

Colletotrichum siamense causante de antracnosis en poscosecha de aguacate 'Hass'

Juan Antonio Herrera-González^{1,2}

Silvia Bautista-Baños³

Mario Serrano⁴

Surelys Ramos-Bell¹

Porfirio Gutiérrez-Martínez^{1,§}

1 Laboratorio Integral de Investigación en Alimentos-Instituto Tecnológico de Tepic. Av. Tecnológico 2595, Lagos de Country, Tepic, Nayarit, México. CP. 63175. (juanherrerago@ittec.edu.mx; suramosbe@ittec.edu.mx).

2 Campo Experimental Uruapan-INIFAP. Av. Latinoamericana 1101, Col. Revolución, Uruapan, Michoacán, México. CP. 60150. (herrera.juanantonio@inifap.gob.mx).

3 Centro de Desarrollo de Productos Bióticos-Instituto Politécnico Nacional. Carretera Yautepec-Jojutla km 6, CEPROBI 8, San Isidro Yautepec, Morelos, México. CP. 62730. (sbautis@ipn.mx).

4 Universidad Nacional Autónoma de México-Centro de Ciencias Genómicas. Cuernavaca, Morelos, México. CP. 62209. (serrano@ccg.unam.mx).

Autor por correspondencia: pgutierrez@ittec.edu.mx

Resumen

México es el principal productor y exportador de aguacate en el mundo. La principal zona productora es la Región Pacífico Centro de México (Jalisco, Michoacán y Nayarit) donde se cosecha el 96% de la producción nacional. Antracnosis en poscosecha de aguacate, llega a alcanzar entre 20 y 80% de pérdidas por el deterioro de la calidad del fruto de aguacate. El objetivo de la investigación fue diagnosticar el agente causal de antracnosis postcosecha de aguacate en la Región Pacífico Centro de México, el estudio se realizó entre 2019 y 2020. Se muestrearon frutos de aguacate completamente sano y se aislaron hongos patógenos causantes de antracnosis, se realizó una identificación morfológica, molecular y filogenética, así como su desarrollo bajo estrés de fungicidas. Las características morfológicas indicaron que el hongo causante de antracnosis en poscosecha pertenece a *Colletotrichum gloeosporioides sensu lato*. Las pruebas moleculares y filogenética identificaron a los hongos como *Colletotrichum siamense*, hongo endófito, capaz de existir en dos condiciones de vida del fruto (pre y poscosecha). Este hongo bajo un estrés de fungicida permanece en estado inactivo como respuesta hasta que su efecto desaparece.

Palabras clave:

Persea americana Miller, fungicida sintético, poscosecha.



License (open-access): Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia **Creative Commons**

Introducción

México es el principal productor y exportador de aguacate en el mundo. La principal zona productora es la Región Pacífico Centro de México que comprende los estados de Jalisco, Michoacán y Nayarit, donde se cosecha el 96% de la producción nacional (SAGARPA, 2018; SIAP-producción agrícola, 2021). La enfermedad de la antracnosis en la etapa poscosecha de aguacate llega a alcanzar entre 20 y 80% de pérdidas por el deterioro de la calidad del fruto de aguacate.

El complejo de especies de *C. gloeosporioides*, es el causante de esta enfermedad (Bill *et al.*, 2014), la cual se caracteriza por síntomas visibles como puntos negros en la cáscara y pudrición blanda en la pulpa en fruto inmaduros. Durante el proceso de maduración se desarrolla rápidamente en los tejidos de la pulpa y la cáscara hasta afectar el 100% del fruto (Kimaru *et al.*, 2018). *C. gloeosporioides* infecta el fruto desde la precosecha (penetración por aberturas naturales, heridas o ruptura directa de la cutícula) y permanece en estado latente (Prusky *et al.*, 2013).

En precosecha se han identificado a *C. gloeosporioides*, *C. acutatum*, *C. boninense*, *C. hymenocallidis*, *C. siamense* y *C. tropicale* como agentes causantes de antracnosis en Michoacán, Nayarit e Hidalgo (Silva-Rojas y Ávila-Quezada, 2011; Jaimes *et al.*, 2015; Campos-Martínez *et al.*, 2016; Trinidad-Ángel *et al.*, 2017; Fuentes-Aragón *et al.*, 2018). Para la implementación de métodos de control (químico o biológico) se requiere de la identificación precisa del patógeno (Fuentes-Aragón *et al.*, 2020a b).

El control químico a la cosecha y en postcosecha se limita a tres moléculas. El cobre (en sus diferentes sales, con múltiples sitios de acción, se aplica a una concentración de 1 ml L⁻¹ de agua) se permite días antes de la cosecha en producción convencional y orgánica. Se considerado de bajo riesgo sin signos de desarrollo de resistencia. Las otras dos moléculas, azoxistrobin (afecta respiración celular) y fludioxonil (actúa en señales de transducción, MAP/histidina), en una sola mezcla, se aplican a una concentración de 0.75-1.5 ml L⁻¹ de agua en postcosecha.

El límite máximo residual permitido es de 0.4 ppm en Estados Unidos de América, 0.2 ppm en Japón y 0.1-0.4 ppm en Europa (APEAM, 2016; FRAC, 2022). El objetivo de la investigación fue diagnosticar el agente causal de antracnosis postcosecha de frutos de aguacate aparentemente sanos, de la Región Pacífico Centro de México, por características morfológicas, pruebas de patogenicidad, identificaciones moleculares y filogenéticas, así como su desarrollo bajo estrés de fungicidas.

