

Actinomicetos antagonistas a *Colletotrichum* sp. Penz. en el cultivo de mango en Nayarit, México

Antagonistic actinomycetes to *Colletotrichum* sp. Penz in the mango cultivation in Nayarit, Mexico

Yulia Maribel Mendoza-Herrera²,
Claudio Rios-Velasco³ ,
Jhonathan Cambero-Campos^{1,2} ,
Ndahita De dios-Ávila¹ ,
Daniel Alonso Pérez-Corral³,
Raúl Rodríguez-Guerra⁴ ,
Mario Orlando Estrada-Virgen^{1,2*} 

¹Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias. Universidad Autónoma de Nayarit. Carretera Tepic-Compostela Km. 9. CP. 63155. Xalisco, Nayarit, México.

²Unidad Académica de Agricultura, Universidad Autónoma de Nayarit, Carretera Tepic-Compostela Km. 9. CP. 63155. Xalisco, Nayarit, México.

³Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Unidad Cuauhtémoc, Av. Río Concho s/n Parque Industrial Ciudad Cuauhtémoc, CP. 31570. Chihuahua, México.

⁴Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental General Terán, Km. 31 Carretera Montemorelos-China, CP. 67400. General Terán, Nuevo León, México.

*Autor de correspondencia:
estra0288@gmail.com

Nota científica

Recibida: 18 de septiembre de 2019
Aceptada: 04 de junio de 2020

Como citar: Mendoza-Herrera YM, Rios-Velasco C, Cambero-Campos J, De dios-Ávila N, Pérez-Corral DA, Rodríguez-Guerra R, Estrada-Virgen MO (2020) Actinomicetos antagonistas a *Colletotrichum* sp. Penz. en el cultivo de mango en Nayarit, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 7(2): e2420. DOI: 10.19136/era.a7n2.2420

RESUMEN. El cultivo de mango (*Mangifera indica*) es susceptible al ataque de fitopatógenos, entre los que destacan hongos que dañan el fruto, que son controlados con fungicidas sintéticos. Una alternativa para revertir los daños ecológicos causados por estas sustancias químicas es el control biológico con microorganismos antagonistas. El objetivo del presente estudio fue aislar actinomicetos nativos en huertos de mango del estado de Nayarit, México, con actividad antagónica a *Colletotrichum* sp. Los actinomicetos se aislaron de muestras de suelo cercano a la rizosfera de árboles de mango del municipio de Santiago Ixcuintla, Nayarit. Se obtuvieron 112 aislados, de los cuales 25 presentaron actividad antagónica *in vitro* contra el *Colletotrichum* sp. La identificación molecular mostró diversidad de aislados de actinomicetos y la capacidad antagónica manifestada contra *Colletotrichum* sp., indica que tienen el potencial para ser evaluados *in vitro* e *in vivo* contra diferentes fitopatógenos del mango.

Palabras clave: Biocontrol, hongos fitopatógenos, inhibición, *Mangifera indica*, *Streptomyces*.

ABSTRACT. The mango crop (*Mangifera indica*) is susceptible to the attack of plant pathogens including fungi that damage the fruit, which is controlled with synthetic fungicides. An alternative to reverse the ecological damage caused by these chemicals is the biological control with antagonistic microorganisms. The objective of this study was to isolate native actinomycetes in mango orchards of the state of Nayarit, Mexico, with antagonistic activity to *Colletotrichum* sp. Actinomycetes were isolated from soil samples near the rhizosphere of mango trees of Santiago Ixcuintla, Nayarit. We obtained 112 isolates, presenting 25 isolates *in vitro* antagonistic activity against *Colletotrichum* sp. Molecular identification showed the diversity of actinomycete isolates and the antagonistic capacity against *Colletotrichum* sp., indicates that they have the potential to be evaluated *in vitro* and *in vivo* against different mango phytopathogens.

Key words: Biocontrol, phytopathogenic fungi, Inhibition, *Mangifera indica*, *Streptomyces*.

