

Sensibilidad a fungicidas de especies de *Colletotrichum* causantes de antracnosis en ñame

Fungicide susceptibility of *Colletotrichum* species causing anthracnose on yam

 Jhoandys De Jesús Royet Barroso^{1*} y  Rodrigo Orlando Campo Arana¹

Resumen

El ñame (*Dioscorea* spp.) es un tubérculo crucial para la seguridad alimentaria en las regiones tropicales. Sin embargo, su producción se ve gravemente afectada por la antracnosis (*Colletotrichum* spp.), con pérdidas que superan el 80%. Aunque se emplean fungicidas químicos para su manejo, su eficacia en el control es limitada. A pesar de la relevancia del cultivo de ñame, existe una carencia de estudios que evalúen la sensibilidad de los aislados de *Colletotrichum* causantes de la antracnosis frente a fungicidas de síntesis química. Esta investigación tuvo como objetivo determinar la sensibilidad in vitro de aislamientos de *Colletotrichum* spp. causantes de la antracnosis del ñame a fungicidas químicos. El ensayo se realizó bajo un diseño completamente aleatorio con un arreglo factorial que incluyó 10 aislados, seis fungicidas y cuatro dosis. Se empleó la técnica de difusión en agar para medir el porcentaje de inhibición del crecimiento micelial y la dosis letal media (DL₅₀) se usó para clasificar la sensibilidad de los aislamientos a los fungicidas. Los fungicidas azoxistrobin, captan y clorotalonil demostraron ser los más efectivos, con una inhibición del crecimiento micelial del 76.8%, 75.5% y 73.2%, respectivamente. Por otro lado, el difenoconazol, mancozeb y benomil tuvieron una inhibición del 52.24%, 41.44% y 29.22%, respectivamente. Además, se observó resistencia de algunos aislados a estas moléculas comúnmente empleadas en campo. Se concluye que el manejo de la antracnosis del ñame debe abordarse bajo un enfoque de manejo integrado, que permita una selección adecuada de los fungicidas.

Palabras clave: Control químico, *Dioscorea alata*, *Dioscorea rotundata*, dosis letal 50.

Abstract

Yam (*Dioscorea* spp.) is a crucial tuber for food security in tropical regions. However, its production is severely affected by anthracnose (*Colletotrichum* spp.), with losses exceeding 80%. Although chemical fungicides are used for its management, their effectiveness in control is limited. Despite the relevance of yam cultivation, there is a lack of studies evaluating the sensitivity of *Colletotrichum* isolates causing anthracnose to chemical synthesis fungicides. This research aimed to determine the in vitro sensitivity of *Colletotrichum* spp. isolates causing yam anthracnose to chemical fungicides. The assay was conducted under a completely randomized design with a factorial arrangement that included 10 isolates, six fungicides, and four doses. The agar diffusion technique was used to measure the percentage of mycelial growth inhibition, and the median lethal dose (LD₅₀) was used to classify isolate sensitivity to fungicides. Azoxystrobin, captan, and chlorothalonil fungicides proved to be the most effective, with mycelial growth inhibition of 76.8%, 75.5%, and 73.2%, respectively. On the other hand, difenoconazole, mancozeb, and benomyl showed inhibition of 52.24%, 41.44%, and 29.22%, respectively. Additionally, resistance of some isolates to these commonly used molecules in the field was observed. It is concluded that the management of yam anthracnose should be approached under an integrated management approach, allowing for proper selection of fungicides.

Keywords: Chemical control, *Dioscorea alata*, *Dioscorea rotundata*, lethal dose 50.

Recibido: 19/09/2024

Aceptado: 03/05/2025

Publicado: 08/05/2025

Sección: Artículo Original

***Autor correspondiente:** jroyetbarroso@correo.unicordoba.edu.co

Introducción

El ñame (*Dioscorea* spp.) es un tubérculo comestible rico en almidón, económicamente importante para millones de personas en los trópicos y subtrópicos (Darkwa *et al.*, 2020). Se encuentra entre las cuatro plantas tuberosas más importantes del mundo, después de la yuca, la papa y la batata (Dufour *et al.*, 2021). Anteriormente, se consideraba un cultivo de economía campesina; no obstante, a partir de los años noventa, su importancia ha venido en aumento, convirtiéndose en un cultivo relevante en la economía global, debido al incremento en su consumo y al uso en la industria farmacéutica, por sus propiedades nutricionales y medicinales (Andres *et al.*, 2017; Gatarira *et al.*, 2020).

En Colombia, se producen las variedades Criollo (*Dioscorea alata*), de principal consumo local y Espino (*Dioscorea rotundata*), cuyo principal destino es la exportación; constituyéndose el cultivo en fuente de ingresos y de empleo rural para pequeños y medianos agricultores (MADR, 2021).

¹ Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba, Montería, Colombia.

Como citar: Royet Barroso, J., & Campo Arana, R. O. (2025). Sensibilidad a fungicidas de especies de *Colletotrichum* causantes de antracnosis en ñame. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 27, e27671. <https://doi.org/10.18271/ria.2025.671>



Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) Share - Adapt

El rendimiento de este sistema productivo, se ve afectado por diferentes factores bióticos y abióticos, destacándose los problemas fitosanitarios como la antracnosis *Colletotrichum* spp., enfermedad destructiva en campos de ñame (Campo y Royet, 2020). La infección puede ocurrir en todas las etapas de crecimiento; sin embargo, el periodo crítico de infección se da al inicio de la tuberización en genotipos susceptibles (Campo y Pérez, 2015) y puede progresar a una enfermedad grave, causando pérdidas superiores al 80% y disminución de la calidad de los tubérculos si no se establecen medidas eficaces de manejo (Nwadii *et al.*, 2017).

Los efectos de la antracnosis, se reducen mediante la aplicación de fungicidas de síntesis química (Ntui *et al.*, 2021); no obstante, en Colombia los últimos estudios de evaluación de moléculas para el manejo de antracnosis en ñame fueron realizados a finales de la década de los 80 (Osorio, 1989), por lo que no se cuenta con información actualizada sobre los productos químicos utilizados para el manejo del patógeno; además, hay reportes de resistencia de *Colletotrichum* spp., en ñame a varias moléculas de fungicidas (Arce *et al.*, 2019). En China, se ha reportado la resistencia a carbendazim (Han *et al.*, 2018). En Puerto Rico, resistencia a azoxistrobin (Rosado, 2016).

