

Actinomicetos de suelos de manglares. Antagonismo frente a fitopatógenos de *Sechium edule* (Jacq.) Sw.)

Actinomycetes from mangrove soils. Antagonism against phytopathogens of *Sechium edule* (Jacq.) Sw.)

Jorge Alejandro-Rosas¹ , Jessica M. Vallejo-Rosas¹, Norma A. Ochoa-Álvarez² , Alejandra Alvarado-Mávil¹ , José L. Ledea-Rodríguez^{3*} 

¹Laboratorio de Biotecnología y Criobiología Vegetal. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Veracruzana, Orizaba. CP. 4340. Veracruz, México.

²Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Avenida Instituto Politécnico Nacional. No. 195. Colonia Playa Palo de Santa Rita Sur. CP. 23096. La Paz, Baja California Sur, México.

³Universidad Autónoma de Baja California Sur. Carretera al Sur km. 5.5. CP. 23080. La Paz, Baja California Sur, México.

*Autor de correspondencia: ledea1017@gmail.com

Artículo científico

Recibido: 06 de mayo 2024

Aceptado: 20 de septiembre 2024

RESUMEN. *Sechium edule* (Jacq.) Sw.) es una planta originaria de Mesoamérica conocida en México como Chayote, y sus frutos son afectados en postcosecha por *Fusarium*. El objetivo del presente estudio fue evaluar el potencial antagonístico de actinomicetos aislados de suelos de manglares en Tuxpan, Veracruz, México, frente a hongos fitopatógenos del fruto de chayote en postcosecha. Se aisló *Fusarium* spp. de frutos de chayote en postcosecha, y actinomicetos de suelo de manglares de Tuxpan, Veracruz, México, ambos clasificados mediante claves taxonómicas. Se obtuvieron tres aislamientos de *Fusarium* spp (FC1, FC2, FC3) y ocho de actinomicetos (A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8). El aislamiento FC2 de *Fusarium* spp. mostró el mayor ($P \leq 0.05$) crecimiento radial, y en la prueba de antagonismo *in vitro* las respuestas fueron variables en función del patógeno, destacando de forma general los aislados de actinomicetos A2, A4, A5 y A6 ante lo cual se infirió que él patógeno tiene relevancia y define con su capacidad de patogenicidad el efecto antagonista de cada actino. En la prueba de antagonismo mediante la producción de compuestos volátiles (COVs) los aislados A2, A6 y A8 fueron los de mejor desempeño, la magnitud de las respuestas en la inhibición varió entre 73-86.7% pero sin llegar a diferenciarse ($P \geq 0.05$) entre los aislados de actinomicetos. Los aislamientos de actinomicetos de suelos de manglares en Tuxpan, Veracruz, México, fungen como antagonísticos frente a cepas de *Fusarium* spp. que afectan al fruto del chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.) en postcosecha.

Palabras clave: Bio control, bio-fungicidas, manglares, Tuxpan, Veracruz.

ABSTRACT. *Sechium edule* (Jacq.) Sw.) is a plant native to Mesoamerica known in Mexico as “Chayote,” and its fruits are affected postharvest by *Fusarium*. The objective of the present study was to evaluate the antagonistic potential of actinomycetes isolated from mangrove soils in Tuxpan, Veracruz, Mexico against phytopathogenic fungi of chayote fruit in postharvest. *Fusarium* spp. was isolated from post-harvest Chayote fruits, and actinomycetes from mangrove soil in Tuxpan, Veracruz, Mexico, both were classified using taxonomic keys. Three isolates of *Fusarium* spp were obtained (FC1, FC2, FC3). and eight of actinomycetes (A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8). The FC2 isolate of *Fusarium* spp. showed the greatest ($P \leq 0.05$) radial growth, and in the *in vitro* antagonism test the responses of the actinomycetes were variable depending on the pathogen, with the isolates of actinomycetes A2, A4, A5 and A6 generally standing out, for which suggesting that the specific pathogen plays a role relevance and defines the antagonistic effect of each actin with its pathogenicity capacity. In the antagonism test through the production of volatile compounds (VOCs), isolates A2, A6 and A8 were the best performers, the magnitude of the responses in inhibition varied between 73-86.7% but without being able to differentiate ($P \geq 0.05$) among actinomycete isolates. Actinomycete isolates from mangrove soils in Tuxpan, Veracruz, Mexico act as antagonists against strains of *Fusarium* spp. that affect the chayote fruit (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.) in post-harvest.

Keywords: Biocontrol, Bio-fungicides, Mangroves, Tuxpan, Veracruz.

Como citar: Alejandre-Rosas J, Vallejo-Rosas JM, Ochoa-Álvarez NA, Alvarado-Mávil A, Ledea-Rodríguez JL (2025) Actinomicetos de suelos de manglares. Antagonismo frente a fitopatógenos de *Sechium edule* (Jacq.) Sw.). Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 12(1): e4172. DOI: 10.19136/era.a12n1.4172.

INTRODUCCIÓN

Sechium edule (Jacq.) Sw.) es una planta originaria de Mesoamérica que pertenece a la familia de las cucurbitáceas. Produce frutos que se consumen como hortaliza y representan un importante rasgo cultural-culinario en Mesoamérica, en especial para México. El nombre Chayote, proviene del vocablo náhuatl “huizt ayotl” que significa calabaza con espinas que pudo derivar en “Chayotl” y en la actualidad a chayote, lo que ubica el uso de la palabra desde tiempos precolombinos (Cadena-Iñiguez y Arévalo-Galarza 2010). Hoy en día el chayote se cultiva en los cinco continentes, y es apreciable su prosperidad comercial de hortaliza de traspatio a producto no tradicional de exportación. En México su cultivo ocupa 177 759.6 ha con rendimientos a nivel nacional de 5 890.22 t. Los principales estados productores son Guanajuato, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Puebla, San Luis Potosí, Tabasco, Nayarit y Veracruz, este último con 2747 ha cultivadas y una producción total de 619 t ha⁻¹ (SIAP 2022).

En *S. edule* se ha reportado la incidencia de patógenos del género *Fusarium* en la planta (Aguirre-Medina *et al.* 2021), en frutos algunos de los patógenos más comunes son *Ascohyta phaseolorum*, *Phoma curcubitacearum*, *Mycovellosiella cucurbiticola*, *Colletotrichum sp.*, *Macrophomina phaseoli* y *Fusarium* (Alvarado *et al.* 1989). En México se han identificado *Colletotrichum gloeosporioides*, *C. orbiculare*, *Phytophthora capsici*, *Geotrichum sp* y *Fusarium oxysporum* (Juárez-Merlín *et al.* 2007); además *Didymella bryoniae*, *Chaetomium globosum*; y *F. solani* (Romero-Velazquez *et al.* 2015). Recientemente se reportó por primera vez afectaciones del fruto en postcosecha por *F. citri* (Montecinos-Pedro *et al.* 2023), lo cual se relaciona con la contaminación en campo mediante partículas de suelo que llegan al fruto al llover o aplicar riego (Cadena-Iñiguez y Arévalo-Galarza 2010).

Como alternativa para el control de patógenos en postcosecha se tienen los fungicidas sintéticos, pero su uso promueve efectos negativos al medio ambiente, salud del consumidor (Wang *et al.* 2022) y generan resistencia en los fitopatógenos (Kanini *et al.* 2013, Rivas-García *et al.* 2022). Por lo que se están reemplazando a nivel mundial debido al incremento en las exigencias de inocuidad de los alimentos (FAO 2019) por bio fungicidas o controles de origen biológico basados en el uso de microorganismos y/o productos de estos, para contener las enfermedades en planta y fruto (Droby *et al.* 2009, Suárez-Moreno *et al.* 2019, Abbas *et al.* 2020).