INTRODUCCIÓN

El mango (*Mangifera indica* L.) es uno de los principales cultivos perennes en México, considerado el tercer productor a nivel mundial, con una superficie cultivada de 202 631 ha; de las cuales la mayor producción se exporta a los Estados Unidos de América, Canadá y Japón (SIAP 2018). En el estado de Nayarit, su producción está limitada por problemas fitosanitarios, especialmente por la mosca de la fruta (*Anastrepha* spp.), escama blanca del mango (*Aulacaspis tubercularis*), cochinilla rosada del hibisco (*Maconellicoccus hirsutus*), fumagina (*Capnodium mangiferae*) y antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) (Isiordia et al. 2011). Siendo la antracnosis, la principal enfermedad fungosa a nivel mundial, causando pérdidas económicas en pre y postcosecha, principalmente en regiones con temperaturas y humedad relativa elevada (Prusky et al. 2000).

En México, se tiene registrada en todas las regiones productoras de mango la incidencia de antracnosis en la floración, fructificación y postcosecha, con pérdidas de entre el 30 y 60% (Allende et al. 2001). La enfermedad causa daños en hojas, flores y frutos, lo que ocasiona pérdidas importantes, dado que el inóculo infectivo se encuentra presente todo el año (Benítez et al. 2003). Los daños más severos los causa en fruto, especialmente, si la infección ocurre en la etapa inicial del desarrollo, ocasionando manchas oscuras y aborto de frutos pequeños, lo que reduce la calidad y rendimiento (Kamle y Kumar 2016). El manejo de la antracnosis se basa en un enfoque integrado que combina las medidas más eficaces en función del cultivar, la localidad de producción y el mercado final (Gutiérrez et al. 2004). Por lo que el interés en el desarrollo de métodos alternativos de control, ocasiona que se intensifiquen los esfuerzos por detectar microorganismos benéficos con potencial para ser usados como agentes de biocontrol para reducir las poblaciones de fitopatógenos, y disminuir las aplicaciones de moléculas químicas (Rodríguez-Villareal et al. 2014, García et al. 2019).

Los microorganismos benéficos son amigables con el ambiente, debido a su capacidad de sintetizar

compuestos antifúngicos y enzimas degradadoras de la pared celular de hongos patógenos, mecanismos mediante los cuales inhiben el desarrollo de fitopatógenos, además de reducir la incidencia y severidad de enfermedades en agroecosistemas (Medina y Evangelista 2011). Adicionalmente, los microorganismos antagonistas crecen de forma rápida, se adaptan de forma fácil, inducen el sistema de defensa de la planta hospedera de los patógenos y contribuyen a la asimilación de nutrientes (Ezziyyani et al. 2004). Siendo los actinomicetos los productores más importantes de metabolitos secundarios con actividad biológica, donde el género *Streptomyces* destaca como el principal productor (Rodríguez et al. 2005). Por lo anterior, el objetivo de la investigación fue identificar actinomicetos aislados de suelo de árboles de mango en el estado de Nayarit, México y evaluar su potencial antifúngico *in vitro* contra *Colletotrichum* sp.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del sitio experimental

Los actinomicetos, se aislaron de muestras de suelo de 500 a 600 g obtenidas a una profundidad de entre 10 y 15 cm de profundidad (rizosfera) de árboles de mango cv. Ataulfo, ubicados en los cuatro puntos cardinales y el centro de la superficie total de cinco huertos comerciales de la localidad de Sauta, municipio de Santiago Ixcuintla, Nayarit, México (Tabla 1).

Tabla 1. Sitios de recolecta de muestras de suelo en huertos de mango en la localidad de Sauta del municipio de Santiago Ixcuintla en el estado de Nayarit, México, para el aislamiento de actinomicetos.

Huertos	Ubicación geográfica	Altitud*
1	21°43'42" LN 105°08'27" LO	29
2	21°43'20" LN 105°07'57" LO	30
3	21°42'40" LN 105°09'03" LO	25
4	21°42'40" LN 105°07'50" LO	49
5	21°42'58" LN 105°08'05" LO	42

*metros sobre el nivel del mar.

Las muestras se trasladaron en bolsas de polietileno

(Ecobolsas[®] 20 × 30 cm) al Laboratorio de Parasitología Agrícola de la Unidad Académica de Agricultura de la Universidad Autónoma de Nayarit donde se almacenaron a 4 °C, hasta su procesamiento.