Materiales y métodos

Sitios de muestreo, aislamiento e identificación de patógenos

En el año 2019, frutos de aguacate en madurez fisiológica, sin daños mecánicos, visiblemente sanos y sin daños aparentes (trips), se muestrearon en cinco huertos de Michoacán, uno en Jalisco y dos en Nayarit, México. 20 frutos por sitio de muestreo se almacenaron a 25 °C ±3 °C hasta que los síntomas de antracnosis se desarrollaran (lesiones circulares de color café en la cáscara que cambian a colores más oscuros durante el proceso de maduración).

Se tomaron muestras al aparecer los primeros síntomas, de 0.5 cm² de mesocarpio y se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 1.5% v/v por 2 min. Después se lavaron tres veces con agua destilada estéril, secadas con tela secante estéril y se sembraron en cajas de Petri con medio agar papa dextrosa (PDA, DIBICO, México). Se incubaron a 27 °C ±2 °C hasta que micelio y esporas se observaron. El cultivo se aisló por resiembras sucesivas y se purificó con la técnica de cultivo monospórico (Zhang *et al.*, 2013).

Identificación morfológica

Para cada patógenos aislado, se midió la velocidad de crecimiento en medio PDA incubados a 27 °C ±1 °C por 7 días. Cada 24 h se evaluó el diámetro de la colonia y se calculó la velocidad

de crecimiento (mm día^{-1}). La descripción morfológica se realizó con base al color de la colonia (micelio), color de masas conoidales, presencia de acérvulos, tamaño y forma de espora.

Identificación molecular

Se usó la técnica de PCR para confirmar la identidad de las cepas aisladas (*Colletotrichum*). El ADN genómico se extrajo del micelio de las colonias de 8 d de incubación a 27 °C para cada cepa de *Colletotrichum* aislada con el método CTAB (Doyle, 1990). El ADN de todos los aislados se amplificaron mediante rDNA-ITS, donde se incluyó ITS1 (5'CAACTCCCAAACCCCTGTGA-3') y ITS4 (5'GCGACGATTACCAGTAACGA-3'); y gliceraldehido-3-fosfato deshidrogenasa donde se usó GDF1 (5'-GCCGTCAACGACCCCTTCATTGA-3') y GDR1 (5'-GGGT GGAG TCGT ACTT GAGC ATGT-3').

Las condiciones de la amplificación y limpieza se realizaron como se indican los siguientes autores (Silva-Rojas y Ávila-Quezada, 2011; Fuentes-Aragón *et al.*, 2018; Juárez-Vázquez *et al.*, 2019). El estudio se realizó en el Laboratorio de Diagnóstico Integral Fitosanitario en las instalaciones del Colegio de Postgraduados en el Estado de México, México.

Análisis filogenético

La historia evolutiva se infirió con el método Neighbor-Joining. Se tomó el árbol de consenso Bootstrap inferido de 100 repeticiones para representar la historia evolutiva de los taxones analizados. Las ramas correspondientes a particiones reproductivas en menos de 50% de réplicas de arranque colapsadas. El porcentaje de árboles replicados en los que los taxones asociados se agruparon en la prueba de arranque (100 repeticiones) se mostró junto a las ramas.

Las distancias evolutivas se calcularon mediante el modelo de sustitución de Tamura-Nei como opciones de inferencia de árboles. El análisis involucró 22 secuencias de nucleótidos. Se eliminaron todas las posiciones que contenían lagunas y datos faltantes. Hubo un total de 442 posiciones en el conjunto de datos final. Los análisis evolutivos se realizaron en el software molecules evolutionary genetics analysis (MEGA) 7.0 (Weir *et al.*, 2012; Kumar *et al.*, 2016).

Pruebas de patogenicidad

Se utilizaron los postulados de Koch para corroborar el agente aislado como causante de los síntomas observados. Las pruebas de patogenicidad se realizaron en frutos completamente sanos sin daños visibles, con un contenido de materia seca en pulpa entre 23-25% (NMX-FF-016-SCFI-2016, 2016). Se hicieron tres heridas (3 mm) en la zona longitudinal del fruto y se colocó suspensión de esporas (10^6 esporas ml^{-1}) sobre las heridas. El experimento se repitió dos veces. Todos los frutos se incubaron a 27 °C y 90% de humedad relativa hasta que apareció la enfermedad de antracnosis. Se registró el desarrollo de antracnosis para cada aislamiento y se aisló nuevamente el patógeno para confirmar la identidad morfológica y las características culturales.

Crecimiento de micelio bajo estrés de fungicidas

La inhibición del crecimiento del micelio en presencia de dos fungicidas, sulfato de cobre y la mezcla de fludioxonil + azoxistrobin, se realizó en PDA con la concentración de cada fungicida, para sulfato de cobre fueron 20, 40, 60 y 80 ppm; para fludioxonil + azoxistrobin fueron 10, 20, 50 y 70 ppm. Como control se incluyó únicamente PDA. Se realizaron cinco repeticiones por aislamiento de *C. siamense*. A cada caja Petri se le agregó una muestra de micelio de 7 días de edad y se incubaron a 27 °C \pm 1 °C durante 48 h (Han *et al.*, 2021). Después de este período de incubación, los tratamientos con fungicida se reinoculadas en PDA sin fungicida, para verificar el efecto fungicida o fungistático.



Análisis estadístico

Todos los experimentos se realizaron por medio de un diseño completamente al azar con tres repeticiones, al considerar el origen del aislamiento como factor de variación para el diámetro radial de la colonia, la velocidad de crecimiento, el área de la colonia a los siete días y la longitud y diámetro de espora. Las comparaciones de medias se realizaron con la prueba LSD Fisher ($p \leq 0.05$).

