



Artículo Científico

Hongos asociados al tizón foliar del trigo y su control biológico

Mariana Guadalupe Sánchez-Alonso¹, Patricia Rivas-Valencia^{1*}, Leticia Robles-Yerena², Raúl Asael Rodríguez-Villareal³, María Florencia Rodríguez-García¹ y Raúl Rodríguez-Guerra³. ¹Campo Experimental Valle de México CIRCE-INIFAP. Carretera Texcoco-Los Reyes Km 13.5, Coatlinchan, Texcoco de Mora, Estado México, CP 56250, México. ²CNRF-SENASICA. Carretera Federal México-Pachuca Km. 37.5, Tecámac de Felipe de Villanueva, Estado de México, CP 55740. ³Campo Experimental General Terán CIRNE-INIFAP. Carretera Montemorelos-China, Km. 31. General Terán, Nuevo León, México. CP 67400.

*Autor de Correspondencia:
rivas.patricia@inifap.gob.mx

Sección:
Número Especial

Recibido:
18 Noviembre, 2024

Aceptado:
10 Junio, 2025

Publicado:
26 Junio, 2025

Cita:
Sánchez-Alonso MG, Rivas-Valencia P, Robles-Yerena L, Rodríguez-Villareal RA *et al.*, 2025. Hongos asociados al tizón foliar del trigo y su control biológico. Revista Mexicana de Fitopatología 43(4): 74.
<https://doi.org/10.18781/R.ME.X.FIT.2024-26>



RESUMEN

Antecedentes/Objetivo. El objetivo fue determinar el efecto de inhibición de morfotipos de actinobacterias en el crecimiento micelial de hongos asociados a manchas foliares en trigo.

Materiales y métodos. Se procesaron 136 muestras de hojas de trigo de regiones productoras de los Valles Altos de México. Fueron seccionadas, lavadas y colocadas en cámara húmeda; se aislaron hongos en papa dextrosa agar. Se realizó una identificación morfológica y se registró la incidencia de enfermedades por entidad federativa. Las actinobacterias fueron aisladas de muestras de suelo mediante la técnica de diluciones y se aislaron microcolonias en agar nutritivo. Se establecieron bioensayos preliminares *in vitro* a 27 °C con 144 actinobacterias y una confrotación dual con morfotipos de actinobacterias que presentaron un PICM mayor al 40 %; para determinar el porcentaje de inhibición del crecimiento micelial e identificar aquellos con potencial para el control de hongos asociados a manchas foliares. El diseño experimental fue completamente al azar y se realizó un análisis de varianza ($p \leq 0.05$) y prueba de medias (Tukey $p \leq 0.05$).

Resultados. Al menos tres actinobacterias inhibieron el crecimiento micelial de *Fusarium* spp. en un rango de 42.5 - 66.9 %. Se registró mayor efectividad de inhibición de la cepa M2B M60 con *Fusarium* aislado 1, M1B33 con *Fusarium* aislado 2 y M1B M4 tuvo mayor efectividad con *Fusarium* aislado 3.

Conclusión. El uso de actinobacterias representa una alternativa para el manejo integrado en el control de hongos asociados con el tizón foliar en trigo, al presentar un efecto inhibitorio de crecimiento micelial.

Palabras clave: Actinobacterias, *Fusarium*, Especificidad, Metabolitos

INTRODUCCIÓN

La producción agrícola se ve obligada a acelerar e incrementar sus rendimientos para abastecer la demanda de alimentos de acuerdo al crecimiento poblacional, en el 2022 se registraron 8,000 millones de personas y se prevén que sean 8,500 millones en 2030 (ONU, 2022).

Los cereales forman parte de la base de alimentación humana (FAO, 2001); Sinaloa, México, es el principal productor de cereales, especialmente de maíz (SADER, 2022) y su sistema productivo es intensivo en agroquímicos (Cruz y Leos, 2018). Los problemas fitosanitarios como las manchas foliares representan un daño en el funcionamiento de las plantas y se refleja en la pérdida de rendimiento de 4 y hasta 38 % en regiones productoras (Mariscal-Amaro *et al.*, 2017), lo que requiere de estrategias de manejo eficientes, sustentables y rentables para cumplir con los rendimientos esperados por la población. Los principales hongos causantes de manchas foliares o tizones son del género *Bipolaris*, *Fusarium*, *Alternaria* (Prescott *et al.*, 1986); sin embargo, aún hay agentes causales desconocidos (Mariscal-Amaro *et al.*, 2017). En México se han reportado a *F. graminearum*, *F. avenaceum*, *F. equisetii*, *F. proliferatum*, *F. subglutinans*, *F. oxysporum*, *F. thapsinum* y *F. andiyazi* como las especies asociadas también a pudrición de diferentes órganos (Gilchrist-Saavedra *et al.*, 2005; Leyva-Mir *et al.*, 2017; Rangel-Castillo *et al.*, 2017).