Aislamiento e identificación morfológica de actinomicetos

Las muestras de suelo de cada huerto se homogeneizaron, para luego tomar una sub-muestra de 10 g, que se diluyó en 90 mL de agua destilada estéril, para luego agitar de forma constante por 30 min. Posteriormente, se tomó una alícuota de 1 mL que se colocó en un tubo de ensayo con 9 mL de agua destilada estéril, a partir de esto, se realizaron diluciones seriadas, hasta obtener las diluciones 10⁻⁴, 10⁻⁵ y 10⁻⁶, de las cuales se tomaron 50 µL que se depositaron en cajas Petri de 90 mm de diámetro con medio de cultivo Agar Papa Dextrosa (PDA) o Agar Czapek Dox (CZA). Para luego incubarse a 28 °C por 15 días en una cámara de crecimiento (Novatech Ei45), hasta observar crecimiento de actinomicetos. Las colonias de este microorganismo se aislaron y purificaron en PDA, e incubaron a 28 °C por 15 días. Los actinomicetos se identificaron por sus características macroscópicas (Figura 1) y microscópicas bajo un microscopio compuesto Motin a 1000X de magnificaciones (Williams y Cross 1971).

Confrontaciones preliminares *in vitro* de antibiosis

Se realizaron pruebas preliminares de antibiosis de los actinomicetos contra *Colletotrichum sp.*, para seleccionar aquellos aislados con actividad antifúngica. Para ello, se colocaron fragmentos de 0.5 cm de diámetro de cada colonia de actinomiceto en un extremo de las cajas de Petri y se incubaron a 28 °C, cinco días después se colocó un fragmento de la colonia de *Colletotrichum sp.* a distancia aproximada de 6.5 cm de cada actinomiceto. Los actinomicetos incapaces de inhibir el crecimiento de micelio del hongo a los 10 días se descartaron.

Confrontación *in vitro*

Con base en los resultados preliminares se seleccionaron los actinomicetos que mostraron ac-

tividad antifúngica. Los aislados seleccionados se confrontaron *in vitro* contra *Colletotrichum sp.*, proporcionado por el cepario del Laboratorio de Parasitología Agrícola de la Unidad Académica de Agricultura. Este patógeno se seleccionó debido a su incidencia en la región productora de mango, de donde se aislaron los actinomicetos. Cada antagonista se sembró de acuerdo con Pérez-Corral *et al.* (2015), mediante fragmentos de la colonia de 5 mm de diámetro, los cuales se colocaron en los cuatro puntos cardinales de la caja de Petri con PDA, y se incubaron a 28 °C por 10 días. Para después colocar un fragmento con micelio de la colonia del fitopatógeno en el centro de la caja de Petri y se incubó de nuevo bajo las mismas condiciones. Como testigo, se sembró el hongo fitopatógeno en el centro de la caja de Petri con PDA, el crecimiento radial de la colonia de *Colletotrichum sp.* confrontado ante cada actinomiceto y del testigo se midió cada 24 h. El día en que el testigo llenó la caja de Petri, se registró la inhibición de los actinomicetos. La capacidad antifúngica de los aislados se determinó con base en el porcentaje de inhibición de crecimiento radial (PICR) de acuerdo con la fórmula $PICR = (R1 - R2) / R1 \times 100$, donde R1 fue el radio del hongo testigo y R2 fue el radio del hongo en la confrontación con los antagonistas (Ezziyyani *et al.* 2004).

Para el análisis estadístico, se utilizó un diseño completamente al azar, el experimento consistió en 25 tratamientos (actinomicetos antagónicos), confrontados contra *Colletotrichum sp.* además del testigo *Colletotrichum sp.* en ausencia del antagonista. Todas las evaluaciones se realizaron por triplicado. Los datos del PICR se analizaron mediante análisis de varianza (ANDEVA) con el programa Statistical Analysis System versión 9.0 (SAS 2002), y la comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey ($p = 0.05$).

