracnosis en papaya en la región Costa de Oaxaca. En las pruebas *in vivo*, procloraz fue el tratamiento más efectivo con 75 % de efectividad contra *C. truncatum* y 50 % contra *C. gloeosporioides*, Benomilo mostró una efectividad intermedia, con 65 % en *C. truncatum* y 45 % en *C. gloeosporioides*, con severidades de 60-73 %. Los tratamientos biológicos mostraron baja efectividad: *Trichoderma* sp. (35 % y 15 %) y *B. subtilis* (25 % y 30 %) para *C. gloeosporioides* y *C. truncatum*, respectivamente, con severidades elevadas entre 73 y 93 %. *B. cereus* y azoxystrobin presentaron un comportamiento intermedio, con 30-40 % de efectividad y severidades de 75-86 %. En conjunto, los resultados indican que los fungicidas sistémicos superaron en más del 30-40 % de efectividad a los agentes biológicos, los cuales mostraron controles inferiores al 35 % y severidades mayores al 80 %, confirmando su limitado desempeño en poscosecha.

Palabras clave: Biocontrol, *Carica papaya*, *Colletotrichum* spp., Plaguicida sintético



INTRODUCCIÓN

México se reporta como el principal exportador de papaya fresca hacia los mercados de Estados Unidos y Canadá (OEC, 2022). Oaxaca encabeza la producción, con un rendimiento promedio de 100 t ha⁻¹. Dentro de esta entidad, la región de la Costa destaca por su alta participación, aportando aproximadamente el 80 % de la producción estatal. Entre los municipios más relevantes se encuentran Villa de Tututepec, Santa María Huazolotitlán, Santiago Pinotepa Nacional y Santiago Jamiltepec, los cuales en conjunto abarcan una superficie cosechada de 2 787 ha (SIAP, 2024). El cultivo de papaya en esta región representa una importante derrama económica, debido principalmente a su alta demanda de mano de obra. Se estima que cada hectárea requiere 500 jornales por ciclo productivo, lo que resalta su impacto regional (Alarcón-Pulido *et al.*, 2022). El cultivo de papaya enfrenta importantes problemas fitosanitarios, destacando la antracnosis, causada por especies de *Colletotrichum*, la cual se caracteriza por lesiones oscuras en frutos, acompañadas de acérvulos dispuestos de forma concéntrica (Tapia-Tussell *et al.*, 2008). Esta enfermedad puede afectar hasta el 40 % de la producción (Maharaj y Rampersad, 2012), lo que ha llevado a un uso intensivo de fungicidas de alta toxicidad para controlar principalmente a *C. gloeosporioides* (Landro-Valenzuela *et al.*, 2016). No obstante, evidencias recientes sugieren que la enfermedad puede involucrar un complejo de especies del género *Colletotrichum*, lo que requiere estudios adicionales para su confirmación (Zakaria, 2021). El manejo de la antracnosis en cultivos tropicales como papaya, mango (*Mangifera indica*), aguacate (*Persea americana*) y plátano (*Musa × paradisiaca*) han dependido principalmente de fungicidas sintéticos, lo que genera preocupación por residuos tóxicos en frutos y evidencia la falta de estrategias integrales. Aunque los agentes biocontroladores representan una alternativa más sostenible, aún enfrentan limitaciones de eficacia y estabilidad (Crouch *et al.*, 2014). En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo identificar el agente causal de la antracnosis en papaya y evaluar la eficacia de productos biológicos y químicos para reducir la severidad de la enfermedad.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Colecta de frutos infectados. Se colectaron frutos de papaya con síntomas típicos de antracnosis en 12 sitios de los municipios de Villa de Tututepec de Melchor Ocampo y Santa María Huazolotitlán, ubicados en la región Costa de Oaxaca.

Aislados fúngicos. Los frutos con síntomas visibles se lavaron varias veces con agua destilada estéril y jabón líquido para eliminar polvo e impurezas, posteriormente se desinfectaron con alcohol etílico al 96 % durante tres minutos. Se seleccionaron lesiones de color café a negro con acérvulos naranja-negros. De cada lesión se tomó un fragmento de tejido sintomático (1 mm), el cual se colocó en placas Petri con medio Papa-Dextrosa-Agar (PDA, BIDICO®). Las placas se rotularon y se incubaron durante siete días para favorecer el crecimiento del hongo. Todas las placas se incubaron a 25 °C en completa oscuridad. Tras cuatro días de crecimiento, las puntas de hifas activas provenientes de los tejidos desinfectados se subcultivaron en nuevas placas con PDA para obtener cultivos axénicos.

Identificación taxonómica. La identificación de los aislamientos se realizó en el Laboratorio de Suelos del CIIDIR-IPN, Oaxaca. Para la caracterización cultural y

morfológica se empleó la técnica de microcultivo descrita por Aquiahuatl-Ramos *et al.* (2012), la cual consiste en cultivar pequeñas porciones de micelio sobre bloques de agar PDA colocados en portaobjetos dentro de una cámara húmeda, permitiendo observar bajo el microscopio, con mínima perturbación, la morfología de las hifas, conidióforos y estructuras reproductivas en condiciones cercanas a su crecimiento natural. La identificación taxonómica se realizó utilizando las claves de Ainsworth *et al.* (1973), Sutton (1992) y Barnett y Hunter (1998).