Entre los microorganismos utilizados destacan las bacterias, levaduras y actinomicetos, estos últimos son bacterias grampositivas de origen terrestre o marino con potencial de sintetizar una amplia gama de compuestos bioactivos (Imada 2005, Arasu *et al.* 2013), señalándose de forma general que, el medio ambiente en el que se desarrolle el microorganismo incide sobre el metabolismo microbiano, lo cual ha estimulado que se aislen microorganismos de hábitat terrestre y marino con el fin de obtener características diversas (Arasu *et al.* 2013). Sin embargo, desde finales de 1980 el número de nuevos compuestos aislados de microorganismos terrestres ha disminuido de forma constante (Arasu *et al.* 2013), por lo que la inclinación es explorar ambientes inhóspitos como el medio marino (Arasu *et al.* 2013, Hassan y Shaikh 2017). Proponiéndose como objetivo del presente estudio, evaluar el potencial antagonico de actinomicetos aislados de suelos de manglares en Tuxpan, Veracruz, México frente a aislados de hongos fitopatógenos del fruto de chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.) en postcosecha.

MATERIALES Y MÉTODOS

Asilamiento e identificación morfológica de aislados de *Fusarium* spp.

Se seleccionaron frutos de chayote (*S. edule*) con lesiones y síntomas de pudrición en la huerta localizada en la localidad de Cuautlapan (18°53'02.8" LN 97°00'59.3" LO). Del área de daño de los frutos de chayote por medio de la técnica punta de hifa (Agrios 2005) se inocularon placas de Petri con medio de cultivo Agar Papa Dextrosa (PDA, Difco 39 g L⁻¹) enriquecido con antibiótico Benzatina Bencilpenicilina (0.1 g L⁻¹), y se incubaron a 28°C por siete días. Para luego resembrar hasta obtener cultivos puros. Los frutos para las pruebas posteriores se colectaron en mercados de la ciudad en madurez comercial, libres de enfermedad y heridas, con tamaños y pesos uniformes. La identificación macroscópica del fitopatógeno *Fusarium* spp., se determinó mediante el color, esporulación y tipo de micelio de acuerdo con Summerell *et al.* (2003). Las características microscópicas como macroconidios, microconidios y clamidosporas de cada hongo se determinaron utilizando el microscopio Velab® con aumento de 40x, a través de las claves taxonómicas de Summerell *et al.* (2003).

Prueba de patogenicidad

Para la prueba de patogenicidad se siguió la metodología propuesta por Navarta *et al.* (2014). Los frutos de chayote se lavaron con agua corriente y posteriormente con una dilución de agua destilada y jabón comercial al 10% se enjuagaron. Para luego desinfectar con cloro comercial Cloralex® a concentración del 1%, enjuagándose con agua destilada estéril, dejándolos secar en la campana de flujo laminar Scorpion Scientific® a luz UV por 15 minutos, de forma similar se procedió con la desinfección de las cajas de polipropileno (cámaras húmedas).

Con un bisturí estéril, se realizaron tres heridas por cada chayote en forma de cruz de tres mm por tres mm y dos mm de profundidad, colocando sobre la herida un taquete de dos mm de inóculo del fitopatógeno *Fusarium*; de concentración 1.10⁶ conidio. mL⁻¹ se ajustó utilizando una cámara de Neubauer, se utilizó como control frutos de chayote rociados con agua destilada estéril. A los 5 días de almacenamiento, se midió el diámetro de lesión con un vernier digital.

Asilamiento e identificación morfológica de aislados de actinomicetos

Se colectaron 12 muestras de suelo, en cuadrantes de 25x25 cm en manglares ubicados en la comunidad de Tumilco del municipio de Tuxpan, Veracruz al norte del estado (20°55'54.5"LN 97°20'51.3" LO), al cuadrante de suelo en donde se tomó la muestra se le retiró previamente los restos de materia orgánica presentes en la superficie, para luego tomar muestras (1 kg) y depositarlas en bolsas con cierre hermético previamente etiquetadas y transportadas al Laboratorio de Biotecnología y Criobiología Vegetal de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana, Campus Orizaba.

En el laboratorio, las muestras se homogenizaron para obtener muestras compuestas. De estas se tomaron 25 g que fueron depositados en tubos Falcon® con 50 mL de agua destilada estéril (Daglio *et al.* 2005). Posteriormente, se tomaron alícuotas que se sembraron en zigzag sobre placas de Petri que contenían PDA (Difco 39 g. L⁻¹) con 5% de agua de mar y Benzatina Bencilpenicilina (0.1 g. L⁻¹); las cuales se incubaron a 37° C durante siete días. A partir de los estriados, las colonias se

aislaron mediante la técnica punta de hifa (Agris 2005) en medio de cultivo PDA se incubaron a 28° C por 7 días hasta obtener cultivos puros.

Para la identificación taxonómica de las cepas de actinomicetos, se evaluaron características como la pigmentación del micelio al reverso y centro de la colonia, forma, tamaño y forma de conidios a los 10 días de incubación. En ese momento, se tomó con un asa estéril una porción de hongo de los cultivos purificados, que se colocó sobre portaobjetos agregando una gota de agua destilada estéril y posteriormente un cubreobjetos para la observación en microscopio a 40X. La identificación macroscópica y microscópica de cada aislado se determinó mediante las claves taxonómicas descritas por Booth (1971), Gerlach y Nirenberg (1982), Nelson *et al.* (1994).

Antagonismo *in vitro* de actinomicetos vs. *Fusarium* spp.

Se colocó un disco de 0.5 cm de cada actinomiceto cultivado en la caja de Petri con PDA (Difco 39 g. L⁻¹) y antibiótico a un centímetro del borde las placas de Petri. En el centro de cada placa se situó un disco de 0.5 cm de *Fusarium* spp. proveniente de un cultivo de siete días en PDA.

Se establecieron dos grupos experimentales, en el primero, las cajas Petri se inocularon con una cepa de control de *Fusarium* spp., y el segundo grupo se inoculó con el fitopatógeno más el fungicida Captán al 50%. Se incubaron las placas durante 10 días a 28 °C y se determinó el porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PICR, %) del hongo, con la siguiente fórmula:

$$\text{PICR, \%} = \frac{(R_1 - R_2)}{R_1} \times 100$$

Donde: R₁ es el crecimiento radial del hongo fitopatógeno en la placa control, y R₂ es el crecimiento del hongo fitopatógeno en dirección hacia la colonia de actinomicetos (Azadeh *et al.* 2010). Se realizaron tres replicas (cajas de Petri) por aislamiento de actinomicetos y el experimento se repitió dos veces.

Compuestos orgánicos volátiles (COVs)

Para determinar el efecto de los compuestos volátiles producidos por el antagonista sobre el fitopatógeno, se tomaron cajas de Petri con medio PDA (Difco 39 g L⁻¹), y se utilizaron los conjuntos fondo-fondo, para ello sobre la placa inferior se colocó un disco con el fitopatógeno y en la placa superior un disco con los antagonistas que mejor desempeño tuvieron en la prueba de antagonismo. El conjunto se selló con kleen pack y se incubó a 28 °C por siete días. Como testigo se sembró un disco del patógeno en la base, pero sin el antagonista en la tapa. Se midió el diámetro mayor de las colonias de *Fusarium* spp., calculando el porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PICR) mediante la ecuación declarada anteriormente.

Para la comprensión del alcance del efecto antagonico mediante la producción de COVs se consideró la escala de clases de Bell *et al.* (1982) en sus cinco clases: 1) el antagonista ocupa completamente la superficie del medio de cultivo cubriendo totalmente al patógeno; 2) el antagonista llega a sobrepasar las dos terceras partes de la superficie del medio de cultivo; 3) el antagonista y el patógeno colonizan cada uno aproximadamente la mitad de la superficie del medio y ninguno parece dominar al otro; 4) el patógeno sobrepasa al crecimiento del antagonista colonizando tres cuartas partes de la caja Petri; y 5) el agente fitopatógeno llega a cubrir totalmente la caja Petri.