Cabe mencionar que se considera el mejoramiento genético, dosis de fertilización, control biológico y químico como tecnologías para generar resistencia a enfermedades y la capacitación en los diferentes segmentos de la cadena productiva como una estrategia para aumentar la productividad de los cultivos (Cerutti, 2019; SENASICA, 2021; SADER, 2023). En el caso de los plaguicidas representa un problema mundial en el sector salud y ambiental, por la residualidad de compuestos en los alimentos, contaminación del suelo y agua (Rodríguez-Eugenio *et al.*, 2018; OMS, 2022), ya que la contaminación puede ocurrir por bioacumulación, transporte, precipitación pluvial, evaporación, escurrimientos, infiltraciones y lixiviaciones (Jáquez-Matas *et al.*, 2022). La Organización Mundial de la Salud (OMS) se encarga de examinar pruebas y elaborar listas de los límites máximos de residuos aprobados internacionalmente; no obstante, países en vías de desarrollo necesitan alternativas de bajo impacto ambiental y desarrollar tecnología rentable, para incrementar su uso o sustituir a los plaguicidas conocidos y poco costosos, que han sido prohibidos en países desarrollados, pero siguen siendo usados en países como México (OMS, 2022).

Una alternativa viable son las actinobacterias, un tipo de bacterias Gram positivas, variables en cuanto a su necesidad de oxígeno (Álvarez *et al.*, 2017) que contienen propiedades antagónicas y con potencial inhibitorio de crecimiento de hongos fitopatógenos de importancia agrícola, debido a la segregación de metabolitos secundarios como: enzimas hidrolíticas, quitinasas, xilanasas y celulasas; degradadoras de la pared celular de patógenos, antibióticos (estreptomycina y kanamicina), antifúngicos y pigmentos (Evangelista *et al.*, 2017; Parada *et al.* 2017; Quiñones *et al.*, 2014; Cabrera *et al.*, 2020).

Los géneros de actinobacterias identificados con mayor frecuencia son *Streptomyces*, *Micromonospora*, *Rhodococcus*, *Salinispora*, *Frankia*, *Corynebacterium*, *Mycobacterium*, *Nocardia* y *Bifidobacterium* (Barka *et al.*, 2016). El efecto inhibitorio de actinobacterias obtenidas de muestras de suelo se han observado en diferentes escenarios.

En Nuevo León se registró el efecto inhibitorio sobre *Phytophthora capsici*, *Rhizoctonia solani* y *Macrophomina phaseolina* con un rango en la variable del efecto inhibitor del 60 al 100 % (Rodríguez-Villareal *et al.*, 2014). Mientras que en Guanajuato lograron identificar 82 cepas, de las cuales, tres presentaron un efecto inhibitorio sobre *R. solani*, *P. capsici* y *F. oxysporum*, con un porcentaje de inhibición radial promedio de 81.8 % (Sánchez-García *et al.*, 2019). En Hidalgo, se identificó la cepa *Amycolatopsis* BX17 con capacidad de inhibir el 100 % de crecimiento micelial de *F. graminearum* debido a la secreción de moléculas con actividad antifúngica (Cabrera *et al.*, 2020). Finalmente, en Jalisco se detectaron al menos 49 cepas con un porcentaje de inhibición mayor del 50 %, como agentes antagonicos para *Fusarium* spp. en condiciones *in vitro* (Quiñones *et al.*, 2014).

El antagonismo de las actinobacterias responde a una alta especificidad, aunque las especies que funcionan como antagonicos en un cultivo vegetal, pueden ser patogénicas para otros (Emmert y Handelsman, 1999; Glick, 1995). Por ello el objetivo de este trabajo de investigación fue detectar morfotipos de actinobacterias con potencial inhibitorio a hongos asociados con manchas foliares de trigo, sin perder de vista que *Fusarium* tiene una gran diversidad de especies causantes de síntomas de pudrición de raíz, atizonamiento en hojas, y espigas provocando pérdidas de hasta del 50 % (Ackermann y Pereyra, 2010).