Los estudios de sensibilidad diferencial de fungicidas de síntesis química, sobre los aislamientos de *Colletotrichum* spp. en el cultivo de ñame, son una señal de que la efectividad de algunos de estos productos se ha venido reduciendo, debido a la alta presión de selección ejercida por el uso continuo de dichas moléculas y la alta variabilidad genética del hongo (Chen *et al.*, 2020), los diferentes mecanismos de resistencia del género *Colletotrichum* (Chechi *et al.*, 2019) y el desconocimiento en los niveles de sensibilidad a las diferentes fungicidas químicos usados para el manejo de la enfermedad (Arce *et al.*, 2019). Esta problemática da como resultado el surgimiento de razas del patógeno resistente a los fungicidas, desencadenando problemas de bajo rendimiento y productividad del cultivo, daños medioambientales, el aumento de los costos de producción y en algunos casos, el abandono total del cultivo (Han *et al.*, 2018; Arce *et al.*, 2019). No obstante, en Colombia no está claro si las poblaciones de *Colletotrichum* spp. asociadas a la antracnosis del ñame presentan sensibilidad reducida a los fungicidas, debido a que no existen reportes de la exploración de la resistencia en aislamientos del patógeno a los diferentes grupos químicos de los fungicidas más usados para el manejo de las enfermedades; es por esto, que el objetivo de esta investigación, fue determinar la sensibilidad *in vitro* de aislamientos de *Colletotrichum* spp. en ñame a fungicidas de síntesis química.

Materiales y métodos

Localización

La investigación se realizó en el laboratorio de Fitopatología de la Universidad de Córdoba, Colombia. Localizado en el municipio de Montería, Departamento de Córdoba a 14 msnm, con temperatura promedio anual de 28°C, humedad relativa de 80% y precipitación de 1200 mm año (IDEAM, 2022).

Selección de aislados de *Colletotrichum* spp.

Se seleccionaron diez aislamientos fúngicos que fueron colectados e identificados por Royet y Campo (2021) de plantas de ñame con síntomas de antracnosis del banco de germoplasma de la Universidad de Córdoba, Colombia (Tabla 1). Los aislados fueron purificados y multiplicados, a partir de cultivos monospóricos según la metodología descrita por (Castellanos *et al.*, 2011). La identificación de los aislados se realizó amplificando y secuenciando parcialmente el gen ITS-rDNA con los cebadores universales ITS3 (5'GCATCGATGAAGAACGCAGC3') e ITS4 (5'TCCTCCGCTTATTGATATGC3'). Los aislamientos se mantuvieron en platos Petri con PDA y en refrigeración, replicándose periódicamente para evitar la pérdida de sus características.

Tabla 1. Aislados de *Colletotrichum* spp., seleccionados para evaluar su sensibilidad *in vitro* a fungicidas

Aislado	Código	Nombre científico	Hospedero
DAL2A	CG01	<i>C. gloeosporioides</i>	<i>Dioscorea alata</i>
DAL2B	CG02	<i>C. gloeosporioides</i>	<i>Dioscorea alata</i>
DAL3	CG03	<i>C. gloeosporioides</i>	<i>Dioscorea alata</i>
DRL4	CG04	<i>C. gloeosporioides</i>	<i>Dioscorea rotundata</i>
DAL5B	CG05	<i>C. gloeosporioides</i>	<i>Dioscorea alata</i>
DRN2	CG06	<i>C. gloeosporioides</i>	<i>Dioscorea rotundata</i>
DAL5A	CF07	<i>C. fructicola</i>	<i>Dioscorea alata</i>
DAL6	CF08	<i>C. fructicola</i>	<i>Dioscorea alata</i>
DRL7	CF09	<i>C. fructicola</i>	<i>Dioscorea rotundata</i>
DRN1	CF10	<i>C. fructicola</i>	<i>Dioscorea rotundata</i>

Selección de fungicidas

Se evaluó la sensibilidad de los aislamientos a seis fungicidas con diferentes ingredientes activos, grupos químicos, modo de acción, movilidad en la planta y dosis. Los productos químicos se eligieron en función de su uso actual y potencial para el manejo de la antracnosis en el cultivo de ñame (Tabla 2).

Tabla 2. Fungicidas seleccionados para la evaluación *in vitro* de su eficacia sobre aislamientos fúngicos asociados a antracnosis en ñame (*Dioscorea* spp)

Ingrediente activo	Grupo químico	Movilidad	Dosis (ppm de i.a)	Código FRAC
Azoxistrobin	Estrobilurinas	Sistémico	1,3,5,10,	11
Benomil	Benzimidazol	Sistémico	1, 3, 5, 10	1
Difenoconazol	Triazoles	Sistémico	1, 3, 5, 10	3
Mancozeb	Ditiocarbamato	Contacto	500, 1000, 1500, 2000	M 03
Captan	Ftalimida	Contacto	500, 1000, 1500, 2000	M 04
Clorotalonil	cloronitrilos	Contacto	500, 1000, 1500, 2000	M 05

Inhibición del crecimiento micelial (ICM)

Para la determinación del porcentaje de inhibición del crecimiento micelial (PICM) de cada aislamiento se utilizó la técnica de difusión en agar, la cual consistió en mezclar cada concentración del fungicida con el medio de cultivo de papa-dextrosa-agar (PDA) siguiendo la metodología de Forcelini *et al.* (2016). Se evaluaron seis fungicidas y cuatro dosis (Tabla 2), cada suspensión de fungicida (50 µl) se aplicó en las placas Petri con PDA y se esparció sobre la superficie del medio con un asa de drigalsky en forma de L. Las placas se incubaron durante dos horas a temperatura ambiente (28°C) para permitir que el fungicida se difunda a través del agar. Las placas modificadas con fungicida se sembraron con discos de micelio de 0,7 cm de diámetro, de los diez aislados crecidos durante ocho días y un control que correspondió a la siembra de los hongos en medio de cultivo sin fungicidas. Se establecieron dos discos de cada aislado por placa Petri de 10 cm de diámetro, con cuatro repeticiones por tratamiento. Después se incubaron durante 72 horas a 28°C en la oscuridad, se midió el diámetro de cada colonia. El porcentaje de inhibición se calculó con la siguiente fórmula: $((\text{crecimiento control} - \text{crecimiento tratamiento}) / \text{crecimiento control}) \times 100$.