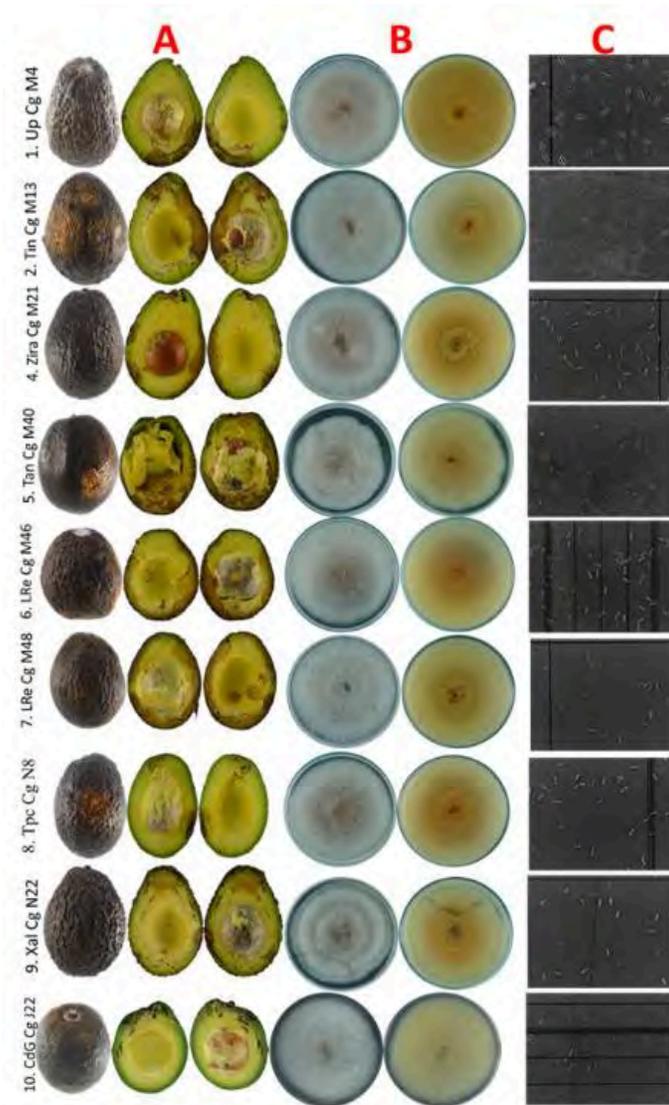
Resultados y discusión

Identificación morfológica

Nueve cepas de hongos patógenos pertenecientes al complejo de especies de *C. gloeosporioides* se identificaron. De estos, seis patógenos correspondieron al estado de Michoacán, en cinco sitios de muestreo, un hongo patógeno en Jalisco y dos hongos patógenos de Nayarit. Los síntomas de las enfermedades en el fruto, las características de la colonia y la forma de la espora se muestran en la Figura 1 y se describen en el Cuadro 1. La mayoría de los aislamientos presentaron micelio aéreo y color blanco a gris oscuro a los 7 d de incubación, con masas anaranjadas en forma de cono y solo en dos casos negro.



Figura 1. A) Síntomas de antracnosis en frutos de aguacate de los que se aislaron las cepas de *C. gloeosporioides sensu lato*; B) características morfológicas de las colonias luego de siete días de incubación a 27 ° C en agar papa dextrosa; y C) esporas.



Cuadro 1. Caracterización morfológica de nueve hongos patógenos aislados causantes de antracnosis en frutos de aguacate, de tres estados de la región del Pacífico Central de México.

Cepa	Estado de origen	Características de colonia	Color de masas conoidales	Acérvulos	Forma de espora
1. Up Cg M4	Michoacán	Blanca a gris oscuro, micelio aéreo	Anaranjado	Si	Cilíndrica a elipsoidal
2. Tin Cg M13	Michoacán	Blanca a gris oscuro, micelio aéreo, con anillos concéntrico	Anaranjado	Si	Cilíndrica a elipsoidal

Cepa	Estado de origen	Características de colonia	Color de masas conoidales	Acérvulos	Forma de espora
4. Zira Cg M21	Michoacán	Blanca a gris oscuro, micelio aéreo, con anillos concéntrico	Anaranjado	Si	Cilíndrica a elipsoidal
5. Tan Cg M40	Michoacán	Blanca a gris oscuro, micelio aéreo	Anaranjado	Si	Cilíndrica a elipsoidal
6. LRe Cg M46	Michoacán	Blanca a gris oscuro, micelio aéreo, con anillos concéntrico	Anaranjado	Si	Cilíndrica a elipsoidal
7. LRe Cg M48	Michoacán	Blanca a gris oscuro, micelio aéreo	Negros	Si	Cilíndrica a elipsoidal
8. Tpc Cg N8	Nayarit	Blanca a gris oscuro, micelio aéreo, con anillos concéntrico	Anaranjado	Si	Cilíndrica a elipsoidal
9. Xal Cg N22	Nayarit	Blanca a gris oscuro, micelio aéreo, con anillos concéntrico	Anaranjado	Si	Cilíndrica a elipsoidal
10. CdG Cg J22	Jalisco	Blanca a gris oscuro, micelio aéreo	Negros	Si	Cilíndrica a elipsoidal

Todos presentaron acérvulos. La forma de las esporas fue de cilíndrica a elipsoidal. La velocidad de crecimiento estuvo entre 11.7 a 12.9 mm día⁻¹ con diferencias estadísticas entre ellos ($p < 0.05$). La longitud y el diámetro ecuatorial de la espora también mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$). Las esporas tuvieron un rango de longitud de 40.3 a 46.1 μm y de 11 a 15.3 μm de diámetro ecuatorial.