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de muestras

Se visitaron parcelas comerciales de trigo en etapa de llenado de grano (antes de la madurez fisiológica) en 136 localidades ubicadas en los Valles Altos de México, cada muestra fue compuesta por cuatro hojas con síntomas de atizonamiento y manchas. Fueron 25 localidades visitadas en Hidalgo, 45 en Estado de México, una en Morelos, cinco en Oaxaca, 15 en Puebla y 45 en Tlaxcala. Las muestras se trasladaron para su procesamiento en las instalaciones del Laboratorio de Fitopatología INIFAP-CEVAMEX, ubicado en el municipio de Texcoco de Mora, Estado de México.

Aislamiento de hongos

Se observaron 136 muestras de hojas con microscopio estereoscópico (marca LEICA Modelo EZ4D, fabricado en Heerbrugg, Switzerland), posteriormente se seleccionaron segmentos de 2 cm de hoja con síntomas y se desinfectaron mediante tres lavados (hipoclorito de sodio al 1 %, alcohol al 70 % y agua estéril) por un minuto. Los segmentos de hoja se colocaron bajo condiciones de cámara húmeda durante 48 h, con revisión cada 24 h. La masa de conidios que se desarrollaron en la superficie de las hojas, se colocaron en tubos de ensayo estériles de 10 mL con 1 mL de agua estéril, sometido a agitación en un vórtex para homogeneizar la solución, se dispersaron 20 µL con una micropipeta en cajas Petri con medio de cultivo papa dextrosa agar (PDA), 24 h después se revisaron los conidios germinados mediante el uso de microscopio óptico (marca LEICA Modelo EZ DM500, fabricado en Heerbrugg, Switzerland). Cada conidio germinado se transfirió a una nueva caja de Petri PDA (técnica modificada de Morales-Rodríguez *et al.*, 2007).

Las colonias obtenidas se identificaron utilizando diferentes medios de cultivo como PDA (morfología y color de la colonia), APZ (Agar Papa Zanahoria, para incrementar la colonia) y SNA (Agar Spezieller Nährstoffarmer, funciona para la producción de clamidiosporas, microconidios y macroconidios). La morfología se determinó siguiendo

las claves de Leslie y Sumerell (2006) y la guía de identificación de enfermedades comunes de los cereales de grano pequeño de Zillinsky (1984). La morfometría fue descrita de 100 estructuras (conidios, fiálides, macroconidios, conidióforos, etc.), para agrupar a los hongos por aislamientos.

Aislamiento de Actinobacterias

El aislamiento se realizó a partir de dos muestras compuestas de suelo provenientes del municipio de Bustamante, Nuevo León: M1B (67 morfotipos) compuesto por seis submuestras y M2B (77) compuestos por cinco submuestras, ambas tomadas de la rizósfera de árboles de aguacate; obtenidas y purificadas en el Campo Experimental General Terán, Montemorelos, N.L. (INIFAP). La técnica de aislamiento fue por medio de diluciones (10^{-2} y 10^{-3}) en agua estéril y dispersión de 50 μ L del mismo en medio de cultivo de agar nutritivo, posterior a las 24 y 72 h de la siembra se observaron en microscopio compuesto para realizar la transferencia de microcolonias a nuevas cajas Petri con medio de agar nutritivo. Por las características morfológicas de las colonias aisladas se determinó que los organismos pertenecían al grupo de las actinobacterias.

Experimentos

Se establecieron dos bioensayos preliminares para detectar actinobacterias con mayor potencial de inhibición (> 20 %) la primera con 144 morfotipos distribuidos en 36 cajas Petri más una caja del testigo, en el segundo ensayo se utilizaron 16 morfotipos distribuidos en cuatro cajas Petri, más una caja del testigo; posteriormente se llevó a cabo una prueba de confrontación dual entre siete morfotipos de actinobacterias y tres hongos seleccionados previamente distribuidos en 63 cajas Petri más tres cajas de testigos. La variable utilizada para todas las pruebas fue el porcentaje de inhibición del crecimiento micelial (PICM) se calculó de acuerdo a la fórmula de Salazar *et al.* (2001), $PICM = [(\text{Crecimiento micelial del testigo} - \text{Crecimiento micelial con tratamiento}) / \text{Crecimiento micelial del testigo}] * 100$. El crecimiento micelial se consideró como la medición en mm del crecimiento radial de la colonia del hongo que se desarrolló entre el disco de inóculo fungoso y el disco de la actinobacteria correspondiente.