Dosis letal al 50% (DL₅₀)

Los datos de porcentaje de inhibición se usaron para determinar la dosis letal al 50% (DL₅₀), esta se estimó a través del ajuste de modelos log-logístico con una asíntota superior usando el paquete de drc (Ritz *et al.*, 2015) del programa R versión 4.2.1 (R Core Team, 2022). Los valores de DL₅₀ para los productos sistémicos, las cepas inhibidas con valores de DL₅₀ < 10 ppm se consideraron susceptibles, las cepas inhibidas con valores de DL₅₀ entre 10-100 ppm se agruparon como resistentes y los aislados con DL₅₀ valores > 100 ppm fueron considerados altamente resistente (Torres *et al.*, 2015). Para los fungicidas de contacto, se tomó como referencia la dosis discriminatoria de 1000 ppm, considerándose como susceptibles las cepas inhibidas a DL₅₀ < 1000 ppm y como resistentes las inhibidas a DL₅₀ > 1000 ppm (Moreira *et al.*, 2019).

Análisis estadístico

Los valores de porcentaje de inhibición del crecimiento micelial fueron sometidos a evaluación de normalidad, homocedasticidad, linealidad e independencia de los datos. El cumplimiento de los supuestos se logró con la transformación de los datos (logit). Cada aislamiento se evaluó independientemente bajo un diseño completamente al azar (DCA), el fungicida y la dosis se trataron como factores y se analizaron con un ANOVA de dos vías. Se estimaron las diferencias entre los tratamientos mediante una prueba de comparación múltiple de Tukey al 5% en el programa R versión 4,2,1 (R Core Team, 2022).

Resultados

Inhibición del crecimiento micelial

El análisis de varianza mostró que los efectos principales y las interacciones fueron estadísticamente significativos ($p < 0,001$). Los fungicidas azoxistrobin, captan, y clorotalonil mostraron mayor efecto sobre el crecimiento micelial de los aislados de *Colletotrichum*, inhibiendo el crecimiento con promedios de 76,8, 75,50 y 73,22%, respectivamente; mientras que, el difenoconazol, mancozeb y benomil alcanzaron los porcentajes más bajos con promedios de 52,24, 41,44 y 29,22%, respectivamente. Se evidenció una tendencia de mayor inhibición a medida que se incrementó la dosis aplicada. Los aislados tratados con azoxistrobin mostraron inhibición del crecimiento entre el 47,15 y 100%, al aplicar concentraciones entre 1 y 10 ppm. En cuanto al difenoconazol, la inhibición estuvo entre el 75 y 84%, aplicando dosis entre 5 y 10 ppm. No obstante, cuatro aislamientos presentaron porcentajes de inhibición menores al 60%. Este comportamiento también fue observado en el fungicida benomil, con inhibición inferior al 50% en seis aislamientos tratados con la dosis más alta (Tabla 3 y 4).

Tabla 3. Efecto de la interacción entre el fungicida y las dosis sobre el porcentaje de inhibición micelial de aislados de *C. gloeosporioides*

Fungicida	Dosis (ppm)	<i>C. gloeosporioides</i>					
		CG01	CG02	CG03	CG04	CG05	CG06
azoxistrobin	1	58,78 ghi	52,46 gh	66,97 ef	68,06 defg	71,77 ef	55,17 c
	3	70,99 ef	67,21 e	85,32 bcd	80,56 bc	85,48 cd	74,14 b
	5	73,28 de	73,77 de	95,41 abc	81,94 bc	87,90 bcd	100,00 a
	10	79,39 cd	76,23 cd	100,00 a	84,72 abc	100,00 a	100,00 a
benomil	1	12,98 n	6,56 m	19,27 k	29,17 m	22,58 j	17,24 hi
	3	15,27 n	6,56 m	36,70 ij	37,50 lm	53,23 h	19,83 ghi
	5	30,53 m	8,20 lm	39,45 i	53,47 hijk	68,55 fg	26,72 g
	10	52,67 hij	8,20 lm	55,96 gh	65,97 efgh	97,58 ab	36,21 ef
difenoconazol	1	46,56 jkl	20,49 klm	54,13 gh	49,31 ijkl	50,81 hi	21,55 ghi
	3	59,54 gh	22,13 jkl	55,96 fgh	59,03 fghi	62,10 g	25,86 gh
	5	63,36 fg	22,95 jk	75,23 d	64,58 efgh	72,58 ef	37,93 e
	10	63,36 fg	31,97 ij	84,4 cd	67,36 defg	72,58 ef	56,90 c
mancozeb	500	12,98 n	21,31 klm	8,26 k	43,06 jklm	24,19 j	16,38 i
	1000	35,88 lm	25,41 jk	22,02 jk	54,86 ghij	41,13 i	27,59 fg
	1500	48,09 ijk	40,98 i	46,79 hi	63,19 efgh	50,81 hi	43,10 de
	2000	58,78 ghi	58,20 fg	75,23 de	74,31 cde	70,97 f	53,45 c
captan	500	87,79 bc	42,62 hi	37,61 ij	39,58 klm	91,94 abc	50,86 cd
	1000	93,89 ab	58,20 fg	61,47 fg	81,94 bc	93,55 abc	74,14 b
	1500	100,00 a	66,39 ef	74,31 de	100,00 a	100,00 a	100,00 a
	2000	100,00 a	90,98 ab	99,08 ab	100,00 a	100,00 a	100,00 a
clorotalonil	500	36,64 klm	53,28 g	21,10 k	57,64 fghij	71,77 f	37,07 e
	1000	76,34 de	69,67 e	45,87 hi	69,44 def	75,00 ef	70,69 b
	1500	90,08 abc	81,15 bc	100,00 a	77,08 cd	78,23 de	100,00 a
	2000	98,47 ab	100,00 a	100,00 a	95,14 ab	84,68 cd	100,00 a

¹Letras diferentes entre columnas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) según la prueba de comparación múltiple de Tukey al 5%.