Análisis de sensibilidad y efectividad *in vitro*. Para evaluar la sensibilidad *in vitro*, se empleó el método de difusión en agar con discos, siguiendo la metodología descrita por Davis y Stout (1971), adaptada por Adaskaveg y Hartin (1997). Se evaluaron tres fungicidas de uso común en campo y tres agentes de control biológico, cada uno aplicado en tres concentraciones (alta, media y baja). Las dosis correspondientes a cada tratamiento se detallan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Concentraciones evaluadas de fungicidas químicos y agentes biológicos utilizados contra *Colletotrichum gloeosporioides* y *C. truncatum* en frutos de papaya.

Producto / Microorganismo	Concentración alta g L ⁻¹	Concentración media g L ⁻¹	Concentración baja g L ⁻¹
Procloraz	3.0	2.0	1.0
Benomilo	0.6	0.4	0.3
Azoxystrobin	0.3	0.2	0.1
	1.5	1.2	1.0
<i>Trichoderma</i> sp.	9.0 × 10 ⁶ conidias mL ⁻¹	7.2 × 10 ⁶ conidias mL ⁻¹	6.0 × 10 ⁶ conidias mL ⁻¹
<i>Bacillus subtilis</i>	4.0 × 10 ⁹ UFC mL ⁻¹	3.0 × 10 ⁹ UFC mL ⁻¹	2.0 × 10 ⁹ UFC mL ⁻¹
<i>Bacillus cereus</i>	1.5 × 10 ⁸ UFC	1.2 × 10 ⁸ UFC	1.0 × 10 ⁸ UFC

Se emplearon dos cepas fúngicas previamente identificadas (*C. gloeosporioides* y *C. truncatum*). Las placas con PDA se inocularon con 200 µL de una suspensión ajustada a 1 × 10⁶ esporas mL⁻¹, preparada mediante conteo en cámara de Neubauer y se ajustó para alcanzar la concentración requerida utilizando la ecuación de dilución:

$$V_2 = C_1 * \frac{V_1}{C_2}$$

Donde C_1 es la concentración inicial, V_1 el volumen inicial, C_2 la concentración final deseada y V_2 el volumen final requerido.

En cada placa se colocaron cuatro discos de papel filtro (6 mm) impregnados con 10 µL de cada tratamiento, dejando un disco con agua destilada como testigo. Las placas se incubaron a 25 ± 1 °C por siete días y posteriormente se midieron los halos de inhibición. La efectividad (%) se calculó con la fórmula de Abbott (1925), comparando el crecimiento del tratamiento respecto al testigo.

$$\text{Efectividad (\%)} = \left(\frac{X_c - X_t}{X_c} \right) * 100$$

Donde: X_c = valor observado en el tratamiento testigo (control), X_t = valor observado en el tratamiento evaluado.

Ensayos *in vivo* en papaya para el control de *Colletotrichum* spp. en condiciones de laboratorio. Se seleccionaron cinco frutos por tratamiento, con un estado de madurez 5 de

acuerdo con Salazar (2002). Tras su lavado y desinfección se dejaron secar 10 minutos y se aplicaron por aspersión los tratamientos descritos en el Cuadro 1; el testigo consistió en frutos tratados solo con agua destilada estéril. Los frutos se incubaron durante 10 días a 25 ± 1 °C y 75 % de humedad relativa. El diseño experimental fue factorial, considerando seis tratamientos antifúngicos y cuatro tiempos de evaluación. La efectividad de los productos se determinó a los 10 días mediante el número de infecciones positivas por fruto, aplicando la fórmula de Abbott (1925). La severidad de la enfermedad se evaluó midiendo el diámetro de las lesiones causadas por *C. gloeosporioides* y *C. truncatum*, clasificándolas de acuerdo con la escala de cinco grados de Castellanos et al. (2014), basada en el área afectada (mm²) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Escala visual y cuantitativa para la clasificación del daño por antracnosis en frutos de papaya según área de lesión.

Grado	Área de lesiones (mm)	Descripción del daño
1	0	Sin daño visible
2	1 – 15	Lesiones muy pequeñas
3	16 – 30	Lesiones moderadas
4	31 – 45	Lesiones extensas
5	> 45	Lesiones muy severas

La efectividad de los tratamientos se evaluó a los 10 días postinoculación mediante la fórmula de Abbott (1925). La severidad se cuantificó midiendo el diámetro de las lesiones y clasificando los frutos con la escala de cinco grados de Castellanos *et al.* (2014). Adicionalmente, se calculó el índice de severidad empleando la fórmula de Anculle y Álvarez (1999), considerando la frecuencia y el grado de daño en los frutos evaluados:

$$IS(\%) = \frac{(\sum nF \times g)}{N \times G} * 100$$

Donde; IS: Índice de severidad; Nf: frutos por cada grado; G: grado de daño; N: total de frutos evaluados, G: grado mayor de la escala.