Bioensayos preliminares. En cajas Petri de 65 x 15 mm, se colocó al centro un disco de inóculo (cuyo criterio de selección fue el hongo asociado más frecuente que se reportó en las muestras) y cuatro diferentes discos de morfotipos de actinobacterias en puntos extremos de una misma caja (sin repeticiones), adicionalmente en otra unidad se sembró un testigo en el cual solo se colocó en el centro el disco de inóculo. La distancia entre el hongo y el disco del actinomiceto fue de 1.5 cm. El registro de los datos de crecimiento micelial se realizó hasta que el testigo cubrió en un 100 % el área de la caja Petri.

Confrontación dual. Esta prueba se realizó únicamente con las actinobacterias que mostraron un mayor porcentaje de inhibición en el bioensayo preliminar (> 40 %). Cada una de las actinobacterias se confrontó con tres aislamientos fungosos, dos aislados de las muestras de trigo y un tercero, *Fusarium* aislamiento 3 (*Fusarium proliferatum*), el cuál fue donado de la colección personal de la Dra. Leticia Robles y que fue utilizado considerando que la especie es de importancia agrícola en trigo por estar asociado al amarillamiento o madurez prematura del trigo (Rangel-Castillo *et al.*, 2017). La disposición de los discos de la actinobacteria y del hongo se ubicaron en los extremos de

la caja Petri, con una separación entre sí de 3 cm. La velocidad de crecimiento del hongo durante los bioensayos fue rápida, por lo que se decidió diferir el día de la transferencia, primero se sembró el disco del inóculo de la actinobacteria y a los dos días el disco del hongo, simulando que la aplicación del tratamiento fuese preventiva.

Análisis estadístico

Se realizó un diseño experimental completamente al azar para el ensayo de confrontación dual con tres repeticiones y posteriormente un análisis de varianza ($p \leq 0.05$) y una prueba de medias (Tukey $p \leq 0.05$).

RESULTADOS

Identificación de hongos asociados al tizón y manchas foliares del trigo

Se identificaron siete hongos de los cuales tres se asocian al atizonamiento de hoja en trigo (del género *Alternaria*, *Bipolaris* y *Fusarium*) el cual consiste en la presencia de halos cloróticos que se extienden a lo largo de la hoja; dos tipos de royas (ambos del género *Puccinia*), las cuales no fueron parte del experimento por ser parásitos obligados; y dos hongos asociados a manchas foliares también conocidas como septoriosis (*Septoria* y *Zymoseptoria*).

Género *Alternaria*. Fue identificado por la presencia de conidios característicos del género, Mata-Santoyo *et al.* (2018) indican que *Alternaria* se asocia a *Bipolaris sorokiniana* como potenciador del daño o lo identifican como un hongo saprófito en aislamientos obtenidos de muestras de trigo. No obstante, Perelló *et al.* (2015) menciona que especies de *Alternaria* han provocado la pérdida del rendimiento del 60 % en condiciones favorables, siendo identificadas como patógeno de enfermedades foliares y en el grano de trigo.

Los conidios tuvieron un grosor aproximado de 3-6 μm y longitudinalmente midieron 19-46.07 x 7.56-14.22 μm . Las colonias de *Alternaria* spp. son de coloración verde oscuro en etapa madura, mientras que en pleno crecimiento presenta tonalidades blanquecinas y grisáceas, de forma circular, de superficie plana pero algodonosa y con bordes filamentosos (Figura 1).

Género *Bipolaris*. Los síntomas observados fueron lesiones necróticas de color café oscuro a lo largo de las hojas (Figura 2A), en condiciones de cámara húmeda se detectó la formación de conidióforos en la parte superficial de la hoja, al igual que micelio oscuro y denso. Los conidios y conidióforos permiten una identificación del género *Bipolaris* (antes *Helminthosporium*) (Mata-Santoyo *et al.*, 2018), los conidios observados fueron oblongos de color café oliva, septados ligeramente curvos, con paredes lisas y una cicatriz basal prominente (Figura 2B). Los conidios midieron aproximadamente de 34-63.12 x 10.06-18-5 μm , por lo que presentaron de tres a nueve septas por conidio. Los conidióforos se desarrollaron individualmente con un tamaño promedio de 118.5 - 152 x 6.4-8.2 μm . Las colonias fueron de coloración verde oscuro, de forma granular algodonosa, con elevación umbilicada y bordes lobulados (Figura 2C y D).