Identificación molecular

Los 12 actinomicetos con los mejores valores de inhibición *in vitro* se les realizó la caracterización molecular. El ADN genómico (ADNg) se extrajo de acuerdo con Ruiz-Cisneros *et al.* (2017), con modificaciones, que consistieron en obtener un pre-cultivo



Figura 1. Árbol filogenético de máxima verosimilitud basado en el gen 16S ARNr construido con el software Mega X (bootstrap = 1000), con el modelo de sustitución Tamura 3-parameter, los valores bootstrap se muestran como porcentajes. El árbol se dibujó a escala, con longitudes de rama medidas en el número de sustituciones por sitio, la barra de escala representa 1 sustitución de nucleótidos por cada 100 nucleótidos. La secuencia de *Amycolatopsis umgeniensis* se tomó como grupo externo.

en caldo ISP2 (International *Streptomyces* Project) a 28 °C con agitación a 250 rpm por 3 días, se centrifugaron a 15 000 g por 5 min, y se desechó el sobrenadante, la pastilla resultante se re-suspendió en 300 µL de amortiguador j (Trizma base - ácido clorhídrico 1 M, EDTA 0.1 M, cloruro de sodio 0.15 M, pH 8). La suspensión se centrifugó a 15 000 g por 5 min y el sedimento obtenido se suspendió en 200 µL de amortiguador j. Luego, se agregaron 12 µL de lisozima (40 mg mL⁻¹) y la mezcla se incubó a 37 °C por 30 min. Posteriormente, se agregaron 12 µL de SDS al 10% y la mezcla de reacción se incubó a 70 °C por 10 min. Se agregaron 2 µL de RNasa (10 mg mL⁻¹) y la mezcla se mantuvo a 60 °C por 30 min. Para luego agregar 7 µL de proteinasa K (10 mg mL⁻¹), manteniendo la mezcla a 37 °C por 30 min. Posteriormente se agregaron 35 µL de NaCl 5 M y la mezcla de reacción se mantuvo en hielo por 15 min. para luego centrifugar la mezcla a 15 000 g por 11 min y el sobrenadante obtenido mezclarlo con isopropanol (1:1, v / v), mantener a -80 °C por 20 min, y centrifugar a 15000 por 15

min. El sobrenadante se desechó agregando 200 µL de etanol al 70% y se centrifugó a 5 000 g por 10 min. El sedimento resultante se secó a temperatura ambiente por 5 min y se resuspendió en 30 µL de agua Milli-Q estéril. La calidad del ADNg se determinó mediante electroforesis en gel de agarosa al 1%. Para luego realizar la amplificación del gen 16S ARNr con los iniciadores específicos para actinomicetos con alto contenido de guanina y citosina F243 (5' GGATGAGCCCGCGGCCTA 3') y R1378 (5' CGGTGTGTACAAGGCCCGGAACG 3'), las condiciones de amplificación consistieron en las siguientes etapas: (i) desnaturalización de ADN a 94 °C por 5 min, (ii) 30 ciclos, los cuales incluyen desnaturalización a 94 °C por 1 min, alineamiento a 63 °C por 1 min y extensión a 72 °C por 2 min y (iii) una extensión final a 72 °C por 10 min (Heuer et al. 1997, Duthoit et al. 2003). Los productos de PCR fueron examinados por electroforesis en gel de agarosa al 1% y se secuenciaron por la empresa Macrogen (Rockville, Maryland, EUA). Las secuencias obtenidas se compararon con las bases de datos del National Center

for Biotechnology Information (NCBI) con el algoritmo de BLAST. Se construyó un árbol filogenético de máxima verosimilitud usando el modelo Tamura 3-parameter, con 1000 réplicas de Bootstrap mediante el software Mega X (Kumar *et al.* 2018), para lo cual se realizó un alineamiento múltiple de los datos mediante el software CLUSTAL_X.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las muestras de suelo asociado a la rizosfera de árboles de mango en zonas productoras del estado de Nayarit se obtuvieron 112 aislados de actinomicetos de acuerdo con sus características morfológicas. De la evaluación preliminar *in vitro* de los actinomicetos contra *Colletotrichum* sp., sólo 25 (22%) de los 112 mostraron algún grado de inhibición del crecimiento micelial del hongo. En los casos en los que no hubo inhibición (87 aislados), el hongo creció sobre la colonia del actinomiceto. La evaluación del PCIR de los 25 aislados sobre el crecimiento *in vitro* de *Colletotrichum* sp., se evaluó de forma cuantitativa por medio del registro diario del crecimiento de los organismos confrontados; tomando como referencia el crecimiento del hongo y del actinomiceto, con porcentaje de inhibición de 36.6 a 100.0% (Tabla 2), lo que demuestra la inhibición. Al respecto, Macedo *et al.* (2011) mencionan que estos experimentos *in vitro* permiten establecer diferencias métricas entre confrontaciones y comparar cualitativamente el antagonismo entre aislados, sin embargo, no es posible determinar el grado de variación entre colonias de los aislamientos. En la Figura 2 se muestra la inhibición del fitopatógeno causada por cinco aislados de actinomicetos (St-111, St-51, St-25, St-27 y St-52), que mostraron mayor inhibición del crecimiento con respecto al testigo, donde se observó que el crecimiento del micelio del hongo disminuyó hacia la colonia del actinomiceto, y a partir de ese momento el patógeno detuvo su crecimiento, por la actividad antifúngica de los actinomicetos.