Análisis de datos. Los datos de inhibición *in vitro* y en fruto se transformaron ($\sqrt{x+1}$ y coseno, respectivamente) se analizaron bajo un diseño completamente al azar. Para el ensayo en fruto se aplicó un arreglo factorial (6 × 4), realizando ANOVA y comparación de medias (Tukey o Duncan, $p \leq 0.05$) en SAS® 9.4. El índice de severidad se usó solo como indicador descriptivo.

Identificación de aislamientos. Se identificaron a *C. gloeosporioides* en el 66.7 % de los sitios y a *C. truncatum* en el 33.3 % restante, con base en características morfológicas, como asociados a la antracnosis en frutos de papaya. *Colletotrichum gloeosporioides* presentó conidios cilíndrico-fusiformes (14.5-17.02 µm) y colonias blanco-negras (29.55-56.38 mm a siete días). En cambio, *C. truncatum* mostró conidios curvados hialinos (22.8-23.8 µm) y colonias blanco-negras de crecimiento radial (22.3-41.1 mm a siete días) (Figura 1). Es necesario realizar la identificación molecular de los aislados para su confirmación.

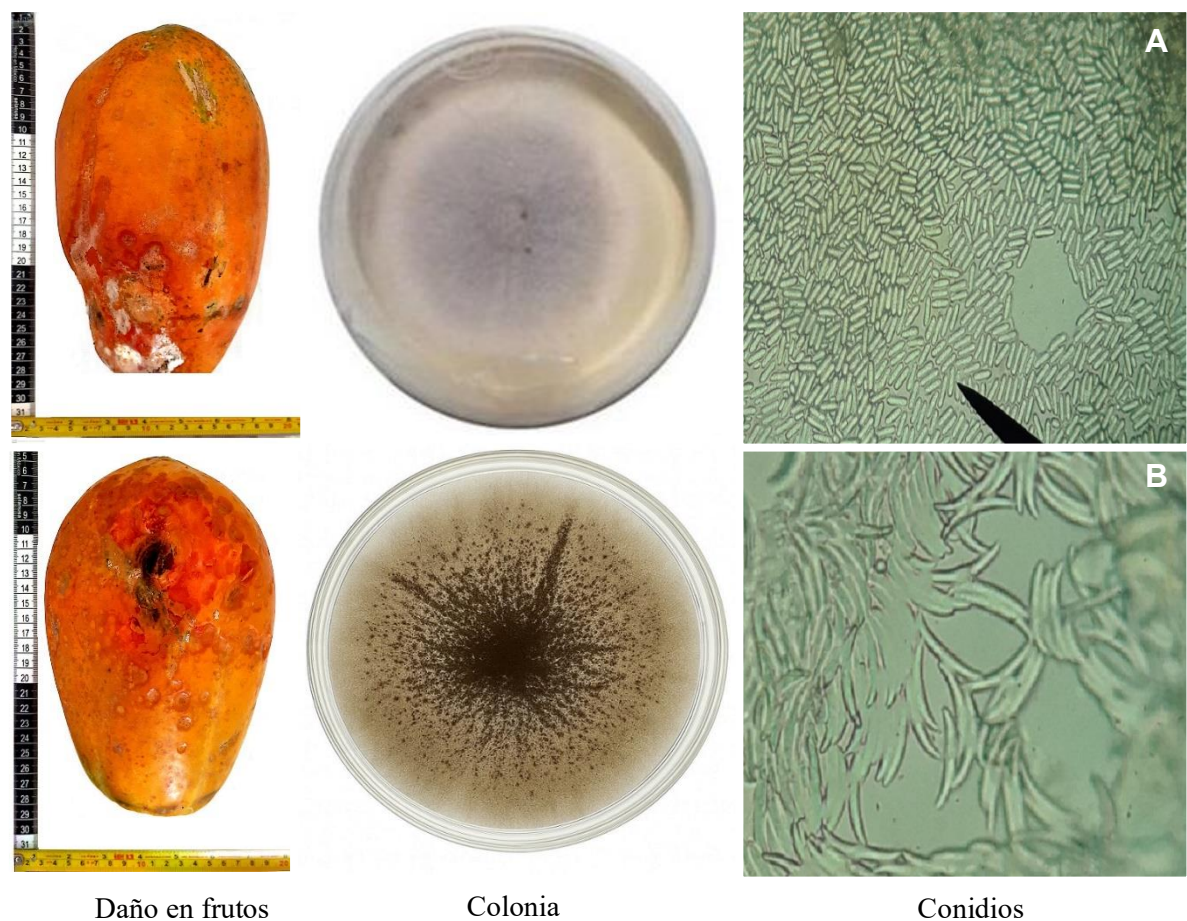


Figura 1. Características morfológicas de *Colletotrichum gloeosporioides* (1A) y *C. truncatum* (1B) aisladas de frutos de papaya.