El diámetro final de la colonia el día siete fue diferentes entre las cepas y osciló entre 69 y 83 mm. La concentración de esporas al final de la incubación fue diferente entre las cepas ($p < 0.05$) (Cuadro 2). Con base en estas características morfológicas y culturales, los aislamientos fueron identificados como *C. gloeosporioides sensu lato*. Bajo esta clasificación se agrupan diferentes especies causantes de antracnosis en de aguacate.

Cuadro 2. Desarrollo *in vitro* de nueve hongos patógenos aislados causantes a antracnosis en poscosecha de aguacate procedentes de tres estados de la Región Pacífico Centro de México.

Cepa	Crecimiento de micelio (mm d ⁻¹)	Tamaño de espora		Diámetro final 7 d (mm)	Concentración (10 ⁶ esporas ml ⁻¹)
		Longitud (μm)	Diámetro (μm)		
1. Up Cg M4	11.7 \pm 2.3 c	46.1 \pm 4.5 a	13.8 \pm 2.1 c	69.1 \pm 1.8 e	20 \pm 9.8 b
2. Tin Cg M13	11.8 \pm 2.8 c	40.4 \pm 2.8 d	11 \pm 1.4 e	73.6 \pm 1 c	6.2 \pm 6.8 f
4. Zira Cg M21	12.9 \pm 3.3 a	45.8 \pm 4.8 b	13.2 \pm 1.8 c	76.4 \pm 1.5 b	18 \pm 8 c
5. Tan Cg M40	12.3 \pm 3.2 b	45.4 \pm 4 b	12.8 \pm 1.7 d	72.7 \pm 2.9 d	6.8 \pm 4.9 f
6. LRe Cg M46	12.5 \pm 2.9 b	44.5 \pm 3.5 b	14.3 \pm 1.9 b	74.4 \pm 1.7 c	14 \pm 3.4 d
7. LRe Cg M48	12.9 \pm 3.2 a	43 \pm 4.4 c	13.3 \pm 2.5 c	70.4 \pm 1.8 e	25 \pm 24 a
8. Tpc Cg N8	12.8 \pm 3.6 a	40.3 \pm 3 d	11.5 \pm 2 e	72.2 \pm 1.8 d	26 \pm 11 a

Cepa	Crecimiento de micelio (mm d ⁻¹)	Tamaño de espora		Diámetro final 7 d (mm)	Concentración (10 ⁶ esporas ml ⁻¹)
		Longitud (μm)	Diámetro (μm)		
9. Xal Cg N22	12.1 ±3.3 b	42.1 ±4.1 c	14 ±1.7 b	73 ±1.9 c	14 ±10 d
10. CdG Cg J22	11.7 ±3.2 c	44.7 ±3.2 b	15.3 ±1.2 a	83.2 ±1.8 a	9.3 ±3.2 e

[i] Medias con letras iguales dentro de columna no son estadísticamente diferentes (Fisher LSD, p≤ 0.05).

Pruebas de patogenicidad

En las pruebas de patogenicidad, las características típicas de la enfermedad de la antracnosis se desarrollaron después de cinco días de almacenamiento, como manchas negras en el pericarpio y pudrición blanda en el mesocarpio, que se extendió rápidamente por todo el fruto. No se observaron otros síntomas entre los aislados (Figura 2).

Figura 2. Pruebas de patogenicidad realizadas a nueve hongos patógenos aislados después de 5 días de incubación sobre aguacate 'Hass': A) 1. Up Cg M4; B) 2. Tin Cg M13; C) 4. Zira Cg M21; D) 5. Tan Cg M40; E) 6. LRe Cg M46; F) 7. LRe Cg M48; G) 8. Tpc Cg N8; H) 9. Xal Cg N22; y I) 10. CdG Cg J22.



Identificación molecular y árbol filogenético

Con base en las secuencias de nucleótidos ITS y una búsqueda BLAST, los aislamientos obtenidos en este estudio se identificaron como complejo de especies de *C. gloeosporioides*. Los nueve aislamientos mostraron una cobertura porcentual entre 99 y 100% y una identidad de 98 a 100% con el género *Colletotrichum* y se clasificaron en el clado *gloeosporioides* con base en la secuencia de nucleótidos de ITS. Con la secuencia GAPDH mostraron un porcentaje de cobertura de 79 a 100% con *C. siamense*, así como una identidad de 98 a 100% con esta especie (Cuadro 3; Figura 3 y 4).

Cuadro 3. Número de accesión, porcentaje de cobertura e identidad de nueve cepas de *C. siamense* causantes de antracnosis en poscosecha de aguacate, procedentes de la región Pacífico Centro de México.