Diseño experimental y análisis estadístico

La prueba de patogenicidad se desarrolló mediante un diseño experimental completamente al azar, mientras que el resto de las variables se evaluaron mediante un diseño completamente al azar en arreglo factorial con tres repeticiones. Para el análisis estadístico se empleó el software Statistica v 12.0. Se comprobaron los supuestos de homocedasticidad y normalidad según los criterios de Bartlett (Bartlett 1937) y Kolmogorov-Smirnov (Massey 1951), respectivamente. Para la prueba de comparación de medias se consideró el criterio de Tukey a un nivel de confianza del 95%, mientras que para cada uno de los ANOVA se procedió respetando el modelo matemático del diseño experimental aleatorizado y aleatorizado en arreglo factorial, mismos que se declaran a continuación:

$$(1) Y_i = \mu + Fu_i + R$$

Dónde: Y_i = variable respuesta; μ = constante común a todas las observaciones; Fu_i = efecto del i -ésimo *Fusarium*; e_i = error aleatorio $\sim N(0, \sigma^2e)$

$$(2) Y_{ij} = \mu + CAC_i + CFu_j + (Ac \times Fu)_{ij} + e_{ij}$$

Dónde: Y_{ij} = variable respuesta; μ = constante común a todas las observaciones; CAC_i = efecto de la i -ésima cepa de actinomiceto; CFu_j = efecto de la j -ésima cepa *Fusarium*; $CAC \times CFu_{ij}$ = efecto de la i -ésima cepa de actinomiceto en la j -ésima cepa de *Fusarium*; e_{ij} = error aleatorio $\sim N(0, \sigma^2e)$.

RESULTADOS

Aislamiento y caracterización morfológica de actinomicetos

Se obtuvieron ocho aislamientos de actinomicetos provenientes de manglares de Tuxpan, Veracruz, México; los cuales mostraron diferencias en la morfología de la colonia, tipo de micelio de sustrato. El color del micelio transitó desde blanco, amarillo pálido, naranja pálido, marrón, con textura rugosa, plegada; asimismo las colonias se presentaron de forma irregular, circular y filamentosa, con bordes ondulados, lobulados, enteros y filamentosos, la elevación varió entre plana y convexa (Tabla 1). Las estructuras microscópicas presentaron diferencias con combinaciones entre micro conidios y conidios, micro conidios e hifas, conidios y micro conidios como estructuras independientes (Figura 1).

Aislamiento y caracterización morfológica de *Fusarium* spp.

Los aislados de *Fusarium* (FC1, FC2 y FC3) presentaron diferencias en el color de la colonia, categoría de esporulación y tipo de micelio (Tabla 2). En las estructuras microscópicas, los macroconidios fueron semicurvos, rectos y delgados, con 3 a 5 septos, mientras que los microconidios mostraron forma reniforme y fusiforme, formando de 0 a 1 septo (Figura 2).

Prueba de patogenicidad

La prueba de patogenicidad de los aislados de *Fusarium* spp. en frutos de *S. edule*, tuvo una incidencia del 100% de los hongos patógenos, observándose el inicio de la pudrición al segundo día posterior a la inoculación. Presentando desarrollo radial hasta los siete días de experimentación,

momento en el que se tomaron las mediciones de esta variable, en la cual se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.001$) entre los aislados, presentando el FC2 mayor crecimiento radial, el FC1 crecimiento radial intermedio y FC3 el crecimiento radial menor ($P \leq 0.001$) (Figura 3).

Tabla 1. Morfología colonial de actinomicetos aislados de suelo de manglar en Tuxpan, Veracruz, México.

Aislado	Vista Anverso	Vista Reverso	Tipo de Mecelio	Color de micelio	Textura	Forma	Elevación	Bordes
A1			Aéreo	Naranja pálido	Plegada	Filamentosa	Convexa	Filamentosos
A2			Aéreo	Naranja pálido	Plegada	Filamentosa	Convexa	Filamentosos
A3			Aéreo	Naranja pálido	Plegada	Filamentosa	Convexa	Filamentoso
A4			Aéreo	Blanco-anaranjado	Cremosa	Circular	Elevada	Entero
A5			Aéreo	Marrón oscuro	Lisa	Circular	Plana	Entero
A6			Sustrato	Marrón oscuro	Rugosa	Irregular	Plana	Lobulado
A7			Sustrato	Marrón oscuro	Lisa	Irregular	Plana	Ondulado
A8			Sustrato	Amarillo pálido	Rugosa	Irregular	Convexa	Ondulado

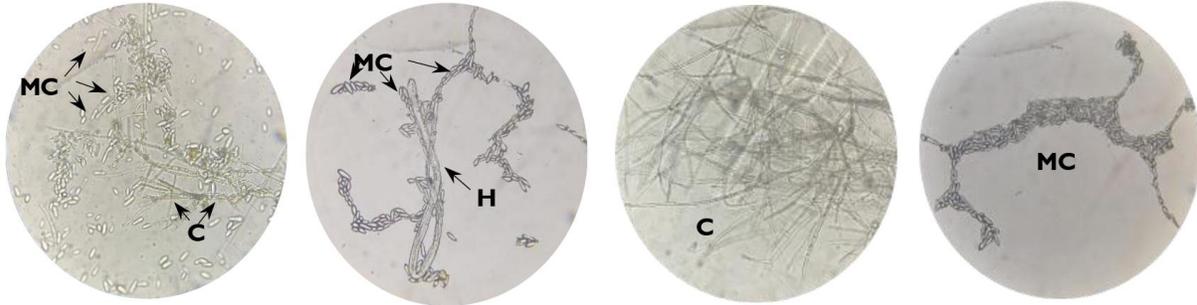


Figura 1. Características morfológicas de aislados de actinomicetos (40x). (H: Hifas, MC: Microconidios, C: Conidiosporas).

Tabla 2. Características morfológicas de colonias de *Fusarium* spp. aislados de frutos de *S. edule* (Jacq.) Swartz) obtenidos en la localidad de Cuautlapan, Ixtaczoquitlán, Veracruz, México.

Aislado	Vista Anverso	Vista Reverso	Color de colonia	Categoría de esporulación	Tipo de micelio
FC1			Naranja pálido con amarillo	+++	Micelio aéreo abundante, color blanco anaranjado, algodonoso y hialino
FC2			Amarillo pálido	++	Micelio aéreo amarillo, algodonoso, hialino y flocoso
FC3			Amarillo	++	Micelio aéreo algodonoso, amarillo claro, hialino y flocoso

Prueba de antagonismo

La prueba de antagonismo *in vitro* detectó diferencias significativas ($P \leq 0.001$) con respecto a los controles (absoluto y positivo (fungicida)) y entre cada aislado de *Actinomiceto* spp. con respecto a cada aislado de *Fusarium* spp. El aislado de actino A1 redujo de forma significativa ($P \leq 0.001$) el crecimiento radial del aislado de *Fusarium* spp. 3 en 38.14% con respecto al control positivo, mientras que el A2 respecto al control positivo redujo el crecimiento micelial de *Fusarium* spp. 2 en 29.3, y 34.90% en *Fusarium* spp. 3, respectivamente (Figura 4).

El efecto antagonista se observó nuevamente en el aislado A4 al reducir el crecimiento micelial de los aislamientos de *Fusarium* spp. 1 y 3 en 56.4 y 61.5%, en orden; y el aislado A5 en los mismos aislamientos de *Fusarium* spp. redujo el crecimiento micelial en 38.7 y 33.9%, respectivamente; al igual que el aislado A6 redujo el crecimiento micelial de *Fusarium* spp. 3 en 32.98%, lo cual los ubica con mayor potencial frente a estos patógenos para su uso como controles biológicos.

El crecimiento radial de *Fusarium* spp. 1 no fue limitado por el efecto antagonista de los aislados A1, A2, y A3, similar sucedió con los aislados A3, A4, A5, A6, A7 y A8 frente a *Fusarium* spp. 2.

Entre los promedios antes mencionados para crecimiento radial al interactuar antagonistas y patógenos no se observaron diferencias significativas ($P \geq 0.05$), pero sí de estos respecto a los controles del presente estudio ($P \leq 0.05$), de lo que se infiere que existen diferencias en la capacidad antagonista de cada aislado de actinomiceto en el que el patógeno tiene relevancia y define con su capacidad de patogenicidad (Figura 5).