Sensibilidad y efectividad *in vitro* de fungicidas y agentes biológicos. En el Cuadro 3 se muestran los resultados de los ensayos *in vitro*, donde se observaron diferencias claras en la sensibilidad de *C. gloeosporioides* y *C. truncatum* frente a los tratamientos evaluados. Procloraz fue el más efectivo, con halos de 14 mm (48.66 %) en *C. gloeosporioides* y 25-27 mm (86.42 %) en *C. truncatum*.

Cuadro 3. Análisis de varianza del efecto de diferentes productos sobre las lesiones en frutos de papaya var. Maradol causada por *C. truncatum* 10 días después de la inoculación.

Fuente de variación	GL	Día							
		3	4	5	6	7	8	9	10
Producto	5	1.141**	3.225**	4.588**	7.880**	9.209**	13.157**	17.345**	17.985**
Lesión	3	1.393**	5.048**	8.410**	9.234**	8.945**	13.873**	17.345**	24.967**
Producto*									
Lesión	15	0.318 ^{ns}	0.321 ^{ns}	0.365 ^{ns}	0.720 ^{ns}	0.703 ^{ns}	1.229 ^{ns}	17.345 ^{ns}	1.773 ^{ns}
Error	96	0.306	0.430	0.991	1.204	1.504	1.716	17.345	2.213
Total	119								
CV (%)		46.723	47.071	55.330	58.024	59.319	57.459	50.705	48.269

Donde: (P<0.05) según la prueba de rango múltiple de Tukey: * = significativo a 0.05, ** =altamente significativo a 0.001, ^{ns}= No significativo

En el experimento con *C. gloeosporioides*, azoxystrobin en dosis alta presentó halos similares (14 mm; 29.81 %), mientras que *B. subtilis* y *B. cereus* lograron 11-13 mm (73.47

y 50.87 %). *Trichoderma* sp. mostró inhibición intermedia frente a *C. gloeosporioides* (9-11 mm; 27.65 %), mientras que benomilo y azoxystrobin en baja dosis fueron los menos efectivos (<7 mm; <20 %). Para *C. truncatum* destacaron *B. subtilis* (25-27 mm; 28.97 %) y *Trichoderma* sp. (20-23 mm; 71.34 %), siendo procloraz el más eficiente en ambas especies. En conjunto, *B. subtilis* y *Trichoderma* sp. muestran mayor potencial controlador para *C. truncatum* (Figura 2 A y B).

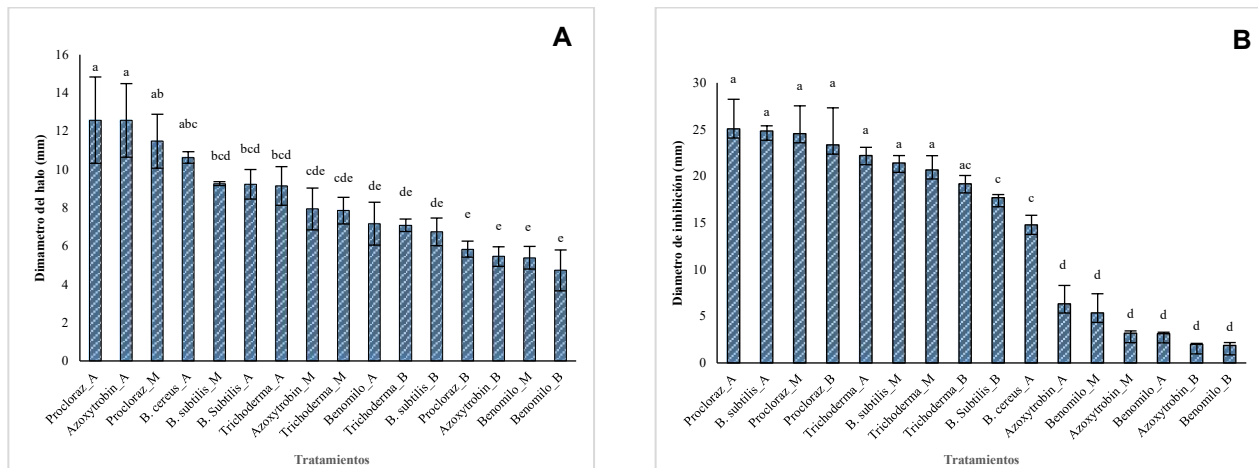


Figura 2. Diámetro de inhibición del crecimiento de siete días de *C. gloeosporioides* (A) y *C. truncatum* (B) con tres dosis y seis fungicidas por la técnica de difusión en disco. Dosis evaluadas: procloraz, A= Alta 3 g L⁻¹; M= Media 2 g L⁻¹; B= Baja 1 g L⁻¹; benomilo, A= Alta 0.6 g L⁻¹; M= Media 0.4 g L⁻¹; B= Baja 0.3 g L⁻¹; azoxystrobin, A= Alta 0.3 g L⁻¹; M= Media 0.2 g L⁻¹; B= Baja 0.1 g L⁻¹; *B. subtilis*, A= Alta 4 g L⁻¹; M= Media 3 g L⁻¹; B= Baja 2 g L⁻¹; *Trichoderma* spp., A= Alta 1.5 g L⁻¹; M= Media 1.2 g L⁻¹; B= Baja 1 g L⁻¹; *B. cereus* 1.5 x 10⁸ UFC mL⁻¹. Las medias con letras iguales en la especie son estadísticamente iguales (Duncan, 0.05).