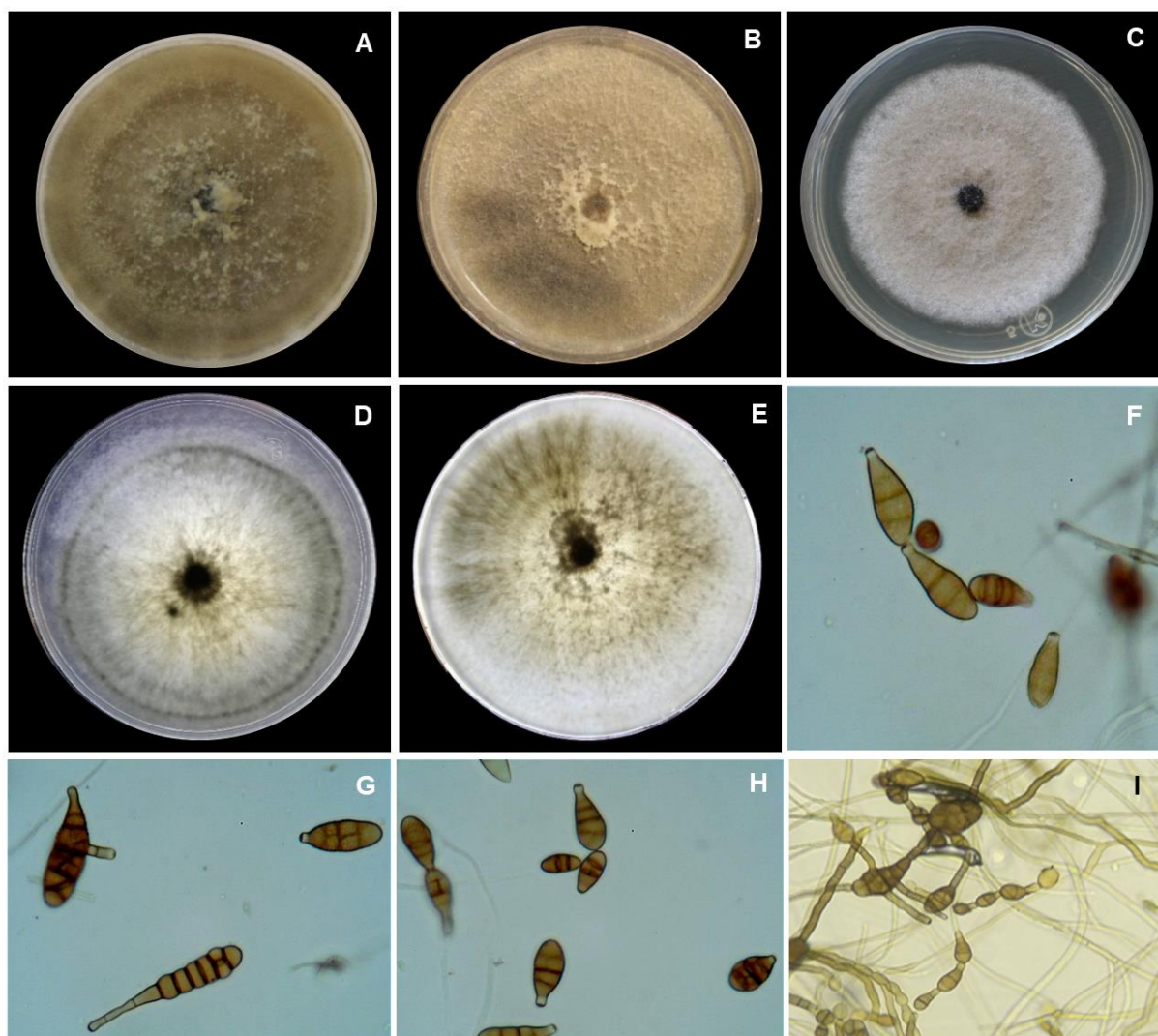


Figura 1. Colonias de *Alternaria* spp. A) Colonia en medio de cultivo PDA. B) Colonia en medio de cultivo APZ. C) Crecimiento micelial en etapa temprana en medio de cultivo PDA. D) Colonia en medio PDA con presencia de uno o dos anillos concéntricos observados a contra luz. E) Colonia en medio PZA con presencia de varios anillos concéntricos observados a contra luz. F-I) Conidios y cadena de conidios.