Tabla 4. Efecto de la interacción entre el fungicida y las dosis sobre el porcentaje de inhibición micelial de aislados de *C. fruticola*

Fungicida	Dosis (ppm)	<i>C. fruticola</i>			
		CF07	CF08	CF09	CF10
azoxistrobin	1	61,48 ef	67,33 cd	53,38 ij	47,15 i
	3	69,67 de	77,23 ab	76,69 def	59,35 efg
	5	88,52 ab	79,21 ab	86,47 bcd	66,67 de
	10	100,00 a	83,17 a	93,23 ab	74,80 c
benomil	1	14,75 j	0,99 k	12,03 l	6,50 k
	3	24,59 ij	6,93 k	24,81 kl	12,20 k
	5	24,59 ij	33,66 hij	30,83 k	17,07 jk
	10	24,59 ij	42,57 fghi	47,37 j	25,20 j
difenoconazol	1	25,41 ij	28,71 ij	45,86 j	54,47 ghi
	3	37,70 hi	40,59 fghi	61,65 hi	57,72 fgh
	5	60,66 ef	42,57 fghi	74,44 efg	57,72 fgh
	10	70,49 de	51,49 ef	81,95 bcdef	57,72 fgh
mancozeb	500	12,30 j	4,95 k	20,30 kl	51,22 hi
	1000	24,59 ij	18,81 jk	21,05 kl	61,79 ef
	1500	30,33 hi	31,68 hij	45,11 j	71,54 cd
	2000	40,16 gh	35,64 ghi	82,71 bcde	88,62 b
captan	500	25,41 ij	47,52 fg	66,92 gh	10,57 k
	1000	40,16 gh	65,35 cd	90,23 abc	58,54 fgh
	1500	70,49 de	75,25 ab	100,00 a	77,24 c
	2000	75,41 cd	84,16 a	100,00 a	88,62 b
clorotalonil	500	41,80 gh	35,64 ghi	73,68 fg	71,54 cd
	1000	52,46 fg	44,55 fgh	76,69 def	90,24 b
	1500	71,31 de	59,41 de	79,70 cdef	100,00 a
	2000	84,43 bc	72,28 bc	85,71 bcd	100,00 a

¹Letras diferentes entre columnas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) según la prueba de comparación múltiple de Tukey al 5%. Fuente: autores

Dosis letal al 50% (DL₅₀)

Todos los aislados de *C. gloeosporioides* y *C. fructicola* fueron sensibles al azoxistrobin con valores entre 0,15 a 1,31 ppm. Dos aislamientos de *C. gloeosporioides* y cuatro de *C. fructicola* fueron resistentes a benomil (DL₅₀ valores >10 ppm). Los aislamientos de las dos especies de *Colletotrichum* fueron sensibles a difenoconazol, con excepción del aislado CG02 de *C. gloeosporioides* que fue altamente resistente (DL₅₀ de 239,4 ppm). Para los fungicidas multisitios evidenciamos que los aislados de *C. gloeosporioides* y *C. fructicola* presentaron baja sensibilidad a mancozeb,

con valores de DL₅₀ medios de 1151,6 y 2200,3 ppm, respectivamente. Los aislados tratados con captan mostraron alta sensibilidad al ser inhibido el crecimiento micelial de las cepas de *C. gloeosporioides* y *C. fructicola* con valores de DL₅₀ por debajo de la dosis discriminadora, con excepción de la cepa CF07. Solo un aislado de *C. gloeosporioides* presentó resistencia al clorotalonil (DL₅₀ de 1013,06 ppm), el resto de los aislados fueron sensibles a este producto. En general, los aislados de *C. fructicola* fueron más resistentes a los fungicidas azoxistrobin, benomil, mancozeb y captan; mientras que *C. gloeosporioides* fue más resistente a difenoconazol y clorotalonil.

Tabla 5. Sensibilidad de 10 aislados de *Colletotrichum* spp., de plantas de ñame (*Dioscorea* spp.) a seis fungicidas, de acuerdo a la dosis letal media (DL₅₀)

DL ₅₀ (ppm de ingrediente activo)						
Fungicida						
Aislado	AZO	BEN	DIF	MAN	CAP	CLO
CG01	0,42(S)	9,67(S)	1,22 (S)	1558,16(R)	90,43(S)	622,31(S)
CG02	0,77(S)	4003,60(AR)	239,39 (AR)	1803,94(R)	689,6(S)	489,91(S)
CG03	0,58(S)	7,61(S)	1,00(S)	1493,11(R)	704,06(S)	1013,06 (R)
CG04	0,17(S)	4,42(S)	1,03(S)	731,88 (S)	576,61(S)	417,73(S)
CG05	0,36(S)	2,59(S)	0,90(S)	1253,26(R)	90,76(S)	353,59(S)
CG06	0,91(S)	36,7(R)	8,41(S)	1853,43(R)	509,47(S)	627,95(S)
CF07	0,69(S)	2644,5(AR)	3,84(S)	2979,17(R)	1052,22(R)	731,6(S)
CF08	0,15(S)	11,31(R)	8,96(S)	2807,85(R)	557,83(S)	997,9(S)
CF09	0,89(S)	11,89(R)	1,32(S)	1456,01(R)	383,71(S)	58,05(S)
CF10	1,31(S)	221,52(AR)	0,03(S)	530,13(S)	936,87(S)	341,52(S)
Media	0,62	695,38	26,61	1646,69	559,16	588,89

AZO: azoxistrobin; BEN: benomil; DIF: difenoconazol; MAN: mancozeb; CAP: captan; CLO: clorotalonil. CG: *C. gloeosporioides*; CF: *C. fructicola*. Entre paréntesis, grado de sensibilidad: S: Susceptible; R: Resistente; AR: Altamente resistente.