Inhibición mediante compuestos volátiles

En este sentido, en el presente estudio la magnitud de las respuestas en la inhibición del crecimiento radial mediante la producción de compuestos volátiles varió entre 73 y 86.7% pero sin llegar a diferenciarse ($P \geq 0.005$) como se observa en la Tabla 3.

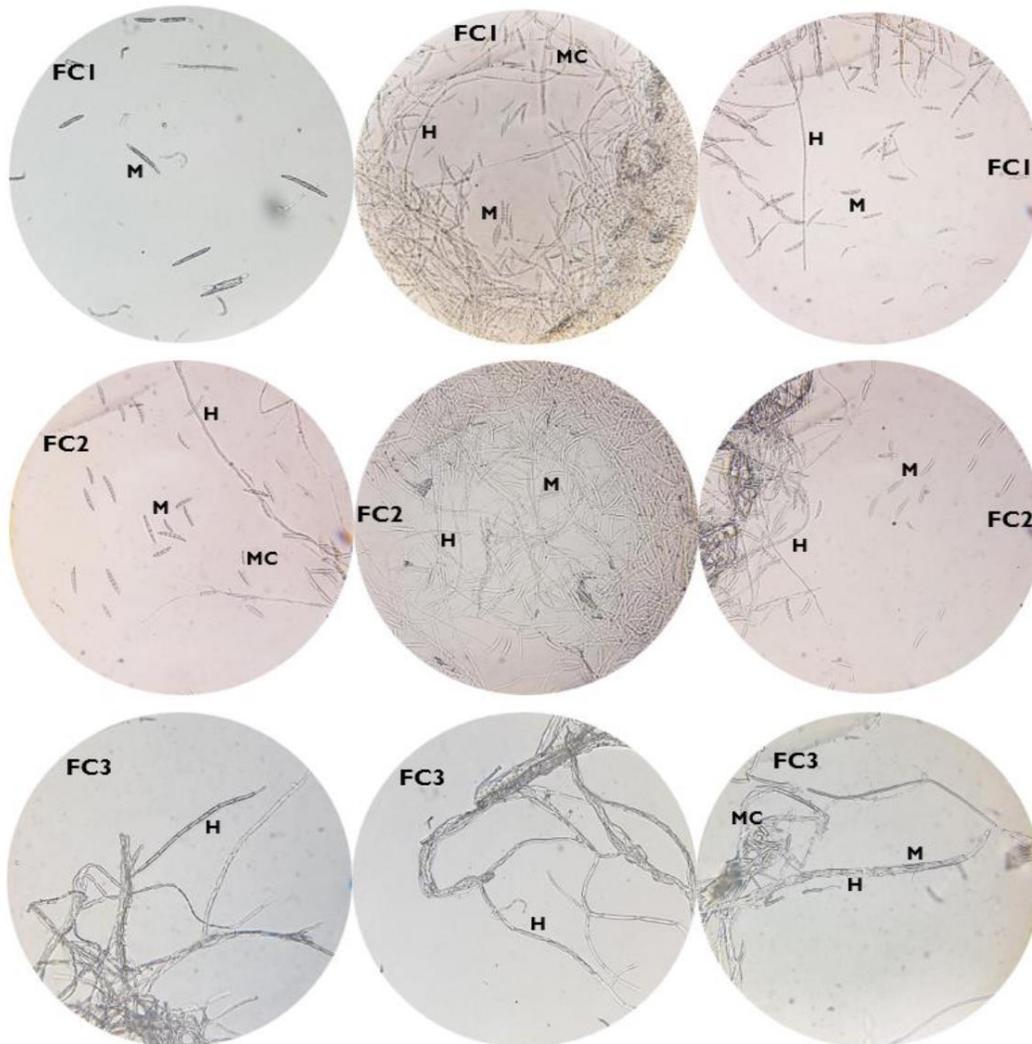


Figura 2. Características microscópicas de aislados de *Fusarium* spp. obtenido en frutos *S. edule* (Jacq.) Swartz) procedentes de la localidad de Cuautlapan, Ixtaczoquitlán, Veracruz, México. Microscopio óptico con objetivo 40x. (H: Hifas, M: Macroconidios, MC: Microconidios).

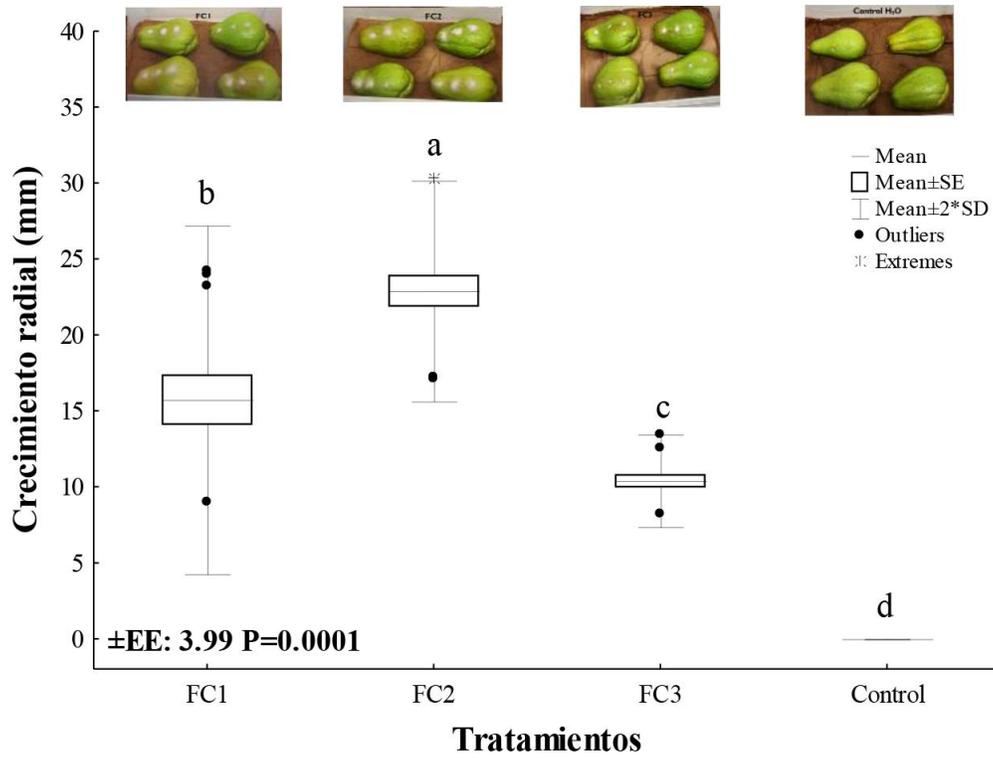


Figura 3. Crecimiento radial de patógenos en frutos de chayote.