Cepa	Núm. accesión (GenBank)		Cobertura (%)		Identidad (%)		Especie asignada
	ITS	GAPDH	ITS	GAPDH	ITS	GAPDH	
1. Up Cg M4	KX022506.1	KP703347.1	100	79	99.8	98	<i>C. siamense</i>
2. Tin Cg M13	MK426765.1	KP703277.1	100	97	100	100	<i>C. siamense</i>
4. Zira Cg M21	MK426765.1	KP703277.1	100	100	99.82	100	<i>C. siamense</i>
5. Tan Cg M40	KX022506.1	KP703347.1	100	100	99.7	100	<i>C. siamense</i>
6. LRe Cg M46	KU662388.1	KP703347.1	99	98	100	99.5	<i>C. siamense</i>
7. LRe Cg M48	KU662388.1	KP703277.1	99	100	100	100	<i>C. siamense</i>
8. Tpc Cg N8	KX022503.1	KP703277.1	100	100	99.8	100	<i>C. siamense</i>
9. Xal Cg N22	KU662388.1	KP703347.1	100	100	99.8	100	<i>C. siamense</i>
10. CdG Cg J22	KU662377.1	KP703277.1	99	91	99.8	100	<i>C. siamense</i>

Figura 3. Alineación de secuencias.

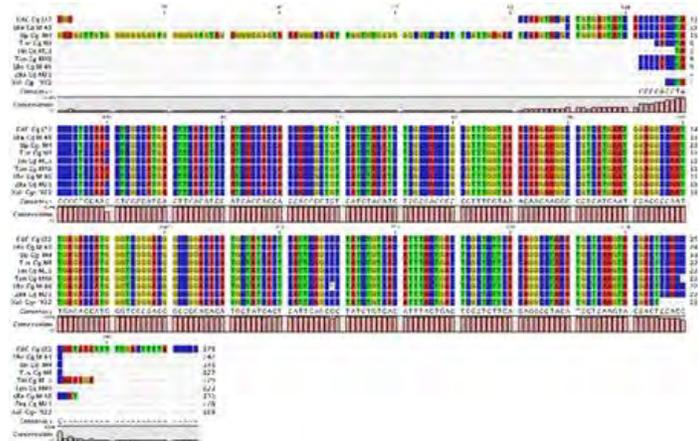
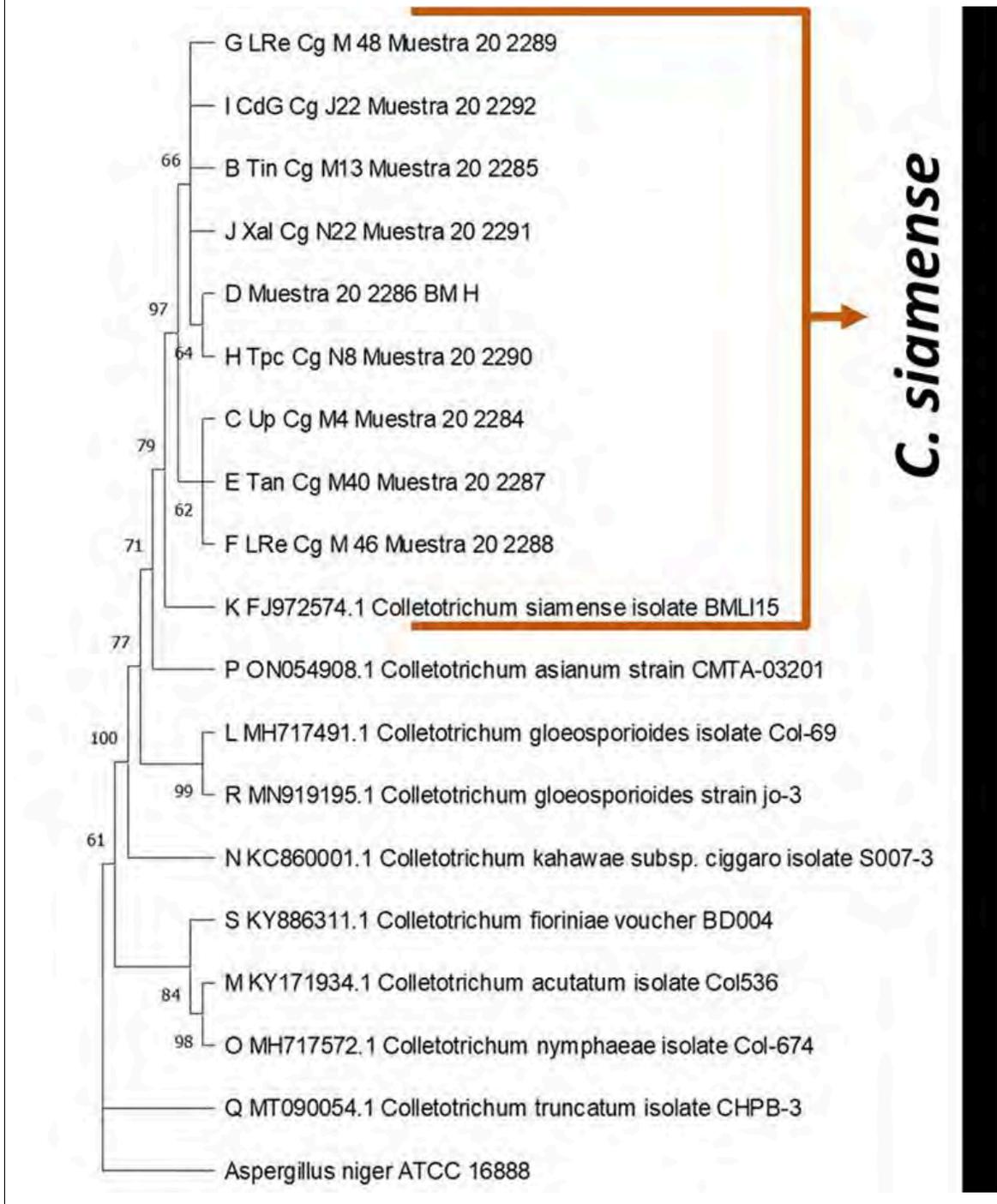


Figura 4. Árbol de máxima verosimilitud de la familia de toxinas aminérgicas.