Discusiones

Los aislados de *Colletotrichum* causantes de la antracnosis en ñame en este estudio fueron más sensibles a los fungicidas sistémicos azoxistrobin y difenoconazol, pero presentaron baja sensibilidad a benomil, estos resultados fueron similares a los reportados en otros patosistemas Gaviria *et al.* (2013), donde se encontraron que los fungicidas azoxistrobin y difenoconazol presentaron altos porcentajes de inhibición; mientras que, benomil fue el menos eficaz para *C. acutatum* en mora. Investigaciones *in vitro* sobre aislamientos fúngicos asociados a la antracnosis del ñame en Costa Rica y Puerto Rico han reportado bajos porcentajes de inhibición micelial en especies *Colletotrichum* spp., al ser tratadas con benomil (Rosado, 2016; Arce *et al.*, 2019); siendo contrastante a los encontrados en esta investigación, donde benomil evidenció bajos porcentajes de inhibición micelial, incluso al aplicar concentraciones del ingrediente activo. Por su parte, captan y clorotalonil

mostraron mayor reducción al aplicar dosis superiores a las 1500 ppm, alcanzado inhibición del 100%. Con respecto a mancozeb, hubo bajos porcentajes de inhibición micelial, incluso, al aplicar dosis de 2000 ppm no alcanzó 100% de inhibición en ninguna de las cepas (Tablas 3 y 4). Resultados similares han sido reportados en varios patosistemas, por ejemplo, en ají se encontró que la mayor reducción del crecimiento micelial de *C. capsici*, al aplicar una concentración de 2500 ppm de mancozeb (Katediya *et al.*, 2019). La sensibilidad *in vitro* de aislados de *C. gloeosporioides* en cultivos de granada, marañón y banano se obtuvo la inhibición del crecimiento micelial hasta el 100% de aplicando dosis entre 1000 y 2000 ppm de mancozeb, captan y clorotalonil (Jagtap *et al.*, 2015; Dhavale *et al.*, 2019; Patrice *et al.*, 2021). El captan logró reducir totalmente el crecimiento de la colonia de *C. acutatum* agente causal de antracnosis en naranjo con dosis entre 0,25 g y 1 g/125 ml (Guillén *et al.*, 2017). El fitopatógeno *C. gloeosporioides*, causante de la antracnosis en la uva mostró variabilidad de la

sensibilidad para cuatro fungicidas evaluados *in vitro* y sus efectos fueron directamente proporcionales a las dosis utilizadas, siendo el clorotalonil uno de los más efectivos (López y Castaño, 2020). Estos resultados fueron similares a los encontrados en esta investigación, al inhibir los 10 aislamientos de *Colletotrichum* spp., en un 100% con dosis entre 1000 y 1500 ppm.

El fungicida azoxistrobin destaca como el más efectivo entre los aislados evaluados, siendo parte de los inhibidores de quinona externa (QoI) (Sierotzki, 2015). Aunque la resistencia es común en muchos patógenos vegetales, su desarrollo es más lento en aquellos donde se inhibe el crecimiento micelial con dosis menores a 10 ppm, como se observó en *Colletotrichum* spp. en arándanos en Massachusetts (Giorgio et al., 2020). Resultados similares se reportaron en aislados de *C. acutatum* de fresas en Brasil y México (Baggio et al., 2018; Espinoza et al., 2017).

Los aislados mostraron alta sensibilidad al difenoconazol, un fungicida inhibidor de la desmetilación de esterol (DMI). A pesar de su acción sitio-específica que favorece la resistencia, sigue siendo eficaz (Ziogas y Malandraki, 2015). Esto se corroboró en nuestro ensayo, excepto por un aislado resistente. Resultados similares se encontraron en estudios de *C. fruticola* y *C. siamense* en melocotón (Chen et al., 2016; Chen et al., 2020). También fue efectivo contra *C. acutatum* y *C. gloeosporioides* en cítricos (Gama et al., 2020). En general, los DMI fueron la mejor opción para manejar antracnosis en melocotón en China (Usman et al., 2021). La sensibilidad diferencial en un aislado de *C. gloeosporioides* se debe a posibles mutaciones en los genes del inhibidor de la desmetilación P450 (CYP51) y regulación de transportadores en la membrana (Villani et al., 2016; Omrane et al., 2017).

Los resultados del tratamiento con benomil, mostró que el 40% de los aislados fueron susceptibles, el 30% resistentes y el 30% altamente resistentes, explicando así el bajo control que tiene los agricultores en el manejo de la antracnosis en el ñame. La pérdida de la sensibilidad al grupo de los bezimidazoles, que actúan como inhibidores del ensamblaje de β -tubulina en la mitosis (Ramdial et al., 2016; Zhou et al., 2016), sugiere la eliminación de este producto el plan de manejo de la antracnosis del ñame; ya que los estudios de laboratorio de mutantes resistentes han demostrado que mutaciones en la β -tubulina son capaces de conferir resistencia a los benzimidazoles. Como fue el caso de *Colletotrichum* que causa antracnosis en el cultivo de ñame en china (Han et al., 2018). En el caso del benomil, se ha reportado resistencia de *C. truncatum* en pimentón (Ramdial et al., 2016), *C. fruticola* en manzanas (Yokosawa et al., 2017) y *C. gloeosporioides* en mango

(Archana et al., 2018). No conocemos los mecanismos moleculares involucrados en la resistencia a benomil en las especies de *Colletotrichum* en ñame, pero podemos inferir que se deben a las mutaciones E198A/G/K/Q y F200Y, ya que son las más frecuentes (Poti et al., 2020; Martin et al., 2021).