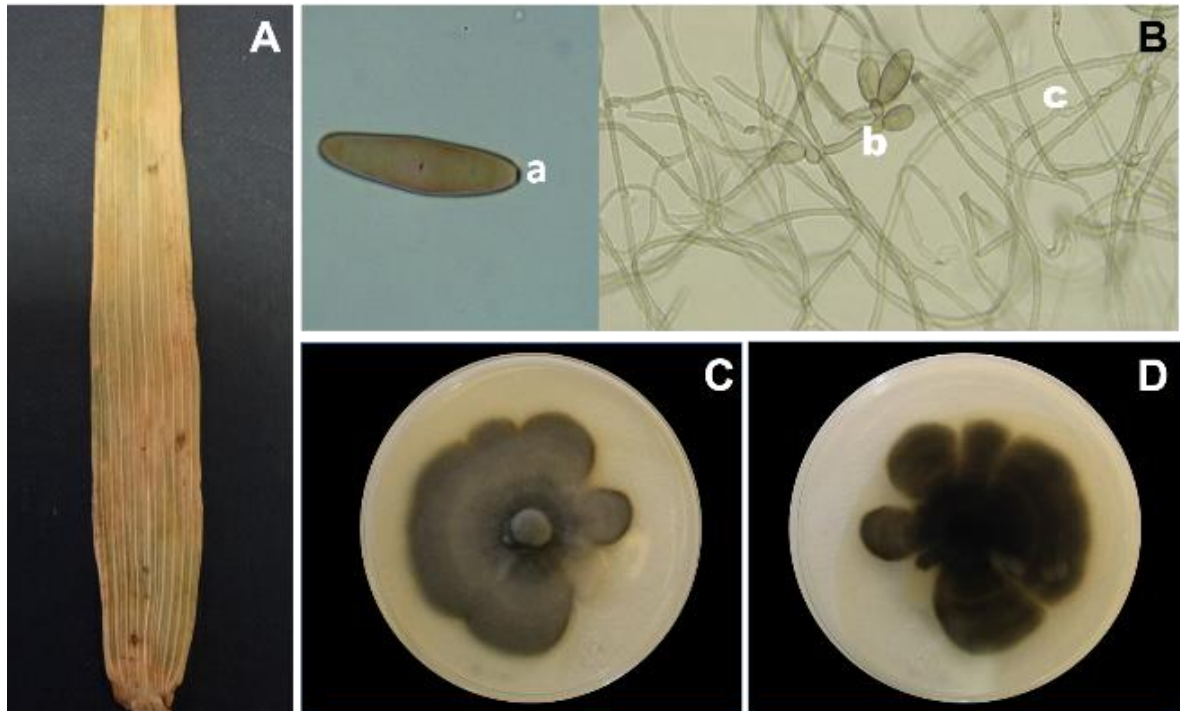


Figura 2. Síntomas y colonias de *Bipolaris* sp. A) Síntoma de *Bipolaris* sp., atizonamiento a lo largo de la hoja de trigo. B) Conidio con tres septos ligeramente marcados (a. cicatriz basal), conidióforos (b) y micelio (c). C) Colonia en medio de cultivo PDA. D) Reverso de la placa Petri en medio de cultivo PDA.

Género *Fusarium*. El síntoma que se observó fue una mancha clorótica con el centro blanquecino (Figura 3); aunque hay registros de que en estados tempranos de desarrollo las manchas son de color verde grisáceo y en estados más avanzados las manchas se tornan ovaladas de color café grisáceo (Zillinsky, 1984). No obstante, la masa de conidios de los que se logró hacer el aislamiento de *Fusarium*, se obtuvo de hojas considerablemente secas.

Por la morfología de las estructuras se logró identificar el género por la presencia de macroconidios, microconidios, clamidosporas y tipo de fiálides. La morfología sugirió dos tipos de aislados de *Fusarium* spp. En medio de cultivo PDA la primera colonia presentó coloración amarilla a rojiza, el crecimiento fue circular, superficie plana pero algodonosa y bordes filamentosos lo cual es similar con la descripción de *F. graminearum* (Leyva-Mir *et al.*, 2017) (Figura 3); sin embargo, para referencias posteriores se hablará de *Fusarium* aislamiento 1. Los macroconidios recuperados del medio de cultivo SNA midieron de 21.01-63.14 x 3.08-4.85 μm y las clamidosporas de 7.37 – 16.52 μm (Figura 3).