Efectividad y severidad de fungicidas en frutos de papaya var. Maradol. El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas ($P < 0.001$) entre tratamientos durante todo el periodo (3-10 días después de la inoculación), indicando efecto marcado en la inhibición y progresión de lesiones por *C. truncatum*. La severidad también mostró incremento continuo significativo (Cuadro 3).

Para *C. gloeosporioides*, el análisis de varianza mostró diferencias significativas entre tratamientos a partir del día 5 postinoculación ($P < 0.05$; $P < 0.001$), indicando su efecto en la progresión de lesiones. El factor lesión fue altamente significativo, sin interacción tratamiento $\times$ lesión ($P > 0.05$), lo que refleja un comportamiento uniforme entre sitios. Los CV (44.9-54.3 %) corresponden a la variabilidad natural del tejido fresco (Cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis de varianza del efecto de diferentes productos químicos y biológicos sobre las lesiones en frutos de papaya var. Maradol causada por *C. gloeosporioides*, a 10 días después de la inoculación.

Fuente de variación	GL	Día							
		3	4	5	6	7	8	9	10
Producto	5	0.563 ^{ns}	1.505*	3.969**	4.229*	7.361**	6.744*	5.882*	8.296*
Lesión	3	3.378**	8.904**	17.604**	22.457**	30.895**	32.674**	40.082**	43.353**
Producto*Lesión	15	0.206 ^{ns}	0.4655 ^{ns}	0.420 ^{ns}	0.880 ^{ns}	0.990 ^{ns}	1.206 ^{ns}	1.555 ^{ns}	1.170 ^{ns}
Error	96	0.442	0.669	0.958	1.351	1.705	2.207	2.153	2.606
Total	119								
CV (%)		49.726	52.811	52.284	54.337	54.134	53.807	46.713	44.897

Donde: ($P < 0.05$) según la prueba de rango múltiple de Tukey: * = significativo a 0.05, ** = altamente significativo a 0.001, ^{ns} = No significativo.

En frutos inoculados con *C. truncatum* se observaron diferencias significativas entre tratamientos. *B. cereus* presentó las mayores lesiones (2.74-20.02 mm), mientras que procloraz mostró la menor progresión (<1.0 mm inicial; 1.54-5.58 mm al día 10), seguido de benomilo. *Trichoderma* sp. y *B. subtilis* tuvieron valores intermedios, y el sitio 1 fue el más afectado (17.73 mm) frente al sitio 4 (6.28 mm) (Cuadro 5).

Cuadro 5. Efecto de diferentes productos químicos y biológicos sobre las lesiones en frutos de papaya var. Maradol causada por *C. truncatum* a 10 días después de la inoculación.

Producto	Día			
	3	4	5	6
<i>B. cereus</i>	2.739±1.096 ^a	5.006±1.263 ^a	7.441±1.475 ^a	9.26±1.885 ^a
<i>B. subtilis</i>	0.920±0.646 ^{ab}	0.702±0.533 ^b	3.329±1.256 ^{ab}	4.414±1.530 ^{ab}
Benomilo	0.686±0.523 ^{ab}	1.0775±0.614 ^b	1.795±0.735 ^b	1.548±0.854 ^b
Azoxystrobin	0.284±0.284 ^b	1.3975±0.652 ^b	4.241±1.205 ^{ab}	5.301±1.497 ^{ab}
<i>Trichoderma</i>	0±0 ^b	0.979±0.56 ^b	3.07±0.985 ^b	4.094±1.172 ^{ab}
Procloraz	0±0 ^b	0.341±0.341 ^b	0.977±0.551 ^b	0.521±0.52 ^b
Lesión:				
1	1.9243±0.633 ^{ab}	3.987±0.962 ^a	6.464±0.881 ^a	7.844±1.141 ^a
2	0.842±0.639 ^{ab}	1.724±0.565 ^b	3.69±0.932 ^{ab}	3.392±0.877 ^b
3	0.842±0.319 ^{ab}	0.329±0.2349 ^b	2.073±0.915 ^b	3.264±1.377 ^b
4	0±0 ^b	0.2943±0.294 ^b	1.674±0.825 ^b	2.257±1.0359 ^b
Producto	Día			
	7	8	9	10
<i>B. cereus</i>	10.488±1.831 ^a	13.469±2.395 ^a	17.736±2.355 ^a	20.024±2.826 ^a
<i>B. subtilis</i>	6.812±1.897 ^{ab}	7.145±2.103 ^a	11.137±2.342 ^{ab}	13.954±2.477 ^{ab}
Benomilo	1.724±0.986 ^b	2.123±1.161 ^{ab}	4.043±1.501 ^{bc}	5.579±1.921 ^b
Azoxystrobin	5.62±1.532 ^{ab}	6.793±1.783 ^b	8.102±1.948 ^{bc}	11.048±2.398 ^{ab}
<i>Trichoderma</i>	4.851±1.440 ^{ab}	8.346±1.761 ^{ab}	8.892±2.267 ^{bc}	15.273±2.444 ^a
Procloraz	1.541±1.064 ^b	1.844±1.271 ^b	3.014±1.773 ^c	5.311±2.286 ^b
Lesión:				
1	8.105±1.397 ^a	10.564±1.486 ^a	14.717±1.897 ^a	17.726±1.743 ^a
2	6.386±1.23 ^{ab}	7.878±1.466 ^{ab}	10.922±1.920 ^a	14.584±2.091 ^{ab}
3	3.506±1.237 ^b	4.605±1.543 ^b	5.167±1.439 ^b	8.868±2.065 ^{bc}
4	2.694±1.235 ^b	3.433±1.675 ^b	4.475±1.442 ^b	6.281±2.124 ^c