Los iniciadores específicos, amplificaron un fragmento de ARNr 16S de aproximadamente 1100 pb a partir de los 12 aislados sobresalientes. Las secuencias obtenidas se depositaron en el NCBI del

GenBank (Tabla 2). Mediante el análisis BLAST se encontró que las secuencias de los diversos aislamientos presentaron alta identidad (99%), con las secuencias reportadas en el NCBI para el género *Streptomyces* (91.66%), mientras que un aislado (8.33%) mostró estar relacionado con el género *Arthobacter*. Para establecer con más precisión la posible identidad, a nivel de especie de los actinomicetos caracterizados, secuencias de diversas especies de *Streptomyces*, homologas en un 99% a las secuencias obtenidas, se alinearon y agruparon mediante un análisis filogenético generando el árbol filogenético (Figura 1).

En las pruebas preliminares de antibiosis, 25 aislados (23.3%) mostraron actividad antagónica *in vitro* por 15 días contra *Colletotrichum* sp., lo que demuestra el elevado número de actinomicetos antagónicos a este fitopatógeno. La falta de actividad antagónica en la mayoría de los aislados posiblemente se debe a diversos mecanismos de defensa que el hongo patógeno pudiera poseer a los compuestos producidos por los actinomicetos (Duffy *et al.* 2003). La ocurrencia de antagonismo *in vitro* con inhibiciones del 36.6 al 100.0% sugiere la producción de compuestos inhibitorios distintos entre los aislados de actinomicetos, tomando en cuenta que se han reportado cerca de 10 100 de compuestos bioactivos producidos por actinomicetos (Berdy 2005). Sobre lo mismo Ezziyyani *et al.* (2004) y Evangelista-Martínez (2014) mencionan que aislados de actinomicetos del género *Streptomyces*, son capaces de inhibir el crecimiento *in vitro* de diferentes géneros de hongos fitopatógenos, como se ha observado en *Colletotrichum* spp (El-Tarabily 2006, Gopalakrishnan *et al.* 2011). Al respecto, Svetlana *et al.* (2010) reportan a *Streptomyces noursei* causando inhibiciones superiores al 80% sobre *C. acutatum* y *C. gloeosporioides*. En contraste Macedo *et al.* (2011), registraron bacterias de los géneros *Bacillus* y *Burkholderia* con inhibiciones del 43.2 al 56.7% sobre *C. gloeosporioides*.

El aislado de *Streptomyces varsoviensis* identificado, causó el 100% de inhibición de *Colletotrichum*, al respecto se tienen reportes que esta especie produce higrobafilomicina (Ndejoung *et al.* 2010), po-

Tabla 2. Identificación de actinomicetos y su inhibición micelial *in vitro* sobre *Colletotrichum sp.*