La segunda colonia en medio de cultivo PDA fue de color blanquecina, de crecimiento circular, ligeramente anillada, superficialmente algodonosa y plana (para futuras referencias se hablará de esta cepa como aislamiento 2) (Figura 3). El tamaño de los microconidios fue de 5.55-11.2 x 1.73-3.79 μm , y clamidosporas (Figura 3).

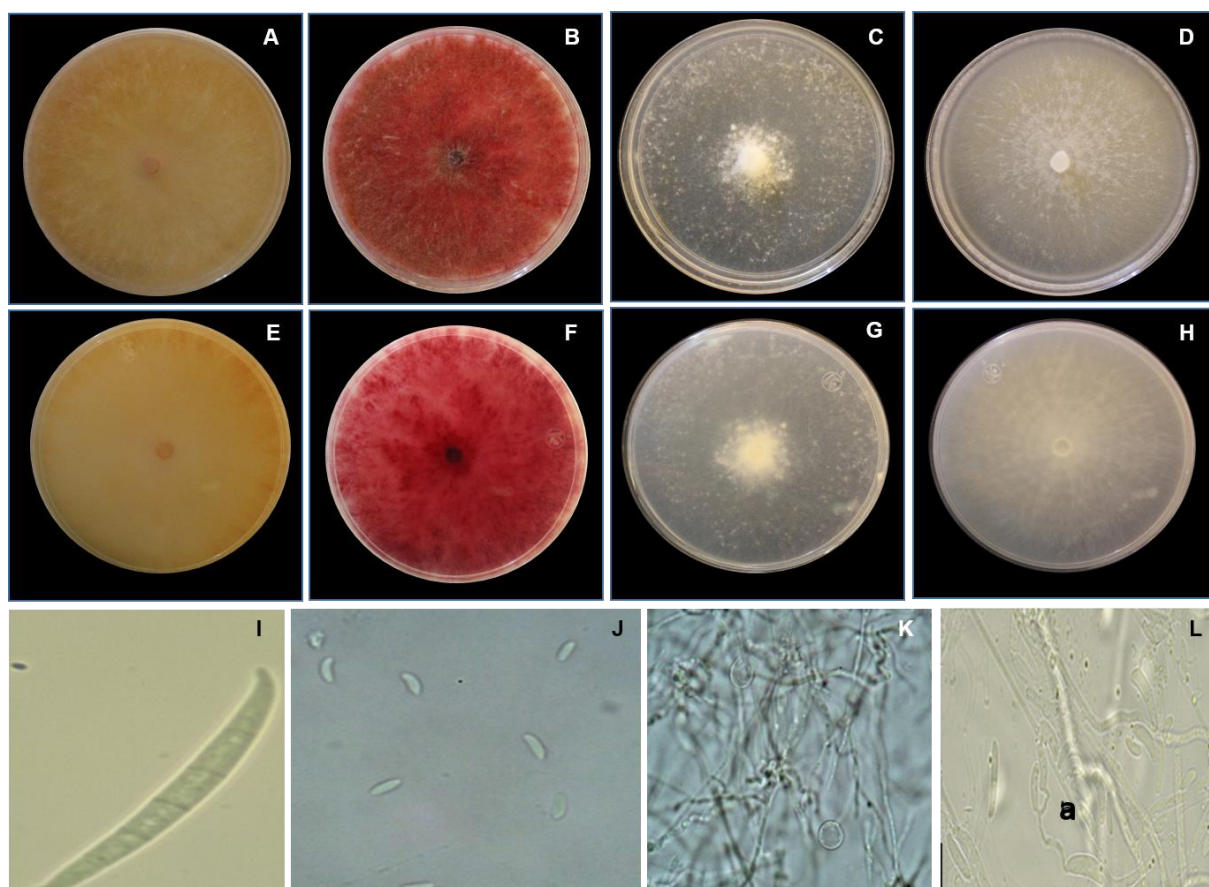


Figura 3. Características de *Fusarium* spp. A y E) Vista frontal y reverso de la colonia en medio de cultivo PDA de *Fusarium* aislamiento 1. B y F) Vista frontal y reverso de la colonia en medio de cultivo SNA de *Fusarium* aislamiento 1. C y G) Vista frontal y reverso de la colonia en medio de cultivo PDA de *Fusarium* aislamiento 2. D y H) Vista frontal y reverso de la colonia en medio de cultivo SNA de *Fusarium* aislamiento 2. I) Macroconidio de *Fusarium* aislamiento 1. J) Microconidios de *Fusarium* aislamiento 2. K) Clamidiosporas de *Fusarium* aislamiento 2. L) Microconidios y fiálides (a) aislamiento 2.