Las medias dentro de las columnas seguidas de la misma letra estadísticamente no difieren (P<0.05) según la prueba de rango múltiple de Tukey. Donde: * = significativo a 0.05; ** = altamente significativo a 0.001; ns = No significativo.

En frutos inoculados con *C. gloeosporioides* se observaron diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 6). Procloraz mostró los mayores diámetros de lesión durante todo el periodo (2.38-24.58 mm), mientras que benomilo y *Trichoderma* sp., registraron los valores más bajos (1.10-8.23 mm). El sitio 1 presentó la mayor severidad (23.99 mm) y el sitio 4 la menor (6.36 mm). En términos de efectividad, procloraz fue el más eficiente (50-75 %), seguido de benomilo (45-65 %), mientras que *Bacillus* spp. y azoxistrobin mostraron control limitado (<40 %) y mayor severidad (>70 %).

Los resultados obtenidos evidencian variabilidad en la eficacia de los tratamientos evaluados para el manejo de *C. gloeosporioides* y *C. truncatum* en frutos de papaya. En términos generales, los fungicidas químicos mostraron un mejor desempeño que los agentes biológicos. Procloraz destacó como el tratamiento más eficiente, alcanzando 75 % de efectividad contra *C. truncatum* y 50 % contra *C. gloeosporioides*, con severidades relativamente bajas (60-75 %), lo que confirma su capacidad para reducir el avance de la enfermedad y limitar el daño visible en el fruto. Benomilo mostró un comportamiento intermedio, con efectividad de 65 % para *C. truncatum* y 45 % para *C. gloeosporioides*,

manteniendo además valores bajos de severidad (60-73 %), lo que sugiere que continúa siendo una alternativa viable bajo condiciones poscosecha, aunque menos eficiente que procloraz.

Cuadro 6. Efecto de diferentes productos sobre las lesiones en frutos de papaya var. Maradol causada por *C. gloeosporioides* a 10 días después de la inoculación.

Producto	Día			
	3	4	5	6
Procloraz	2.38±0.69 ^a	4.19±1.04 ^a	7.61±1.19 ^a	9.07±1.76 ^a
<i>B. subtilis</i>	1.06±0.50 ^a	2.89±0.95 ^a	3.37±1.27 ^{ab}	5.82±1.73 ^{ab}
<i>B. cereus</i>	0.94±0.55 ^a	2.26±0.94 ^a	4.25±1.46 ^{ab}	6.77±1.67 ^{ab}
<i>Trichoderma</i>	1.57±0.84 ^a	1.72±0.95 ^a	2.70±1.35	2.63±1.51 ^b
Azoxystrobin	0.61±0.42 ^a	1.36±0.74 ^a	3.63±1.21 ^{ab}	5.26±1.58 ^{ab}
Benomilo	1.1±0.61 ^a	1.25±0.69 ^a	2.04±0.82 ^b	3.47±1.00 ^b
Lesión:				
1	3.10±0.654 ^a	5.42±0.90 ^a	8.50±1.22 ^a	10.87±1.40 ^a
2	1.12±0.497 ^b	2.51±0.72 ^b	5.07±0.96 ^b	7.09±1.27 ^{ab}
3	0.55±0.388 ^b	0.82±0.47 ^b	1.62±0.71 ^c	3.10±1.07 ^{bc}
4	0.34±0.241 ^b	0.36±0.36 ^b	0.54±0.40 ^c	0.95±0.56 ^c
Producto	Día			
	7	8	9	10
Procloraz	13.22±2.24 ^a	15.56±2.56 ^a	18.72±2.80 ^a	24.58±3.90 ^a
<i>B. subtilis</i>	6.550±1.95 ^{ab}	9.55±2.32 ^{ab}	12.96±2.48 ^{ab}	16.88±2.85 ^{ab}
<i>B. cereus</i>	8.07±1.99 ^{ab}	6.97±2.26 ^b	11.93±2.53 ^{ab}	15.71±2.77 ^{ab}
<i>Trichoderma</i>	4.63±2.01 ^b	6.61±2.45 ^b	9.05±2.63 ^b	13.67±2.78 ^b
Azoxystrobin	8.54±2.16 ^{ab}	10.46±2.49 ^{ab}	11.61±2.52 ^{ab}	14.47±2.58 ^{bc}
Benomilo	3.34±1.06 ^b	5.66±1.26 ^b	7.93±1.61 ^b	8.23±1.78 ^b
Lesión:				
1	13.6±1.62 ^a	15.59±1.76 ^a	19.66±1.51 ^a	23.99±1.53 ^a
2	9.85±1.58 ^a	12.13±2.06 ^{ab}	15.33±2.16 ^a	19.07±2.50 ^{ab}
3	4.52±1.45 ^b	6.65±1.72 ^{bc}	8.73±1.88 ^b	12.94±2.46 ^{bc}
4	1.56±1.02 ^b	2.17±1.05 ^c	4.40±1.49 ^b	6.36±1.95 ^c