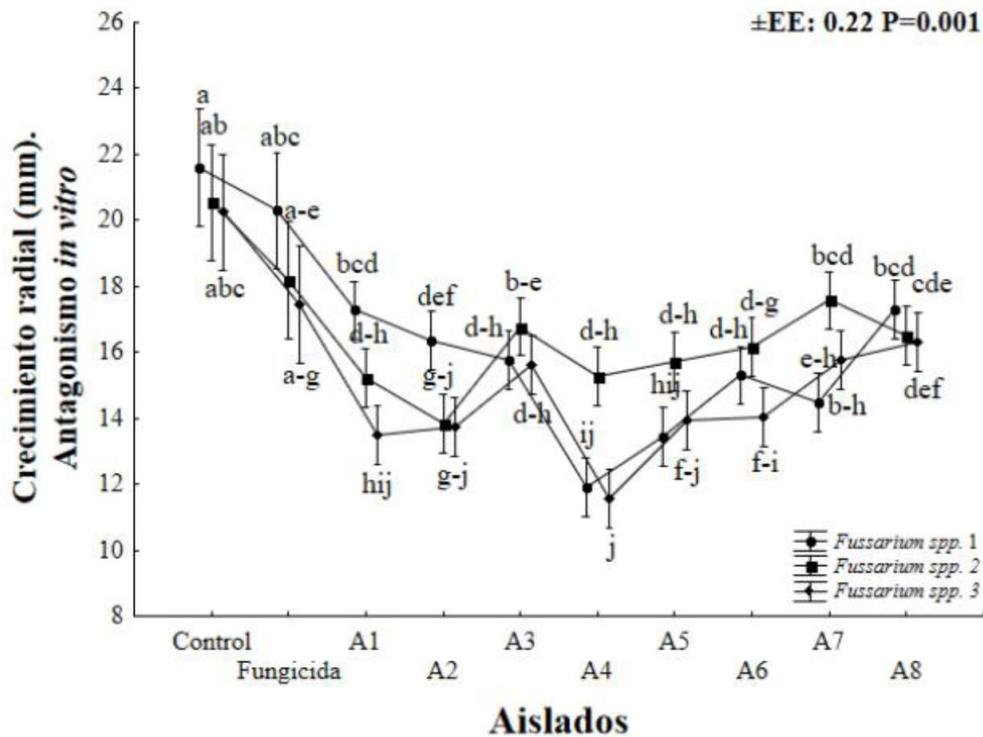


Figura 4. Crecimiento radial durante la prueba de antagonismo.

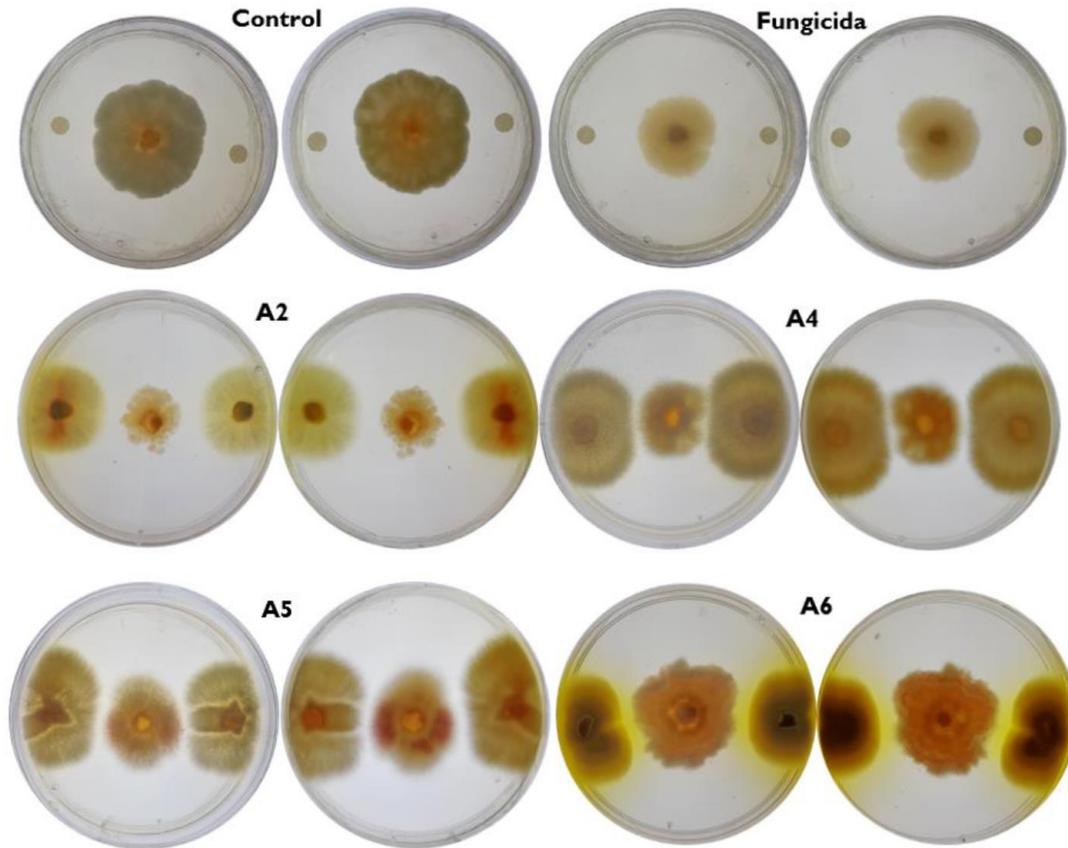


Figura 5. Crecimiento radial como criterio de antagonismo de Actinomicetos frente a *Fusarium* spp. en condiciones *in vitro*.

Tabla 3. Inhibición del crecimiento radial de Actinomicetos sobre *Fusarium* spp., mediante la producción de compuestos volátiles (COVs).

Tratamientos	<i>(Fusarium spp)</i>		
	Aislamiento 1	Aislamiento 2	Aislamiento 3
	Crecimiento radial (mm)		
Control	33.33 ± 2.77 ^a	36.34 ± 5.71 ^a	29.74 ± 1.39 ^a
Actinomiceto A2	11.52 ± 0.90 ^{bcd}	10.20±0.07 ^d	10.25 ± 0.92 ^d
Actinomiceto A6	9.80 ± 0.85 ^d	13.08 ± 0.25 ^{bcd}	16.10 ± 0.01 ^b
Actinomiceto A8	11.50 ± 0.42 ^{bcd}	15.25 ± 0.42 ^{bc}	10.75 ± 0.21 ^{cd}
±EE		0.10	
P		0.01	

^{a,b,c,d} Al menos con un superíndice en común no difieren significativamente según Tukey para $P \leq 0.05$. La significación se alcanzó mediante la transformación \sqrt{x} ; ±EE: Error estándar.

Se observó una interacción en el efecto de los actinos con los patógenos para la reducción del crecimiento radial mediante compuestos volátiles. En las combinaciones A6-F1, A2-F2, y A2-F3 el antagonista llegó a sobrepasar las dos terceras partes de la superficie del medio de cultivo, con lo cual lograron reducir entre 25-34% el crecimiento radial mediante la producción de compuestos volátiles, mientras que en los tratamientos A6-F3 y A8-F3, el patógeno sobrepasa al crecimiento del

antagonista colonizando tres cuartas partes de la caja Petri diferenciándose significativamente ($P \leq 0.05$).

DISCUSIÓN

Aislamiento y características morfológicas de actinomicetos

Las características morfológicas de los actinomicetos descritos coinciden con las reportadas por Hazarika y Thakur (2020) los que señalaron dentro del género el tipo de pigmentación variada entre las que se encuentran amarillo pálido y blanco-amarillo; también se han reportado colonias de color rojo, violeta, salmón y amarillo (Duarte *et al.* 2016); naranja pálido y amarillo (García-Ramírez *et al.* 2023); amarillo pálido y salmón (Montecinos-Pedro *et al.* 2021). La presencia de pigmentos difusibles no es restrictiva para el género actino si no que se extiende a todos los microorganismos. La intensidad, tono y coloración de los pigmentos difusibles a menudo se relacionan con el tipo de hábitat en los que se puede llegar a encontrar los microorganismos y/o susceptible de variación en función de la composición del medio de cultivo (Parada *et al.* 2017), generalmente la presencia de estos pigmentos es indicador de la actividad metabólica y pueden utilizarse en la industria alimentaria, textil, farmacéutica, entre otras (Venil *et al.* 2013, Pérez-Corral *et al.* 2022), lo que amplía el espectro de uso de los actinos. Mientras que la presencia de estructuras reproductoras (microconidios y macroconidios) pueden o no estar presentes (Murugan *et al.* 2020), y su morfología variar en todo el *Phylum* (Hazarika y Thakur 2020). En el presente estudio los hallazgos coincidieron con los reportados por Torres-Rodríguez *et al.* (2022) en aislados de manglares en ecosistemas de La Paz, Baja California Sur, México.

Asilamiento, caracterización morfológica y patogenicidad de cepas de *Fusarium* spp.