Aislamiento	Cepas	GenBank	% inhibición*
St-111	<i>Streptomyces varsoviensis</i>	NR043497.1	100.00 ^a
St-51	<i>Streptomyces abikoensis</i>	NR118286.1	92.92 ^{ab}
St-25	<i>Streptomyces abikoensis</i>	NR118286.1	92.63 ^{ab}
St-27	<i>Streptomyces abikoensis</i>	NR118286.1	91.03 ^{abc}
St-52	<i>Streptomyces abikoensis</i>	NR118286.1	90.56 ^{abc}
St-92	<i>Streptomyces sp.</i>		87.43 ^{bcd}
St-46	<i>Streptomyces lilacinus</i>	NR112573.1	84.96 ^{bcd}
St-03	<i>Streptomyces minutiscleroticus</i>	NR112379.1	81.43 ^{bcd}
St-72	<i>Streptomyces minutiscleroticus</i>	NR112379.1	80.86 ^{bcd}
St-02	<i>Streptomyces minutiscleroticus</i>	NR112379.1	79.93 ^{bcd}
Ar-109	<i>Arthrobacter globiformis</i>	NR112192.1	79.83 ^{bcd}
St-17	<i>Streptomyces minutiscleroticus</i>	NR112379.1	77.96 ^{cdef}
St-20	<i>Streptomyces minutiscleroticus</i>	NR112379.1	77.26 ^{cdef}
St-85	<i>Streptomyces sp.</i>		74.90 ^{def}
St-10	<i>Streptomyces sp.</i>		74.06 ^{def}
St-110	<i>Streptomyces sp.</i>		72.66 ^{ef}
St-104	<i>Streptomyces sp.</i>		72.53 ^{ef}
St-81	<i>Streptomyces sp.</i>		65.40 ^f
St-99	<i>Streptomyces sp.</i>		48.83 ^g
St-75	<i>Streptomyces sp.</i>		48.56 ^g
St-59	<i>Streptomyces sp.</i>		48.40 ^g
St-107	<i>Streptomyces sp.</i>		46.33 ^g
St-64	<i>Streptomyces sp.</i>		46.13 ^g
St-55	<i>Streptomyces sp.</i>		39.83 ^g
St-50	<i>Streptomyces sp.</i>		36.66 ^g
	Testigo 00.00		

* Medias con la misma letra, son estadísticamente iguales de acuerdo con Tukey (p = 0.05).

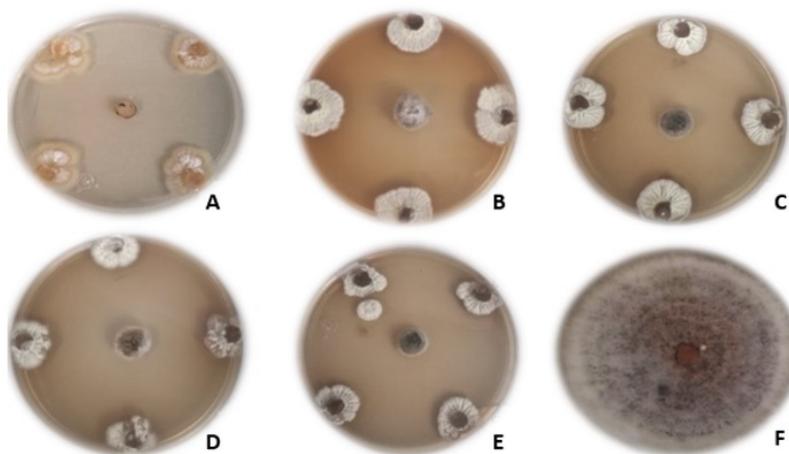


Figura 2. Inhibición del crecimiento de *Colletotrichum sp.* al confrontarse con los aislados de actinomicetos St-111 (A), St-51 (B), St-25 (C), St-27 (D) y St-52 (E), con respecto al testigo (F).

tente compuesto antifúngico que puede estar relacionado con la respuesta. Los cuatro aislados identificados como *S. abikoensis* y los cinco de *S. minutiscleroticus* inhibieron a *Colletotrichum* en un rango del 90.56 al 92.92% y del 77.26 al 81.43%,

respectivamente; lo que demuestra relación entre aislados de cada especie. Se desconocen investigaciones previas en las que *S. varsoviensis*, *S. abikoensis*, *S. minutiscleroticus*, *S. lilacinus* y *A. globiformis* se reporten como antagónicas a alguna especie de

Colletotrichum spp. Los porcentajes de inhibición de estas especies son elevados y abren la posibilidad para evaluarse contra diversos hongos fitopatógenos, como lo reporta Evangelista-Martínez (2014). Actualmente, los compuestos bioactivos (antibióticos) de actinomicetos pueden ser aislados y purificados por métodos químicos y para producirlos a nivel industrial (Al-Askar et al. 2011, Dávila-Medina et al. 2013, Xue et al. 2013), por lo que es necesario realizar estudios del potencial antifúngico de *S. varsoviensis*.