Las medias dentro de las columnas seguidas de la misma letra estadísticamente no difieren ($P<0.05$) según la prueba de rango múltiple de Tukey. Donde: * = significativo a 0.05, ** = altamente significativo a 0.001, ^{ns} = No significativo

En contraste, los tratamientos biológicos presentaron una efectividad limitada. *Trichoderma* sp. y *Bacillus* spp. mostraron porcentajes de control inferiores al 35 % para ambos patógenos, lo que refleja una menor capacidad para detener el progreso de la infección en esta etapa fenológica del fruto. Además, las severidades asociadas fueron altas, particularmente para *B. subtilis* y *Trichoderma* sp., que alcanzaron 93 y 73 % en *C. gloeosporioides*, y 86 y 93 % en *C. truncatum*, respectivamente. Estos resultados indican que, bajo las condiciones de evaluación poscosecha, su eficacia fue insuficiente para contener el desarrollo de las lesiones, posiblemente debido a la rápida colonización del tejido por *Colletotrichum* spp., cuya agresividad representa un desafío para agentes biológicos cuando se aplican de manera curativa.

Los valores registrados para azoxystrobin y *B. cereus* ubican a estos tratamientos en un nivel intermedio de respuesta, con 30-40 % de efectividad y severidades entre 75-86 %, lo que evidencia cierta acción supresora, aunque insuficiente para un control eficaz en poscosecha (Cuadro 7).

Cuadro 7. Efectividad y severidad en frutos de papaya var. Maradol de seis fungicidas después de siete días de inoculación con las especies de *C. truncatum* y *C. gloeosporioides*.

Tratamientos	Efectividad en fruto (%)		Severidad (%)	
	<i>C. gloeosporioides</i>	<i>C. truncatum</i>	<i>C. gloeosporioides</i>	<i>C. truncatum</i>
Benomilo	45	65	73	60
<i>Trichoderma</i> sp.	35	15	73	93
Procloraz	50	75	75	60
Azoxystrobin	30	40	86	80
<i>B. cereus</i>	30	10	86	75
<i>B. subtilis</i>	25	30	93	86

En conjunto, los resultados sugieren que la aplicación preventiva de fungicidas químicos como procloraz y benomilo sigue siendo la estrategia más efectiva en el manejo de la antracnosis en papaya, mientras que los agentes biocontroladores podrían integrarse como herramientas complementarias dentro de un manejo integrado, especialmente en etapas previas a la cosecha o bajo esquemas de aplicación repetida para favorecer su establecimiento y acción antagónica.

La severidad de la antracnosis en frutos de papaya estuvo significativamente influenciada por el tratamiento y el tiempo tras la inoculación ($P < 0.001$), con incremento progresivo de las lesiones hasta el día 10. Procloraz fue el tratamiento más eficaz, con 75 % de control en *C. truncatum* y 50 % en *C. gloeosporioides*, seguido de benomilo con eficacia intermedia. En contraste, azoxistrobin y los agentes biológicos (*Bacillus* spp. y *Trichoderma* sp.) mostraron eficacias inferiores al 50 % y severidades superiores al 70 %, evidenciando un control limitado en poscosecha. Estos resultados confirman que los fungicidas sistémicos continúan siendo la estrategia más efectiva para el manejo curativo poscosecha, mientras que los biocontroladores tendrían mayor aplicación en estrategias preventivas dentro de programas de manejo integrado.

CONCLUSIONES

La antracnosis de frutos de papaya en la costa de Oaxaca es causada en el 66.7 % de los sitios muestreados por *C. gloeosporioides* y en el 33.3 % de los sitios por *C. truncatum*, las cuales difieren en su respuesta a fungicidas y antagonistas biológicos. En los ensayos *in vitro*, Procloraz fue el tratamiento más eficiente, con 14 mm de inhibición en *C. gloeosporioides* (48.66 %) y 25-27 mm en *C. truncatum* (86.42 %). Azoxystrobin en dosis alta mostró 14 mm en *C. gloeosporioides* (29.81 %). Los agentes biológicos presentaron control intermedio a bajo: en *C. gloeosporioides*, *B. subtilis* (11-13 mm; 73.47 %) y *B. cereus* (11-13 mm; 50.87 %), mientras que *Trichoderma* sp. alcanzó 9-11 mm (27.65 %). En *C. truncatum*, *Trichoderma* sp. destacó con 20-23 mm (71.34 %), superando a *B. subtilis* (25-27 mm; 28.97 %).