Con la morfología se confirmó el género del patógeno (Summerell *et al.* 2003), coincidiendo las descripciones morfológicas a las reportadas por Desvani *et al.* (2018), y Al-Fadhil *et al.* (2019). Mientras que la coloración de la colonia coincide con lo observado por Summerell *et al.* (2003) quienes señalan dentro de los pigmentos difusibles tonos naranja y amarillo claro (Summerell *et al.* 2003, Okungbowa y Shittu 2012), siendo estas las más comunes entre las diferentes especies de *Fusarium* (Okungbowa y Shittu 2012). La variabilidad en el crecimiento radial, está vinculado con la patogenicidad y con las características patógenas que caracterizan al género (Leslie y Brett 2013), y las diferencias entre especies que incluyen la velocidad de crecimiento, virulencia, naturaleza del parasitismo y sensibilidad de las especies de plantas a estos hongos patógenos (Urban *et al.* 2013, Desvani *et al.* 2018, Murugan *et al.* 2020).

En este sentido, se ha descrito en frutos de *S. edule* diferencias sustantivas en la aparición de lesiones en condiciones de campo respecto a condiciones de almacenamiento (Juárez-Merlín *et al.* 2007). Para la reducción de vida en anaquel coexisten condiciones que favorecen el desarrollo de procesos de infección latentes de *Fusarium* spp. Por un lado, están las condiciones de almacenamiento y de humedad-temperatura, mientras que, por otro, se encuentran las características de los frutos constituidas por un alto contenido de humedad y tasa de transpiración (Arief *et al.* 2021); que, en conjunto con el tipo de envase, crean las condiciones ideales para el desarrollo y proliferación de

infestaciones por *Fusarium* spp. que se generaliza durante la manipulación en el proceso de empaque (Cadena-Iñiguez *et al.* 2006).

Antagonismo *in vitro* de actinomicetos frente a *Fusarium* spp.

Las pruebas de antagonismo de actinomicetos frente a *Fusarium* spp. reportadas por Torres-Rodríguez *et al.* (2022) en 30 aislamientos de actinos, encontraron que cuatro aislados mostraron halos de inhibición del 70%, lo cual puede estar predispuesto por factores como capacidad de los actinos de producir de manera diversificada metabolitos secundarios del tipo antibiótico, como las enzimas hidrolíticas y actinomicinas con la capacidad de inhibir el crecimiento de patógenos (Chen *et al.* 2020). También se relacionan otras moléculas mediante las cuáles ejercen su antagonismo como, enzimas del tipo quitinasas (Singh y Gaur 2016), moléculas antimicrobianas (Shan *et al.* 2018, Rahila *et al.* 2023), metabolitos secundarios (Walaa y Ahmed 2020), capacidad para la competencia por nutrientes, parasitismo por actividad enzimática (Hazarika *et al.* 2022) y producción de compuestos volátiles (Di-Francesco *et al.* 2015, Lyu *et al.* 2020, Gong *et al.* 2022). Los mecanismos antes mencionados pudieron mediar en el presente estudio para reducir el crecimiento micelial. Al respecto Meena *et al.* (2020), reportaron mediante el uso de *Streptomyces* valores de reducción del crecimiento micelial en *Rhizoctonia bataticola* del 65.3%, similares a los reportados por Uba *et al.* (2019), también en *Streptomyces* se reporta por Boukelloul *et al.* (2023) la inhibición del crecimiento de *Penicillium digitatum*, *Aspergillus niger* y *F. solani* en un 92, 73 y 72%, respectivamente, ante lo cual, en la similitud de las respuestas obtenidas en el presente estudio, se puede considerar a los aislados de actinos como promisorios para su uso como agentes de control biológico frente *Fusarium* spp.

Inhibición por COVs

Mediante la escala de Bell *et al.* (1982) se confirmó la capacidad de los aislados para limitar el desarrollo radial de los patógenos de *S. edulek* mediante la producción de COVs. Este mecanismo de los actinos se ha reportado por autores como Liu *et al.* (2013), Di-Francesco *et al.* (2015), Lyu *et al.* (2020), frente a patógenos como *Aspergillus ochraceus* (Yang *et al.* 2018), *Colletotrichum acutatum* (Jepsen *et al.* 2022) y *Fusarium* spp. (Hazarika *et al.* 2022, Ruiz-Cisneros *et al.* 2024). Frente a *Fusarium* spp. estudios con *Streptomyces* demostraron la reducción del desarrollo micelial en un 20% (Ayed *et al.* 2021), proporción inferior a la obtenida en el presente estudio, sin embargo, otros estudios reportan reducciones promovidas por *Streptomyces* de hasta 77% del crecimiento micelial frente a *C. acutatum* (Jepsen *et al.* 2022).

La capacidad de actinos para producir compuestos volátiles radica en la eficacia de producción de compuestos volátiles. Al utilizar a *Streptomyces yanglinensis* 3-10 como modelo de referencia entre actinobacterias frente a *Aspergillus flavus* y *A. parasiticus*, se identificó su capacidad para producir cerca de treinta COVs. Este hallazgo es gran importancia, ya que, aunque se han logrado identificar los COVs, aún no se conoce con precisión si actúan de manera conjunta o individual (Toffano *et al.* 2017). Desde esta perspectiva, también se debería considerar otros tipos de interacciones entre los COVs, como lo constituye el antagonismo y sinergismo.

Los mecanismos directos por los cuales actúan los COVs sobre los patógenos no se han esclarecido. Pero se sabe que hay varios factores que influyen, entre ellos el tipo de aislamiento, la etapa de

crecimiento del organismo, la disponibilidad de nutrientes en el medio, la temperatura y el pH (Di-Francesco *et al.* 2015). Estos aspectos son importantes al evaluar aislados de diferentes ecosistemas.

CONCLUSIONES

Los aislamientos de actinos provenientes de suelos de manglares actúan como antagónicos directos mediante la producción de compuestos volátiles frente a cepas de *Fusarium* spp. que afectan al fruto del chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.) en postcosecha. Se obtuvieron ocho aislamientos que, en función de la variabilidad morfológica del micelio y estructuras anexas, podrían tener un amplio rango de aplicaciones biotecnológicas para el desarrollo de soluciones sustentables en la agricultura y otros sectores.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

LITERATURA CITADA

- Abbas E, Osman A, Sitohy M (2020) Biochemical control of *Alternaria tenuissima* infecting post-harvest fig fruit by chickpea vicilin. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 100(7). <https://doi.org/10.1002/jsfa.10314>
- Al-Fadhil FA, AL-Abedy AN, Alkhafije DA (2019) Isolation and molecular identification of *Rhizoctonia solani* and *Fusarium solani* isolated from cucumber (*Cucumis sativus* L.) and their control feasibility by *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis*. *Egyptian Journal of Biological Pest Control* 29(1): 47. <https://doi.org/10.1186/s41938-019-0145-5>
- Agrios GN (2005) *Plant pathology*. 5th edition. Editorial Elsevier Inc. Burlington, MA, USA. 134p.
- Aguirre-Medina JF, Cadena-Iñiguez J, Olguín-Hernández G, Aguirre-Cadena JF, Andrade-Luna MI (2021) Co-inoculation of *Sechium edule* (Jacq.) sw. plants with rhizophagus intraradices and *Azospirillum brasilense* to reduce *Phytophthora capsici* damage. *Agriculture* 11(5). <https://doi.org/10.3390/agriculture11050391>
- Alvarado A, Sáenz MV, Valverde E (1989) Evaluación de tratamientos poscosecha para la preservación de los frutos de chayote (*Sechium edule*). *Agronomía Costarricense* 13(1): 35-43.
- Aras MV, Duraipandiyar V, Ignacimuthu S (2013) Antibacterial and antifungal activities of polyketide metabolite from marine *Streptomyces* sp. AP-123 and its cytotoxic effect. *Chemosphere* 90(2): 479-487. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.08.006>
- Arasu MV, Duraipandiyar V, Ignacimuthu S (2013) Antibacterial and antifungal activities of polyketide metabolite from marine *Streptomyces* sp. AP-123 and its cytotoxic effect. *Chemosphere* 90(2): 479-487. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.08.006>
- Arief RW, Soraya Tambunan RD, Asnawi R, Abdullah N (2021) Diversify the processing of chayote (*Sechium edule*) into dodol to increase its added value. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 807(3). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/807/3/032048>