Crecimiento de micelio bajo estrés de fungicidas

En todas las cepas aisladas y evaluadas en ambos fungicidas lograron una inhibición del 100% en comparación al control (Figura 5). Cuando las muestras de micelio de los patógenos evaluados se resembraron solo en PDA, las cepas desarrollaron micelio en las 48 h de incubación. A mayor concentración del fungicida fludioxonil + azoxistrobin expuesto, el desarrollo del micelio fue menor

en comparación al control (Figura 6). Las cepas Up Cg M4 y Tin Cg M13 presentaron mayor susceptibilidad a bajas concentraciones del fungicida, en comparación al resto de las cepas que, en concentraciones altas también desarrollaron micelio, aunque escaso y desordenado.

Figura 5. Inhibición del crecimiento micelial de *C. siamense* bajo estrés del fungicida. A) fludioxonil + azoxistrobin; y B) sulfato de cobre, después de 48 h de incubación a 27 °C ± 1 °C.

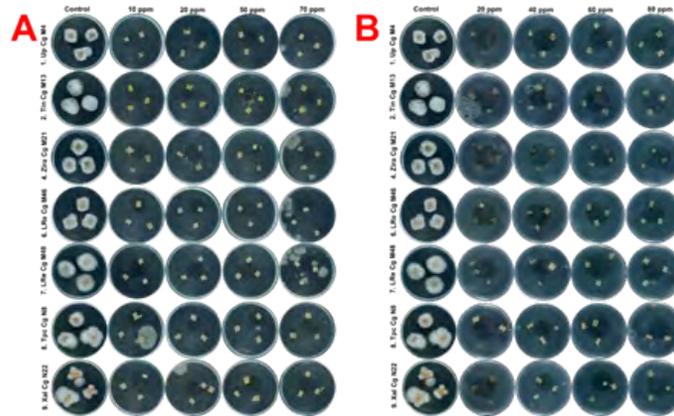
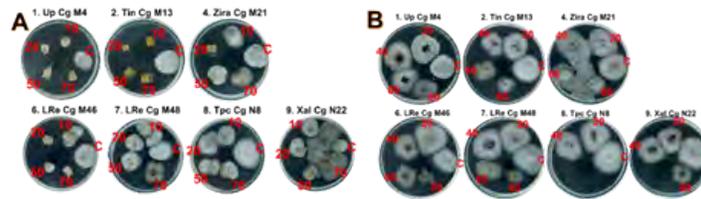


Figura 6. Crecimiento de micelio in medio PDA después de 48 h expuestos a estrés de fungicidas. A) fludioxonil + azoxistrobin (10, 20, 50 y 70 ppm); y B) sulfato de cobre (20, 40, 60 y 80 ppm).



Con el fungicida sulfato de cobre, todas las cepas desarrollaron micelio después de la reinoculación en PDA sin fungicida. Mayor desarrollo después de la exposición a bajas concentraciones de fungicidas y menor desarrollo de micelio después de la exposición a altas concentraciones de fungicidas. Una explicación a este fenómeno de inhibición bajo el estrés de ambos fungicidas es que las cepas evaluadas entraron a un estado de inactivación, como respuesta a la alta concentración del fungicida. Esto ya que, en campo, la concentración del fungicida disminuye conforme pasa el tiempo por la degradación de molécula, la exposición a luz ultravioleta o dilución por lluvia o ambiente (Arjona-López *et al.*, 2020; Han *et al.*, 2021).

La identificación de *C. siamense* en la región del Pacífico Centro de México indicó que el hongo se ha dispersado dentro de las principales regiones productoras de aguacate en México. La investigación de Weir *et al.* (2012) mencionaron que *C. siamense* está representada por 30 aislamientos de una amplia gama de hospedantes de varias regiones tropicales y forma un clado monofilético que no puede subdividirse genéticamente sin ser considerado un complejo de especies de *C. siamense*. Las secuencias ITS no separan de manera confiable a *C. siamense* del resto de *C. gloeosporioides sensu lato* (*C. alienum*, *C. fructicola* y *C. tropicale*).

La secuencia del gen GAPDH fue más eficiente para distinguir *C. siamense* (Lee *et al.*, 2020). Fuentes-Aragón *et al.* (2020b) reportaron en precosecha por primera vez la presencia de *C. siamense* en frutos con síntomas visibles de antracnosis en la región Pacífico Centro de México. Los resultados de esta investigación coincidieron con los trabajos ya reportados, donde se indica que *C. siamense* es el patógeno más abundante en la región Pacífico Centro de México, la de mayor producción y exportación de aguacate 'Hass' en México.

La presencia de *C. siamense*, aislada de frutos de aguacate con síntomas visibles de antracnosis en la etapa de precosecha, fue reportada en Australia (Giblin y Coates 2007); Nueva Zelanda (Hofer *et al.*, 2021); México (Trinidad-Ángel *et al.*, 2017; Fuentes-Aragón *et al.*, 2020b); Ghana (Honger *et al.*, 2016) e Israel (Sharma *et al.*, 2017). A diferencia de estos estudios, en esta investigación se utilizaron frutos de aguacate sin síntomas visibles de antracnosis y cosechados en madurez fisiológica, lo cual confirma que *C. siamense* es un hongo patógeno endófito, capaz de existir en dos condiciones de vida del fruto (pre y poscosecha), además, puede ingresar al tejido inmaduro del fruta (lenticelas, pedicelos y penetración directa) y permanecer inactivo durante meses (latencia) (Prusky *et al.*, 2013) y colonizar aún más la fruta durante el almacenamiento cuando el fruto comienza a madurar, lo que lo convierte en un hongo necrotrófico.