Los fungicidas de contacto inhibieron el crecimiento micelial de los aislados, algunos con mayor porcentaje como el captan y clorotalonil y otros con menos porcentaje como el mancozeb, cuya dosis letal media de los 10 aislados, presentó una frecuencia del 20% susceptible y 80% resistentes. Investigadores en Brasil reportaron que las poblaciones de *C. acutatum* en manzana las frecuencias en la sensibilidad de los aislamientos fueron 25% de alta resistencia, 50% de baja resistencia y 25% de sensibilidad intermedia a mancozeb (Moreira et al., 2019). Las especies de *Colletotrichum* spp. que causan antracnosis en cultivos de chile (*Capsicum annuum*) en Indonesia fueron resistentes o muy resistentes a mancozeb (Andriani et al., 2017). Se ha sugerido que su reacción con componentes tiólicos no esenciales, como el glutatión en particular, conduce a la desintoxicación de varios tóxicos multisitio (Reis et al., 2021). Muchas especies del género *Colletotrichum* presentan baja sensibilidad a mancozeb, debido a que este patógeno tiene la capacidad de inactivar la molécula fungicida por sobreproducción de tioles (Moreira et al., 2019). De igual forma, los fungicidas multisitio como captan, mancozeb y clorotalonil han servido de base para los programas de fungicidas en el manejo de enfermedades de diferentes cultivos (Perez et al., 2020; Xavier et al., 2020).

Conclusiones

Las especies de *C. gloeosporioides* y *C. fruticola* fueron sensibles a las moléculas de azoxistrobin, difenoconazol, clorotalonil y captan, los cuales pueden ser adecuados para el manejo de la antracnosis del ñame; mientras que, los fungicidas benomil y mancozeb no son recomendados para el manejo de la enfermedad, debido a la resistencia que presentan algunos aislados a estas moléculas. El manejo de la antracnosis del ñame, debe hacerse bajo el enfoque del manejo integrado, que permita una buena selección de los agrotóxicos y un monitoreo constante de la sensibilidad de los fungicidas para evitar el riesgo de la resistencia del complejo *Colletotrichum* spp.

Agradecimientos

A la universidad de Córdoba que financió esta investigación, fruto del proyecto “La antracnosis del ñame: descripción de síntomas y caracterización

morfológica, molecular y patogénica de su agente causal *Colletotrichum gloeosporioides* penz”.

Referencias

- Andres, C., AdeOluwa, O., Bhullar, G. (2017). Yam (*Dioscorea* spp.). In: Thomas, B., Murray, B., Murphy, D. (Eds.). Encyclopedia of Applied Plant Sciences. Vol 3. pp. 435-441. Second Edition. Waltham, MA: Academic Press. 1706p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394807-6.00177-5>
- Andriani, D., Wiyono, S., Widodo, W. (2017). Sensitivitas *Colletotrichum* spp. pada Cabai terhadap Benomil, Klorotalonil, Mankozeb, dan Propineb. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 13(4): 119-119. doi: <https://doi.org/10.14692/jfi.13.4.119>
- Arce, C., Varela, I., Torres, S. (2019). Inhibición del crecimiento micelial de hongos asociados a antracnosis en ñame (*Dioscorea alata*). *Agronomía Mesoamericana*. 30(2): 381-393. doi:10.15517/am.v30i2.32653
- Archana, S., Raguchander, T., Prabakar, K. (2018). Detection of β -tubulin gene from benomyl sensitive isolates of *Colletotrichum gloeosporioides* causing anthracnose disease in mango. *African Journal of Microbiology Research*. 12(33): 806-814. doi: 10.5897/AJMR2017.8688
- Baggio, J., Wang, N., Peres, N., Amorim, L. (2018). Baseline sensitivity of *Colletotrichum acutatum* isolates from Brazilian strawberry fields to azoxystrobin, difenoconazole, and thiophanate-methyl. *Tropical Plant Pathology*. 43(6): 533-542. doi: <https://doi.org/10.1007/s40858-018-0232-2>
- Campo-Arana, R., Pérez-Polo, D. (2015). Efecto de la densidad de siembra y la fenología del ñame (*Dioscorea* spp.) sobre la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*). *Fitopatología Colombiana*. 39(2): 37-40.
- Campo-Arana, R.O., Royet-Barroso, J. (2020). La antracnosis del ñame y estrategias de manejo: una revisión. *Temas Agrarios*. 25(2): 190-201. doi: <https://doi.org/10.21897/rta.v25i2.2458>
- Castellanos, G., Jara, C., Mosquera, G. (2011). Guías Prácticas de Laboratorio para el Manejo de Patógenos del Frijol. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Publicación CIAT No. 375. Retrieved from <https://hdl.handle.net/10568/54435>
- Cechi, A., Stahlecker, J., Dowling, M., Schnabel, G. (2019). Diversity in species composition and fungicide resistance profiles in *Colletotrichum* isolates from apples. *Pesticide biochemistry and physiology*. 158: 18-24. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2019.04.002>
- Chen, F., Tsuji, S., Li, Y., Hu, M., Bandeira, M., Câmara, M., Schnabel, G. (2020). Reduced sensitivity of azoxystrobin and thiophanate-methyl resistance in *Lasiodiplodia theobromae* from papaya. *Pesticide biochemistry and physiology*. 162: 60-68. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2019.08.008>
- Chen, S., Luo, C., Hu, M., Schnabel, G. (2016). Sensitivity of *Colletotrichum* species, including *C. fioriniae* and *C. nymphaeae*, from peach to demethylation inhibitor fungicides. *Plant disease*. 100(12): 2434-2441. doi: <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-16-0574-RE>
- Chen, S., Wang, Y., Schnabel, G., Peng, C., Lagishetty, S., Smith, K., Yuan, H. (2018). Inherent resistance to 14 α -demethylation inhibitor fungicides in *Colletotrichum truncatum* is likely linked to CYP51A and/or CYP51B gene variants. *Phytopathology*. 108(11): 1263-1275. doi: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-02-18-0054-R>
- Chen, X., Dai, D., Zhao, S., Shen, Y., Wang, H., Zhang, C. (2020). Genetic Diversity of *Colletotrichum* spp. Causing Strawberry Anthracnose in Zhejiang, China. *Plant Disease*. 104(5): 1351-1357. doi: <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-19-2026-RE>
- Darkwa, K., Olanmi, B., Asiedu, R., Asfaw, A. (2020). Review of empirical and emerging breeding methods and tools for yam (*Dioscorea* spp.) improvement: Status and prospects. *Plant Breeding*. 139(3): 474-497. doi: <https://doi.org/10.1111/pbr.12783>
- Dhavale, R., Mulekar, V., Jaiswal, K., Bhosale, A., Rothe, A. (2019). In vitro evaluation of non-systemic fungicides against *Colletotrichum gloeosporioides* causing fruit rot in banana. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 8(5): 1486-1488.
- Dufour, D., Hershey, C., Hamaker, B., Lorenzen, J. (2021). Integrating end-user preferences into breeding programmes for roots, tubers and bananas. *International Journal of Food Science & Technology*. 56(3): 1071-1075. doi: <https://doi.org/10.1111/ijfs.14911>