Los resultados indican diversidad de actinomicetos nativos de la rizosfera del suelo de árboles de mango de Santiago Ixcuintla, Nayarit, además de capacidad antagonica *in vitro* contra *Colletotrichum* sp. Para más del 22% de los actinomicetos aislados. Se observó actividad antagonica a *Colletotrichum* sp. de *S. varsoviensis*, *S. abikoensis*, *S. minutiscleroticus*, *S. lilacinum* y *A. globiformis* con, por lo que, podrían usarse como agentes de biocontrol de especies y cepas de este y otros géneros de hongos patógenos.

LITERATURA CITADA

- Al-Askar AA, Khair AWM, Rashad YM (2011) *In vitro* antifungal activity of *Streptomyces spororaveus* RDS28 against some phytopathogenic fungi. *African Journal of Agricultural Research* 6: 2835-2842.
- Allende R, Juárez C, García R, Carrillo A, Patiño M, Galindo E (2001) *Rhodotorula minuta*, agente de control biológico potencial contra *Colletotrichum gloeosporioides* en mango. *Brazilian Phytopathology* 26: 461-462.
- Benítez CFA, Huerta PG, Holguín MF, Toledo AJ (2003) Efecto de *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc. en la caída de frutos de mango cv. Ataulfo en el Soconusco, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 21: 223-227.
- Berdy J (2005) Bioactive microbial metabolites. *The Journal of antibiotics* 58: 1-26.
- Dávila-Medina MD, Gallegos-Morales G, Hernández-Castillo FD, Ochoa-Fuente YM, Flores-Olivas A (2013) Actinomicetos antagonicos contra hongos fitopatógenos de importancia agrícola. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4: 1187-1196.
- Duffy B, Schouten A, Raaijmakers JM (2003) Pathogen self-defense: mechanisms to counteract microbial antagonism. *Annual Review of Phytopathology* 41: 501-538.
- Duthoit F, Godon JJ, Montel MC (2003) Bacterial community dynamics during production of Registered Designation of Origin Salers cheese as evaluated by 16S rRNA gene single strand conformation Polymorphism analysis. *Applied and Environmental Microbiology* 69: 3840-3848.
- El-Tarabily KA (2006) Rhizosphere-competent isolates of streptomycete and non-streptomycete actinomycetes capable of producing cell-wall-degrading enzymes to control *Pythium aphanidermatum* damping-off disease of cucumber. *Canadian Journal of Botany* 84: 211-222.
- Evangelista-Martínez Z (2014) Isolation and characterization of soil *Streptomyces* species as potential biological control agents against fungal plant pathogens. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 30: 1639-1647
- Ezziyyani M, Pérez SC, Requena ME, Rubio L, Candela CME (2004) Biocontrol por *Streptomyces rochei* -Ziyani-, de la podredumbre del pimiento (*Capsicum annum* L.) causada por *Phytophthora capsici*. *Anales de Biología* 26: 69-78.
- García RDE, Vázquez VP, Pérez CDA, Ruiz CMF, Berlanga RDI, Ornelas PJJ, Acosta MCH, Rios VC, Salas MMA, Osorio HE (2019) *Streptomyces* como biocontroladores *in vitro* de *Exserohilum rostratum* y productores de sustancias promotoras del crecimiento vegetal. *Revista Mexicana de Fitopatología* 37: 48-56