Es evidente que, el control de la antracnosis en precosecha no elimina el problema de poscosecha; por lo que, se deben utilizar diferentes estrategias, una para el control de la antracnosis en precosecha y otra en poscosecha con frutos asintomáticos y así, mantener la calidad de los frutos por más tiempo de almacenamiento, para permitir alcanzar mercados internacionales.

Por otro lado, en poscosecha, debido a regulaciones existentes, el control químico se utiliza poco. Por lo tanto, es necesario utilizar métodos alternativos al uso de los compuestos químicos para controlar la antracnosis en el almacenamiento del aguacate con alta eficiencia y bajo costo y bajo riesgo para la salud y el medio ambiente (Herrera-González *et al.*, 2021).

Conclusiones

En base a sus características morfológicas, moleculares y filogenéticas se identificaron como *C. siamense* causantes de antracnosis en poscosecha de aguacate procedente de la Región Pacífico Centro de México. Además, se evidenció que dichas cepas se mantienen latentes bajo el estrés de los fungicidas azoxistrobin-fludioxonil y sulfato de cobre, pero al quitar el estrés el crecimiento reinicia.

Bibliografía

- 1 APEAM. 2016. Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de México. Listado de plaguicidas recomendado para el cultivo del aguacate (A. de P. y E. de aguacate de México. <http://www.apeamac.com/pdf/plag2013.pdf>.
- 2 Arjona-López, J. M.; Capote, N.; Melero-Vara, J. M. and López-Herrera, C. J. 2020. Control of avocado white root rot by chemical treatments with fluazinam in avocado orchards. *Crop Protection*. 131(01):1-8. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105100>.
- 3 Bill, M.; Sivakumar, D.; Thompson, A. K. and Korsten, L. 2014. Avocado fruit quality management during the postharvest supply chain. *Food Reviews International*. 30(3):169-202. <https://doi.org/10.1080/87559129.2014.907304>.
- 4 Campos-Martínez, A.; Velázquez-del Valle, M. G.; Flores-Moctezuma, H. E.; Suárez-Rodríguez, R.; Ramírez-Trujillo, J. A. and Hernández-Lauzardo, A. N. 2016. Antagonistic yeasts with potential to control *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc. and *Colletotrichum acutatum* J. H. Simmonds on avocado fruits. *Crop Protection* . 89(1):101-104. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.07.001>.
- 5 Doyle, J. J. and Doyle, J. L. 1990. Isolation of plant DNA from fresh tissue. *Focus*. 12(1):13-15.
- 6 FRAC. 2022. FRAC Code List 2022: Fungal control agents sorted by cross-resistance pattern and mode of action including coding for FRAC Groups on product labels. Fungicide Resistance Action Committee. <http://www.frac.info/>.
- 7 Fuentes-Aragón, D.; Guarnaccia, V.; Rebollar-Alviter, A.; Juárez-Vázquez, S. B.; Aguirre-Rayó, F. and Silva-Rojas, H. V. 2020a. Multilocus identification and thiophanate-methyl sensitivity of *Colletotrichum gloeosporioides* species complex associated with fruit with