- Espinoza, D., Silva, H., Leyva, S., Marbán, N., Rebollar, Á. (2017). Sensitivity of *Colletotrichum acutatum* isolates obtained from strawberry to tiophanate-methyl and azoxystrobin fungicides. *Revista mexicana de fitopatología*. 35(2): 186-203.
- Forcelini, B., Seijo, T., Amiri, A., Peres, N., (2016). Resistance in strawberry isolates of *Colletotrichum acutatum* from Florida to quinone-outside inhibitor fungicides. *Plant Disease*. 100(10): 2050-2056. doi: <https://doi.org/10.1094/PDIS-01-16-0118-RE>
- Gama, A., Baggio, J., Rebello, C., Lourenco, S., Gasparoto, M., da Silva Junior, G., Amorim, L. (2020). Sensitivity of *Colletotrichum acutatum* Isolates from Citrus to Carbendazim, Difenconazole, Tebuconazole, and Trifloxystrobin. *Plant disease*. 104(6): 1621-1628. doi: <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-19-2195-RE>
- Gatarira, C., Agre, P., Matsumoto, R., Edemodu, A., Adetimirin, V., Bhattacharjee, R., Asiedu, R., et al. (2020). Genome-Wide Association Analysis for Tuber Dry Matter and Oxidative Browning in Water Yam (*Dioscorea alata* L.). *Plants*: 9(8): 969. doi: <http://dx.doi.org/10.3390/plants9080969>
- Gaviria, V., Patiño, L., Saldarriaga, A. (2013). Evaluación in vitro de fungicidas comerciales para el control de *Colletotrichum* spp., en mora de castilla. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 14(1): 67-75. doi: https://doi.org/10.21930/rcta.vol14_num1_art:344
- Giorgio, T., Adler, L., Sandler, H. (2020). *Colletotrichum* Species Isolated from Massachusetts Cranberries Differ in Response to the Fungicide Azoxystrobin. *Plant Health Progress*. 21(2): 103-104. doi: <https://doi.org/10.1094/PHP-10-19-0075-BR>
- Guillén, D., Cadenas, C. I., Alia, I., López, V., Andrade, M., & Juárez, P. (2017). Inhibición colonial in vitro de un aislado de *Colletotrichum acutatum* Simmonds a tratamientos con fungicidas. *Centro Agrícola*. 44(4): 11-16.
- Han, Y., Zeng, X., Xiang, F., Zhang, Q., Cong, G., Chen, F., Gu, Y. (2018). Carbendazim sensitivity in populations of *Colletotrichum gloeosporioides* complex infecting strawberry and yams in Hubei Province of China. *Journal of integrative agricultura*. 17(6): 1391-1400. doi: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61854-9](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61854-9)
- IDEAM. 2022. Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Retrieved from <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>
- Jagtap, N., Ambadkar, C., Bhalerao, G. (2015). In vitro evaluation of different fungicides against *Colletotrichum gloeosporioides* causing anthracnose of pomegranate. *International Journal of Agricultural Sciences*. 11(2): 273-276.
- Katediya, M., Jaiman, R., Kumar, S. (2019). Management of chilli anthracnose caused by *Colletotrichum capsici*. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 8(3): 2697-2701.
- López, S.; Castaño, J. (2020). In vitro effect of four fungicides on *Colletotrichum gloeosporioides* causing anthracnosis on the Red Globe grape variety. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 44(172): 747-758. doi: <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1139>
- MADR. (2021). Cadena Productiva del Ñame. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). Retrieved from: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Yuca/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales%20ñame.pdf>
- Martin, P., Krawczyk, T., Pierce, K., Thomas, C., Khodadadi, F., Acimović, S., Peter, K. (2021). Fungicide sensitivity of *Colletotrichum* species causing bitter rot of apple in the Mid-Atlantic United States. *Plant Disease*. 106 (2): 549-563. doi: 10.1094/pdis-06-21-1142-re.
- Moreira, R., Hamada, N., Peres, N., De Mio, L. (2019). Sensitivity of the *Colletotrichum acutatum* species complex from apple trees in Brazil to Dithiocarbamates, Methyl Benzimidazole Carbamates, and Quinone outside inhibitor fungicides. *Plant disease*. 103(10): 2569-2576. doi: <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-18-1144-RE>
- Ntui, VO., Uyoh, E., Ita, EE., Markson, A., Tripathi, J., Okon, N., Tripathi, L. (2021). Strategies to combat the problem of yam anthracnose disease: Status and prospects. *Molecular Plant Pathology*. 22(10): 1302-1314. doi: <https://doi.org/10.1111/mp.13107>
- Nwadi, C., Augusto, J., Bhattacharjee, R., Atehnkeng, J., Lopez, A., Onyeka, T., Bandyopadhyay, R. 2017. Comparative reliability of screening parameters for anthracnose resistance in water yam (*Dioscorea alata*). *Plant disease*, 101(1), 209-216. doi: <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-16-0924-RE>