En frutos, procloraz fue el tratamiento más eficiente, con 75 % de control en *C. truncatum* y 50 % en *C. gloeosporioides*, seguido de benomilo, que mostró control moderado. Los agentes biológicos presentaron baja efectividad en poscosecha (<35 %) y alta severidad (>70 %), especialmente *B. subtilis* y *B. cereus*. En conjunto, los resultados confirman que procloraz es la alternativa más confiable para manejo curativo poscosecha, mientras que los biocontroladores requieren aplicaciones preventivas dentro de un manejo integrado para mejorar su eficacia.

Limitaciones

Las pruebas *in vivo* se realizaron bajo condiciones controladas, por lo que no representan completamente la variabilidad ambiental y las dinámicas presentes en campo. Además, no se evaluó la persistencia de los tratamientos ni su efecto a largo plazo, lo que señala la necesidad de estudios adicionales en condiciones reales de cultivo y con seguimiento extendido.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de intereses en la realización y publicación de este estudio.

Agradecimientos

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), antes CONAHCYT; por el otorgamiento de la beca No. 1006887; y al Tecnológico Nacional de México (TecNM) por el financiamiento del proyecto de investigación clave: 10559.21-P.

REFERENCIAS

- Abbott WS. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology* 18: 265–267. <https://doi.org/10.1093/jee/18.2.265a>
- Adaskaveg JE and Hartin RJ. 1997. Characterization of *Colletotrichum acutatum* isolates causing anthracnose of almond and peach in California. *Phytopathology* 87:979-987. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.1997.87.9.979>
- Ainsworth GC, Sparrow FK and Sussman AS. 1973. The fungi. An advanced treatise. The Yale Journal of Biology and Medicine 38: 485–486. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1281204>
- Alarcón-Pulido SA, Hernández-Sánchez ML, González-Cárdenas JC, Enríquez-García F y Velázquez-García EP. 2022. Producción y manejo del cultivo de papaya (*Carica papaya* L.). *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan* 10(1):164-169. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v10i1.414>
- Anculle A y Álvarez R. 1999. Evaluación de enfermedades de plantas. Estudio Arequipa, Perú. <https://es.scribd.com/document/151857253/Evaluacion-de-Enfermedades-de-Las-Plantas>.
- Aquihuatl-Ramos MA, Volke-Sepúlveda T, Prado-Barragán LA, Shirai-Matsumoto K, Ramírez-Vives F, *et al.* 2012. Manual de prácticas de laboratorio. Microbiología General. 46 p.
- Barnett HL and Hunte BB. 1998. Illustrated genera of imperfect fungi. 4th edition, APS Press, st. Paul, 218 p. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1727814>.
- Castellanos G, Núñez K, Ramírez R y Sindoni M. 2014. Evaluación de *Colletotrichum gloeosporioides* en frutos de lechosa (*Carica papaya* L.) variedad Maradol en poscosecha y su efecto sobre algunas características de calidad. *Observador del Conocimiento* 2(2):173-180.
- Davis WW and Stout TR. 1971. Disc plate method of microbiological antibiotic assay. *American Society for Microbiology* 22(4): 659-665. <https://doi.org/10.1128/am.22.4.659-665.1971>
- Landero-Valenzuela N, Lara-Viveros FM, Andrade-Hoyos P, Aguilar-Pérez LA y Aguado-Rodríguez GJ. 2016. Alternativas para el control de *Colletotrichum* spp. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7(5):1189-1198. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i5.245>
- Maharaj A and Rampersad SN. 2012. Genetic differentiation of *Colletotrichum gloeosporioides* and *C. truncatum* associated with anthracnose disease of papaya (*Carica papaya* L.) and bell pepper (*Capsicum annuum* L.) based on ITS PCR-RFLP fingerprinting. *Molecular Biotechnology* 50(3):237-249. <https://doi.org/10.1007/s12033-011-9434-2>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2024. Avance de siembra y cosecha. https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/. (Fecha de consulta: Octubre de 2024).
- Sutton BC. 1992. The genus *Glomerella* and its anamorph *Colletotrichum*. In: Bailey, J. A. and Jeger, M. J., Eds., *Colletotrichum: Biology, Pathology and Control*, CAB International, Wallingford, UK, 1-26. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2694947>.
- Tapia-Tussell R, Quijano-Ramayo A, Cortez-Velásquez PL, Larqué-Saavedra A and Pérez-Brito M. 2008. PCR-based detection and characterization of *Colletotrichum gloeosporioides* and *C. capsici* causing anthracnose in papaya (*Carica papaya* L.) in the Yucatán Peninsula. *Molecular Biotechnology* 40:293-298. <https://doi.org/10.1007/S12033-008-9093-0>
- Zakaria, L. 2021. Diversity of *Colletotrichum* species associated with anthracnose disease in tropical fruit crops-a review. *Agriculture* 11 (4), 297. <https://doi.org/10.3390/agriculture11040297>