- Gopalakrishnan S, Pande S, Sharma M, Humayun P, Kiran BK, Sandeep D, Rupela, O (2011) Evaluation of actinomyces isolates obtained from herbal vermicompost for the biological control of *Fusarium* wilt of chickpea. *Crop Protection* 30: 1070-1078.
- Gutiérrez AJG, Gutierrez AO, Nieto AD, Téliz OD, Zavaleta ME, Delgadillo SF (2004) Manejo integrado de la antracnosis [*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz) Penz y Sacc.] del Mango (*Mangifera indica* L.) durante la postcosecha. *Revista Mexicana de Fitopatología* 22: 395-402.
- Heuer H, Krsek M, Baker P, Smalla K, Wellington EMH (1997) Analysis of actinomyces communities by specific amplification of genes encoding 16S rRNA and gel-electrophoretic separation in denaturing gradients. *Applied and Environmental Microbiology* 63: 3233-3241.
- Isiordia AN, García MO, Flores CRJ, Díaz HM, Carvajal CCR, Espino AR (2011) El cultivo de mango en Nayarit, acciones e impacto en materia fitosanitaria 1993-2010. *Revista Fuente* 7: 34-43.
- Kamle M, Kumar P (2016) *Colletotrichum gloeosporioides*: Pathogen of anthracnose disease in mango (*Mangifera indica* L.). In: Kumar P, Gupta V, Tiwari A, Kamle M (eds) *Current trends in plant disease diagnostics and management practices*. Fungal Biology. Springer, Cham, Suiza. pp: 207-219.
- Kumar S, Stecher G, Li M, Knyaz C, Tamura K (2018) MEGA X: Molecular evolutionary genetics analysis across computing platforms. *Molecular Biology and Evolution* 35: 1547-1549.
- Macedo CA, Martínez HA, Lara RJ (2011) Rizobacterias aisladas del trópico húmedo con actividad antagonista sobre *Colletotrichum gloeosporioides*, evaluación cuantitativa e identificación molecular. *Revista Mexicana de Fitopatología* 30: 11-30.
- Medina CHM, Evangelista MZ (2011) Aislamiento y búsqueda de actinobacterias del suelo productoras de enzimas extracelulares y compuestos con actividad antimicrobiana. *UNACAR Tecnociencia* 5: 72-78.
- Ndejoung BLST, Sattler I, Maier A, Kelter G, Menzel KD, Fiebig HH and Hertweck C (2010) Hygrobafilemycin, a cytotoxic and antifungal macrolide bearing a unique monoalkylmaleic anhydride moiety, from *Streptomyces varsoviensis*. *The Journal of Antibiotics* 63: 359-363.
- Pérez-Corral DA, García-González NY, Gallegos-Morales G, Ruiz-Cisneros MF, Berlanga-Reyes DI, Ríos-Velasco C (2015) Aislamiento de actinomicetos asociados a rizosfera de árboles de manzano antagonistas a *Fusarium equiseti*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6: 1629-1638.
- Prusky D, Freeman S, Dickman MB (2000) *Colletotrichum*. Host specificity, pathology, and host-pathogen interaction. APS Press, The American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota, USA. 393p.
- Rodríguez VC, Sardiñas GR, Morales PY, Vallín PC (2005) Evaluación de la capacidad de producción de antibióticos por la cepa *Streptomyces diastolicus* SQF108 modificada genéticamente. *Revista CENIC Ciencias Biológicas* 36: 93-96
- Rodríguez-Villareal RA, Peña CKI, Fernández CE, Almeyda LIH, Hernández TI, Acosta DE, Rodríguez GR (2014) Antagonismo e identificación genética de un actinomiceto con potencial para el control biológico de *Phytophthora capsici* Leonian (Peronosporales: Pythiaceae). *Vedalia* 15: 5-15
- Ruiz-Cisneros MF, Ríos-Velasco C, Berlanga-Reyes DI, Ornelas-Paz JJ, Acosta-Muñoz CH, Romo-Chacón A, Zamudio-Flores PB, Pérez-Corral DA, Salas-Marina MÁ, Ibarra-Rendón JE, Fernández-Pavía SP (2017) Incidence and causal agents of root diseases and its antagonists in apple orchards of Chihuahua, Mexico. *Revista Mexicana de Fitopatología* 35: 437-462.
- SAS (2002) SAS, 9.0 Software. Institute Inc., Cary, North Carolina, USA.

- SIAP (2018) Anuario estadístico de la producción agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola>. Fecha de consulta: 29 de mayo de 2019.
- Svetlana Z, Stojanovic S, Ivanovic Z, Gavrilovic V, Popovic T, Balaz J (2010) Screening of antagonistic activity of microorganisms against *Colletotrichum acutatum* and *Colletotrichum gloeosporioides*. *Archives of Biological Science Belgrade* 62: 611- 623.
- Williams ST, Cross T (1971) Actinomycetes. In: Williams ST, Cross T (ed). *Methods in microbiology*. Academic Press. New York. 4: 294-334.
- Xue L, Xue Q, Chen Q, Lin C, Shen G, Zhao J (2013) Isolation and evaluation of rhizosphere actinomycetes with potential application for biocontrol of *Verticillium* wilt of cotton. *Crop Protection* 43: 231-240.