- symptoms and symptomless leaves of mango. *Plant Pathology*. 69(6):1125-1138. <https://doi.org/10.1111/ppa.13195>.
- 8 Fuentes-Aragón, D.; Juárez-Vázquez, S. B.; Vargas-Hernández, M. and Silva-Rojas, H. V. 2018. *Colletotrichum fructicola*, a member of *Colletotrichum gloeosporioides sensu lato*, is the causal agent of anthracnose and soft rot in avocado fruits cv. Hass. *Mycobiology*. 46(2):92-100. <https://doi.org/10.1080/12298093.2018.1454010>.
 - 9 Fuentes-Aragón, D.; Silva-Rojas, H. V.; Guarnaccia, V.; Mora-Aguilera, J. A.; Aranda-Ocampo, S.; Bautista-Martínez, N. and Téliz-Ortíz, D. 2020b. *Colletotrichum* species causing anthracnose on avocado fruit in Mexico: Current status. *Plant Pathology* . 69(8):1513-1528. <https://doi.org/10.1111/ppa.13234>.
 - 10 Giblin, F. and Coates, L. 2007. Avocado fruit responses to *Colletotrichum gloeosporioides*. VI World Avocado Congress. Actas VI Congreso Mundial Del Aguacate. 1-7 pp.
 - 11 Han, Y. C.; Zeng, X. G.; Guo, C.; Zhang, Q. H.; Chen, F. Y.; Ren, L.; Chen, W. D. and Qin, L. 2021. Reproduction response of *Colletotrichum* fungi under the fungicide stress reveals new aspects of chemical control of fungal diseases. *Microbial Biotechnology*. 15(2):431-441. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13754>.
 - 12 Herrera-González, J. A.; Bautista-Baños, S.; Serrano, M.; Romanazzi, G. and Gutiérrez-Martínez, P. 2021. Nonchemical treatments for the pre and post-harvest elicitation of defense mechanisms in the fungi avocado pathosystem. *Molecules*. 26(22):1-12. <https://doi.org/10.3390/molecules26226819>.
 - 13 Hofer, K. M.; Braithwaite, M.; Braithwaite, L. J.; Sorensen, S.; Siebert, B.; Pather, V.; Goudie, L.; Williamson, L.; Alexander, B. J. R. and Toome-Heller, M. 2021. First report of *Colletotrichum fructicola*, *C. perseae*, and *C. siamense* causing anthracnose disease of avocado (*Persea americana*) in New Zealand. *Plant Disease*. 105(5):1564. <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-20-1313-PDN>.
 - 14 Honger, J. O.; Offei, S. K.; Oduro, K. A.; Odamttten, G. T. and Nyaku, S. T. 2016. Identification and molecular characterisation of *Colletotrichum* species from avocado, citrus and pawpaw in Ghana. *South African Journal of Plant and Soil*. 33(3):177-185. <https://doi.org/10.1080/02571862.2015.1125958>.
 - 15 Jaimes, F. M.; Bolaños, B. T.; Sanchez, A. A.; Câmara, M. P. S.; Lima, W. G. and Veloso, J. S. 2015. Caracterización molecular de especies de *Colletotrichum* asociadas a antracnosis en aguacate de la región centro de Michoacán. VIII Congreso Mundial de Aguacate. 2015(8):174-180.
 - 16 Juárez-Vázquez, S. B.; Silva-Rojas, H. V.; Rebollar-Alviter, A.; Maidana-Ojeda, M.; Osnaya-González, M. and Fuentes-Aragón, D. 2019. Phylogenetic and morphological identification of *Colletotrichum godetiae*, a novel pathogen causing anthracnose on loquat fruits (*Eriobotrya japonica*). *Journal of Plant Diseases and Protection* . 126(6):593-598. <https://doi.org/10.1007/s41348-019-00264-2>.
 - 17 Kimaru, S. K.; Monda, E.; Cheruiyot, R. C.; Mbaka, J. and Alakonya, A. 2018. Morphological and molecular identification of the causal agent of anthracnose disease of avocado in Kenya. *International Journal of Microbiology*. 2018(1):1-10. <https://doi.org/10.1155/2018/4568520>.
 - 18 Kumar, S.; Stecher, G. and Tamura, K. 2016. MEGA7: Molecular evolutionary genetics analysis version 7.0 for Bigger Datasets . *Molecular Biology and Evolution*. 33(7):1870-1874. <https://doi.org/10.1093/molbev/msw054>.
 - 19 Lee, D. M.; Hassan, O. and Chang, T. 2020. Identification, characterization, and pathogenicity of *Colletotrichum* species causing anthracnose of peach in Korea. *Mycobiology* . 48(3):1-9. <https://doi.org/10.1080/12298093.2020.1763116>.



- 20 NMX-FF-016-SCFI-2016. 2016. Productos alimenticios no industrializados para uso humano-fruta fresca-Aguacate (*Persea americana* Mill). Especificaciones, cancela a la NMX-FF-016-SCFI-2006. *In*: Diario Oficial de la Federación. Secretaría de Economía. Oficial de la Federación. Secretaría de Gobernación. 1-7 pp.
- 21 Prusky, D.; Alkan, N.; Mengiste, T. and Fluhr, R. 2013. Quiescent and necrotrophic lifestyle choice during postharvest disease development. *Annual Review of Phytopathology*. 51(1):155-176. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082712-102349>.
- 22 SAGARPA. 2018. Atlas agroalimentario. Con datos de Banco de México, la ONU, la OMC y la Secretaría de Economía. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>.
- 23 Sharma, G.; Maymon, M. and Freeman, S. 2017. Epidemiology, pathology and identification of *Colletotrichum* including a novel species associated with avocado (*Persea americana*) anthracnose in Israel. *Scientific Reports*. 7(1)1-16. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15946-w>.
- 24 SIAP-Producción Agrícola. 2021. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- 25 Silva-Rojas, H. V. and Ávila-Quezada, G. D. 2011. Phylogenetic and morphological identification of *Colletotrichum boninense*: a novel causal agent of anthracnose in avocado. *Plant Pathology*. 60(5):899-908. <https://doi.org/10.1111/j.13653059.2011.02452.x>.
- 26 Trinidad-Ángel, E.; Ascencio-Valle, F. D. J.; Ulloa, J. A.; Ramírez-Ramírez, O. C.; Ragazzo-Sánchez, J. A.; Calderón-Santoyo, M. and Bautista-Rosales, P. U. 2017. Identificación y caracterización de *Colletotrichum* spp. causante de antracnosis en aguacate de Nayarit, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 19(1):3953-3964. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i19.664>.
- 27 Weir, B. S.; Johnston, P. R. and Damm, U. 2012. The *Colletotrichum gloeosporioides* species complex. *Studies in Mycology*. 73(1):115-180. <https://doi.org/10.3114/sim0011>.
- 28 Zhang, K.; Su, Y. Y. and Cai, L. 2013. An optimized protocol of single spore isolation for fungi. *Cryptogamie, Mycologie*. 34(4):349-356. <https://doi.org/10.7872/crym.v34.iss4.2013.349>.



Colletotrichum siamense causante de antracnosis en poscosecha de aguacate 'Hass'

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 June 2024
Date accepted: 01 August 2024
Publication date: 15 August 2024
Publication date: Jul-Aug 2024
Volume: 15
Issue: 5
Electronic Location Identifier: e3434
DOI: 10.29312/remexca.v15i5.3434

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

Persea americana Miller
fungicida sintético
poscosecha

Counts

Figures: 6
Tables: 3
Equations: 0
References: 28
Pages: 0