- Ayed A, Kalai-Grami L, Ben Slimene I, Chaouachi M, Mankai H, karkouch I, Djebali N, Elkahoui, S, Tabbene O, Limam F (2021) Antifungal activity of volatile organic compounds from *Streptomyces* sp. strain S97 against *Botrytis cinerea*. *Biocontrol Science and Technology* 31(12). <https://doi.org/10.1080/09583157.2021.1947982>
- Azadeh BF, Sariah M, Wong MY (2010) Characterization of *Burkholderia cepacia* genomovar as a potential biocontrol agent of *Ganoderma boninense* in oil palm. *African Journal of Biotechnology* 9(24): 3542-3548.
- Bartlett MS (1937) Properties of sufficiency and statistical test. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A-Mathematical and Physical Sciences* 160(901): 268-282.
- Bell DK, Wells HD, Markham CR (1982) *In vitro* antagonism of *Trichoderma* species against six fungal plant pathogens. *Phytopathology* 72(4): 379. <https://doi.org/10.1094/Phyto-72-379>
- Booth C (1971) The genus *Fusarium*. Commonwealth Mycological Institute, Kew. https://books.google.com.mx/books/about/The_Genus_Fusarium.html?id=bTwlAQAAAMAJ&redir_esc=y. Fecha de consulta: 10 de marzo de 2024.
- Boukelloul I, Aouar L, Chekara Bouziani M, Zellagui A, Derdour M, Necib Y (2023) Antagonism and plant growth promoting traits of actinomycetes isolated from the rhizosphere of halophyte *Atriplex halimus* L. *Notulae Scientia Biologicae* 15(1). <https://doi.org/10.55779/nsb15111437>
- Cadena-Iñiguez J, Arévalo-Galarza L, Ruiz-Posadas LM, Aguirre-Medina JF, Soto-Hernández M, Luna-Cavazos M, Zavaleta-Mancera HA (2006) Quality evaluation and influence of 1-MCP on *Sechium edule* (Jacq.) Sw. fruit during postharvest. *Postharvest Biology and Technology* 40(2): 42-53. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.12.013>
- Cadena-Iñiguez J, Arévalo-Galarza M de L (2010) El Chayote. En: Grupo Interdisciplinario de Investigación en *Sechium edule* en México, A.C. México. 1: 1-20. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/231857/El_chayote_volumen_1.pdf. Fecha de consulta: 20 de enero de 2024.
- Daglio G, Sterren M, Benintende S (2005) Almacenamiento de muestras de suelo: Incidencia sobre la cuantificación de biomasa microbiana. *Agriscientia* 22(2). <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v22.n2.2681>
- Desvani SD, Lestari IB, Wibowo HR, Supyani Poromarto SH, Hadiwiyono (2018) Morphological characteristics and virulence of *Rhizoctonia solani* isolates collected from some rice production areas in some districts of *Central Java*. *Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture* 14(1): 020068. <https://doi.org/10.1063/1.5054472>
- Di-Francesco A, Roberti R, Martini C, Baraldi E, Mari M (2015) Activities of *Aureobasidium pullulans* cell filtrates against *Monilinia laxa* of peaches. *Microbiological Research* 181: 61-67. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.09.003>
- Droby S, Wisniewski M, Macarisin D, Wilson C (2009) Twenty years of postharvest biocontrol research: Is it time for a new paradigm? *Postharvest Biology and Technology* 52(2): 137-145. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.11.009>
- Duarte Y, Echevarría A, Martínez B (2016) Identificación y caracterización de aislamientos de *Fusarium* spp. presentes en garbanzo (*Cicer arietinum* L.) en Cuba. *Revista de Protección Vegetal* 31(3): 173-183.
- FAO (2019) Código internacional de conducta para el uso y manejo de fertilizantes. In: da-Silva JD (ed) FAO. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00109-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00109-2).
- García-Ramírez E, Contreras-Oliva A, Salinas-Ruiz J, Hernández-Ramírez G, Spinoso-Castillo JL, Colmenares Cuevas SI (2023) Plant extracts control *In Vitro* growth of disease-causing fungi in chayote. *Plants* 12(9): 1800. <https://doi.org/10.3390/plants12091800>

- Gerlach W, Nirenberg HI (1982) The genus *Fusarium*-a pictorial atlas. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt Land Forstwirtschaft. Berlín, Germany. 300p. <http://www.bba.de/veroeff/mitt/pdfs/mitt209.pdf>. Fecha de consulta: 20 de marzo de 2024.
- Gong Y, Liu JQ, Xu MJ, Zhang CM, Gao J, Li CG, Xing K, Qin S (2022) Antifungal volatile organic compounds from *Streptomyces setonii* WY228 control black spot disease of sweet potato. Applied and Environmental Microbiology 88: e02317-21. <https://doi.org/10.1128/aem.02317-21>
- Hassan SS ul, Shaikh AL (2017) Marine actinobacteria as a drug treasure house. Biomedicine and Pharmacotherapy 87: 46-57. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2016.12.086>
- Hazarika SN, Saikia K, Thakur D (2022) Characterization and selection of endophytic actinobacteria for growth and disease management of Tea (*Camellia sinensis* L.). Frontiers in Plant Science 13: 989794. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.989794>
- Hazarika SN, Thakur D (2020) Actinobacteria. In: Amaran N, Senthil N, Kumar K, Annapurna K, Kumar A, Sankaranarayanan (eds) Beneficial microbes in agro-wcology. Academic Press. Norfolk, UK. pp. 443-476. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823414-3.00021-6>
- Imada C (2005) Enzyme inhibitors and other bioactive compounds from marine actinomycetes. Antonie van Leeuwenhoek, International Journal of General and Molecular Microbiology 87(1): 59-63. <https://doi.org/10.1007/s10482-004-6544-x>
- Jepsen T, Jensen B, Jørgensen NOG (2022) Volatiles produced by *Streptomyces* spp. delay rot in apples caused by *Colletotrichum acutatum*. Current Research in Microbial Sciences 3. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2022.100121>
- Juárez-Merlín K, Acosta-Ramos M, Cadena-Iñiguez J, Avendaño-Arrazate C, Arévalo-Galarza Ma. de L, Vázquez-Hernández M (2007) Identification of postharvest chayote (*Sechium edule*) diseases in México. Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture 51: 217-224.
- Kanini GS, Katsifas EA, Savvides AL, Karagouni AD (2013) *Streptomyces rochei* ACTA1551, an indigenous greek isolate studied as a potential biocontrol agent against *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*. BioMed Research International 2013: 1-10. <https://doi.org/10.1155/2013/387230>
- Leslie JF, Brett AS (2013) An overview of *Fusarium*. In: Brown DB, Proctor RH (eds) *Fusarium*. Genomics, Molecular and Cellular Biology. Caister Academic Press. Norfolk, UK. <http://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/5375/1/323.pdf#page=10>. Fecha de consulta: 3 de mayo de 2024
- Liu J, Sui Y, Wisniewski M, Droby S, Liu Y (2013) Review: Utilization of antagonistic yeasts to manage postharvest fungal diseases of fruit. International Journal of Food Microbiology 167(2): 153-160. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.09.004>
- Lyu A, Yang L, Wu M, Zhang J, Li G (2020) High efficacy of the volatile organic compounds of *Streptomyces yanglinensis* 3-10 in suppression of Aspergillus contamination on Peanut Kernels. Frontiers in Microbiology 11: 142. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00142>
- Massey FJ (1951) The Kolmogorov-Smirnov test for goodness of fit. Journal of the American Statistical Association 46(253): 68-78. <https://doi.org/10.1080/01621459.1951.10500769>
- Meena R, Kumar S, Datta R, Lal R, Vijayakumar V, Brtnicky M, Sharma M, Yadav G, Jhariya M, Jangir C, Pathan S, Dokulilova T, Pecina V, Marfo T (2020) Impact of agrochemicals on soil microbiota and Management: A Review. Land 9(2): 34. <https://doi.org/10.3390/land9020034>
- Montecinos-Pedro LA, Arévalo-Galarza ML, García-Osorio C, Cadena-Iñiguez J (2021) Package type and cold storage of chayote fruits (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.) var. *Virens levis*. Acta Horticulturae 1340: 197-204. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1340.31>
- Montecinos-Pedro LA, Ayala-Escobar V, Arévalo-Galarza ML, Cadena-Iñiguez J, Leyva-Madrigal KY, Mora-Romero GA, Tovar-Pedraza JM (2023) First Report of *Fusarium citri* causing postharvest fruit rot of chayote in Mexico. Plant Disease 107(7): 2226. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-22-1554-PDN>