- Omrane, S., Audéon, C., Ignace, A., Duplaix, C., Aouini, L., Kema, G., Fillinger, S. (2017). Plasticity of the MFS1 promoter leads to multidrug resistance in the wheat pathogen *Zymoseptoria tritici*. *MSphere*. 2(5): e00393-17. doi: <https://doi.org/10.1128/mSphere.00393-17>
- Osorio, C. (1989). Control químico de la antracnosis del ñame causada por *Colletotrichum gloeosporioides*, Penz (No. Doc. 25497) CO-BAC, Bogotá). 1-4 p.
- Patrice, N., Placide, D., Madjerembe, A., Rony, M., Gabriel, D., Ulrich, B., Zachee, A. (2021). *In vitro*, *In vivo* and *In situ*, Effect of Mancozeb 80 WP on *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. and Sacc., Causative Agent of Anthracnose of Cashew (*Anacardium occidentale* L.) in Chad and Cameroon. *International Journal of Pathogen Research*. 6(3): 1-14. doi: 10.9734/ijpr/2021/v6i330161
- Perez, P., Alberto, R. (2020). Chemical Management of Anthracnose-Twister (*Colletotrichum gloeosporioides* and *Fusarium fujikuroi*) Disease of Onion (*Allium cepa*). *Plant Pathology & Quarantine*. 10(1): 198-216. doi: 10.5943/ppq/10/1/19
- Poti, T., Mahawan, K., Cheewangkoon, R., Arunothayanan, H., Akimitsu, K., Nalumpang, S. (2020). Detection and molecular characterization of carbendazim-resistant *Colletotrichum truncatum* isolates causing anthracnose of soybean in Thailand. *Journal of Phytopathology*. 168(5): 267-278. doi: <https://doi.org/10.1111/jph.12888>
- R Core Team. 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Ramdial, H., Hosein, F., Rampersad, S. (2016). Detection and molecular characterization of benzimidazole resistance among *Colletotrichum truncatum* isolates infecting bell pepper in Trinidad. *Plant disease*. 100(6): 1146-1152. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-15-0995-RE>
- Reis, E., Guerra, W., Reis, A., Zanatta, M., Carmona, M., Sautura, F. (2021). Fungi Resistance to Multisite Fungicides. *Journal of Agricultural Science*. 13(11): 141-151 doi: <https://doi.org/10.5539/jas.v13n11p141>
- Ritz, C., Baty, F., Streibig, J. C., Gerhard, D. (2015). Dose-response analysis using R. *PloS one*. 10(12): e0146021. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146021>
- Rosado, Y. (2016). Evaluación de fungicidas orgánicos y convencionales para el control de enfermedades foliares en ñame (*Dioscorea alata* L.) (Doctoral dissertation).
- Royet-Barroso, J., Campo-Arana, R.O. (2021). Variabilidad morfológica y patogénica de *Colletotrichum* spp. en ñame en el departamento de Córdoba. *Temas Agrarios*. (26). doi: DOI: 10.21897/rta.v26i1
- Samaras, A., Ntasiou, P., Myresiotis, C., Karaoglanidis, G. (2020). Multidrug resistance of *Penicillium expansum* to fungicides: whole transcriptome analysis of MDR strains reveals overexpression of efflux transporter genes. *International Journal of Food Microbiology*. 335: 108896. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108896>
- Sierotzki, H. (2015). Respiration inhibitors: complex III. In Ishi, H., William, D. (Eds). Fungicide resistance in plant pathogens. pp. 119-143. Springer, Tokyo. 490p. doi: <https://doi.org/10.1007/978-4-431-55642-8>
- Torres, C., Tapia, R., Higuera, I., Martin, R., Nexticapan, A., Perez, D. (2015). Sensitivity of *Colletotrichum truncatum* to four fungicides and characterization of thiabendazole-resistant isolates. *Plant Disease*. 99(11): 1590-1595. <https://doi.org/10.1094/PDIS-11-14-1183-RE>
- Usman, H., Tan, Q., Karim, M., Adnan, M., Yin, W., Zhu, F., Luo, C. (2021). Sensitivity of *Colletotrichum fructicola* and *Colletotrichum siamense* of Peach in China to Multiple Classes of Fungicides and Characterization of Pyraclostrobin-Resistant Isolates. *Plant Disease*. 105(11): 3459-3465. <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-21-0693-RE>
- Villani, S., Biggs, A., Cooley, D., Raes, J., Cox, K. (2015). Prevalence of myclobutanil resistance and difenoconazole insensitivity in populations of *Venturia inaequalis*. *Plant disease*. 99(11): 1526-1536. doi: <https://doi.org/10.1094/PDIS-01-15-0002-RE>
- Xavier, K. V., Kc, A. N., Peres, N. A., Deng, Z., Castle, W., Lovett, W., Vallad, G. E. (2019). Characterization of *Colletotrichum* Species Causing Anthracnose of Pomegranate in the Southeastern United States. *Plant Disease*. 103(11): 2771-2780. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-19-0598-RE>
- Yokosawa, S., Eguchi, N., Kondo, K. I., Sato, T. (2017). Phylogenetic relationship and fungicide sensitivity of members of the *Colletotrichum gloeosporioides* species complex from apple. *Journal of General*

- Plant Pathology*. 83(5): 291-298. doi: <https://doi.org/10.1007/s10327-017-0732-9>
- Zhang, C., Imran, M., Xiao, L., Hu, Z., Li, G., Zhang, F., Liu, X. (2021). Difenconazole resistance shift in *Botrytis cinerea* from Tomato in China associated with inducible expression of CYP51. *Plant Disease*. 105(2): 400-407. doi: <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-20-0508-RE>
- Zhang, L., Song, L., Xu, X., Zou, X., Duan, K., Gao, Q. (2020). Characterization and fungicide sensitivity of *Colletotrichum* species causing strawberry anthracnose in Eastern China. *Plant disease*. 104(7): 1960-1968. doi: <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-19-2241-RE>
- Zhou, Y., Xu, J., Zhu, Y., Duan, Y., Zhou, M. (2016). Mechanism of action of the benzimidazole fungicide on *Fusarium graminearum*: interfering with polymerization of monomeric tubulin but not polymerized microtubule. *Phytopathology*. 106(8): 807-813. doi: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-08-15-0186-R>
- Ziogas, B. N., Malandrakis, A. A. (2015). Sterol biosynthesis inhibitors: C14 demethylation (DMIs). In Ishi, H., William, D. (Eds). Fungicide resistance in plant pathogens. pp. 199-216. Springer, Tokyo. 490p. doi: <https://doi.org/10.1007/978-4-431-55642-8>