- Murugan L, Krishnan N, Venkataravanappa V, Saha S, Mishra A K, Sharma BK, Rai AB (2020) Molecular characterization and race identification of *Fusarium oxysporum* f. sp. lycopersici infecting tomato in India. *3 Biotech* 10(11): 1-12. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02475-z>
- Navarta LG, Calvo J, Posetto P, Cerutti S, Raba J, Benuzzi D, Sanz MI (2014) Postharvest control of gray mold in apples with lyophilized formulations of *Cryptococcus laurentii*: The effect of cold stress in the survival and effectiveness of the yeast. *Food and Bioprocess Technology* 7(10): 2962-2968. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1303-0>
- Nelson PE, Dignani MC, Anaissie EJ (1994) Taxonomy, biology, and clinical aspects of *Fusarium* species. *Clinical Microbiology Reviews* 7(4): 479-504. <https://doi.org/10.1128/CMR.7.4.479>
- Okungbowa FI, Shittu HO (2012) *Fusarium* wilts: An overview. *Environmental Research Journal* 6(2): 84-102.
- Parada RB, Marguet ER, Vallejo M (2017) Aislamiento y caracterización parcial de actinomicetos de suelos con actividad antimicrobiana contra bacterias multidrogo-resistentes. *Revista Colombiana Biotecnología* 19(2): 15-23. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v19n2.64098>
- Pérez-Corral DA, de Jesús Ornelas-Paz J, Olivas-Orozco GI, Acosta-Muñiz CH, Salas-Marina MÁ, Berlanga-Reyes DI, Ruiz-Cisneros MF, Rios-Velasco C (2022) Molecular, morphological and biochemical characterization of actinomycetes and their antagonistic activity against phytopathogenic fungi. *Revista Fitotecnia Mexicana* 45(1): 103-105. <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.1.103>
- Rahila R, Harish S, Kalpana K, Anand G, Arulsamy M, Kalaivanan R (2023) Antifungal metabolites of *Streptomyces chrestomyces* STR-2 inhibits *Magnaporthe oryzae*, the incitant of rice blast. *Current Microbiology* 80(4): 107. <https://doi.org/10.1007/s00284-023-03205-3>
- Rivas-García T, Murillo-Amador B, Preciado-Rangel P, Ávila-Quezada G D, Hernandez-Montiel, LG, Reyes-Pérez JJ, Chiquito-Contreras RG, Lara-Capistran L (2022) *Debaryomyces hansenii*, *Stenotrophomonas rhizophila*, and ulvan as biocontrol agents of fruit rot disease in muskmelon (*Cucumis melo* L.). *Plants* 11(2): 184. <https://doi.org/10.3390/plants11020184>
- Romero-Velazquez SD, Tlapal-Bolaños B, Cadena-Iñiguez J, Nieto-Ángel D, Arévalo-Galarza M de L (2015) Hongos causantes de enfermedades postcosecha en chayote (*Sechium edule* (Jacq.) SW.) y su control *in vitro*. *Agronomía Costarricense* 39(2): 19-32 <https://doi.org/10.15517/rac.v39i2.21769>
- Ruiz-Cisneros MF, Ornelas-Paz J de J, Pérez-Corral DA, Olivas-Orozco GI, Berlanga-Reyes DI, Cambero-Campos OJ, Estrada-Virgen MO, Ordaz-Silva S, Salas-Marina M Á, Rios-Velasco C (2024) *Streptomyces* strains inhibit the growth of *Fusarium kuroshium* and *Fusarium solani* and promote the growth of *Arabidopsis thaliana*. *Biocontrol Science and Technology* 34(5): 469-498. <https://doi.org/10.1080/09583157.2024.2351825>
- Shan W, Zhou Y, Liu H, Yu X (2018) Endophytic actinomycetes from tea plants (*Camellia sinensis*): Isolation, abundance, antimicrobial, and plant-growth-promoting activities. *BioMed Research International* 2018: 1-12. <https://doi.org/10.1155/2018/1470305>
- SIAP (2022) Estadística de producción agrícola. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>. Fecha de consulta: 10 de julio de 2024.
- Singh SP, Gaur R (2016) Evaluation of antagonistic and plant growth promoting activities of chitinolytic endophytic actinomycetes associated with medicinal plants against *Sclerotium rolfsii* in chickpea. *Journal of Applied Microbiology* 121(2): 506-518. <https://doi.org/10.1111/jam.13176>
- Suárez-Moreno ZR, Vinchira-Villarraga DM, Vergara-Morales D, Castellanos L, Ramos FA, Guarnaccia C, Degrassi G, Venturi V, Moreno-Sarmiento N (2019) Plant-growth promotion and biocontrol properties of three *Streptomyces* spp. isolates to control bacterial rice pathogens. *Frontiers in Microbiology* 10(FEB). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00290>
- Summerell BA, Salleh B, Leslie JF (2003) A utilitarian approach to *Fusarium* identification. *Plant Disease* 87(2): 117-128. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2003.87.2.117>

- Toffano L, Fialho MB, Pascholati SF (2017) Potential of fumigation of orange fruits with volatile organic compounds produced by *Saccharomyces cerevisiae* to control citrus black spot disease at postharvest. *Biological Control* 108: 77-82. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.02.009>
- Torres-Rodriguez JA, Reyes-Pérez JJ, Castellanos T, Angulo C, Quiñones-Aguilar EE, Hernandez-Montiel LG (2022) Identification and morphological characterization of marine actinomycetes as biocontrol agents of *Fusarium solani* in tomato. *Revista de La Facultad de Agronomía* 39(1): e223915. [https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v39.n1.15](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v39.n1.15)
- Uba BO, Okoye EL, Anyaeji OJ, Ogbonnaya OC (2019) Antagonistic potentials of actinomycetes isolated from coastal area of niger delta against *Citrus sinensis* (sweet orange) and *Lycopersicon esculentum* (tomato) fungal pathogens. *Research & Reviews: A Journal of Biotechnology* 9(1): 4-15.
- Urban M, Kim E, Hammond-Kosack E (2013) Molecular genetics and genomic approaches to explore *Fusarium* infection of wheat floral tissue. In Brown DE, Proctor RH (Eds) *Fusarium. Genomics, molecular and cellular biology*. Caister Academic Press. Norfolk, UK. pp. 43-79.
- Venil CK, Zakaria ZA, Ahmad WA (2013) Bacterial pigments and their applications. *Process Biochemistry* 48(7): 1065-1079. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2013.06.006>
- Walaa Isaa G, Ahmed Abd B (2020) Identification of antibiotic producing Actinomycetes isolated from sediment in Basra, Iraq. *International Journal of Pharma and Bio Sciences* 11(3): b92-98. <https://doi.org/10.22376/ijpbs.2020.11.3.b92-98>
- Wang Q, Mao Y, Li S, Li T, Wang J, Zhou M, Duan Y (2022) Molecular mechanism of *Sclerotinia sclerotiorum* Resistance to succinate dehydrogenase inhibitor fungicides. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 70(23): 7039-7048. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c02056>
- Yang M, Huang C, Xue Y, Li S, Lu L, Wang C (2018) Biofumigation with volatile organic compounds from *Streptomyces alboflavus* TD-1 and pure chemicals to control *Aspergillus ochraceus*. *Annals of Applied Biology* 173(3): 313-322. <https://doi.org/10.1111/aab.12465>