Género *Puccinia*. Las especies del género *Puccinia* se conocen como agentes causales de las royas, considerados como “los grupos de microorganismos fitopatógenos más diversos y con mayor importancia económica mundial en la producción agrícola y forestal” (Zuluaga *et al.*, 2008). El síntoma corresponde a la presencia de pústulas que pueden contener dos tipos de esporas, urediosporas y teliosporas. *Puccinia* 1, se observó con uredias de color rojo anaranjado, esféricas y sin ornamentaciones con un diámetro de 22.53-28 μm . Por otro lado, *Puccinia* 2, se observó que la distribución de las uredias en las hojas de trigo era lineal. La morfología de las uredias fue de color amarillo, ligeramente esféricas y de 27.3-32.05 μm de diámetro (Figura 4).

Géneros *Septoria* y *Zymoseptoria*. Durante el muestreo se encontraron diversos grados de severidad de la septoriosis, los síntomas: halos cloróticos y dentro de ellos, picnidios distribuidos en todo el halo (Figura 5).

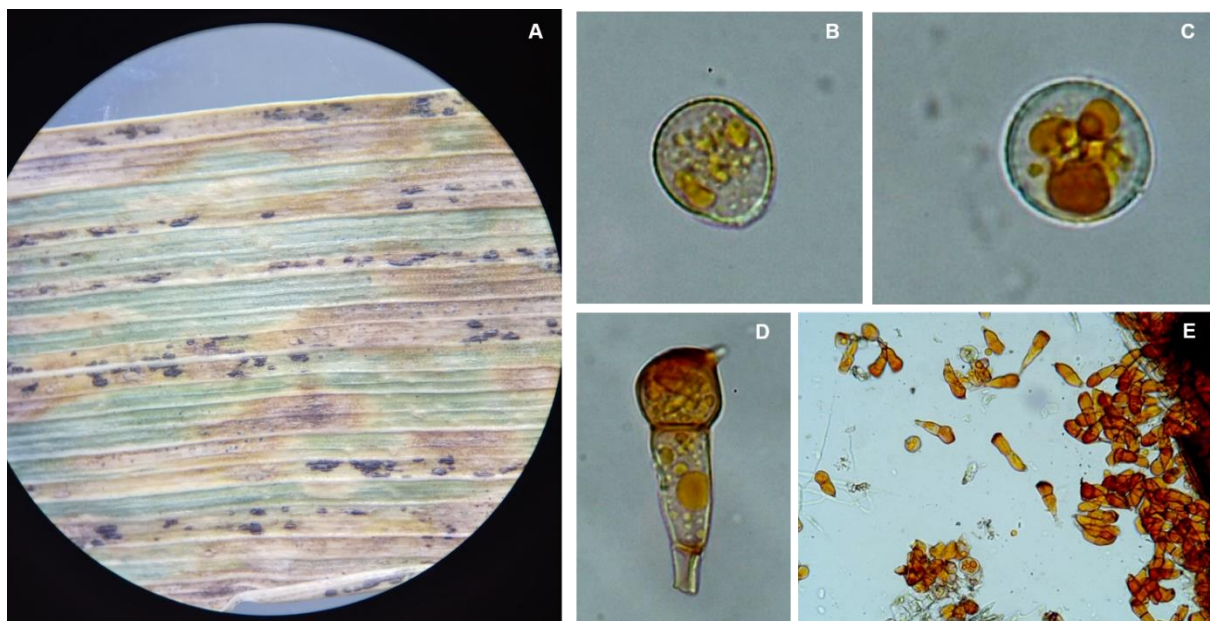


Figura 4. Pústulas de roya. A) Pústulas de roya en hoja de trigo. B) Urediospora de *Puccinia* 1. C) Urediospora de *Puccinia*. D) Teliospora de *Puccinia* 1. E) Teliospora de *Puccinia* 2.

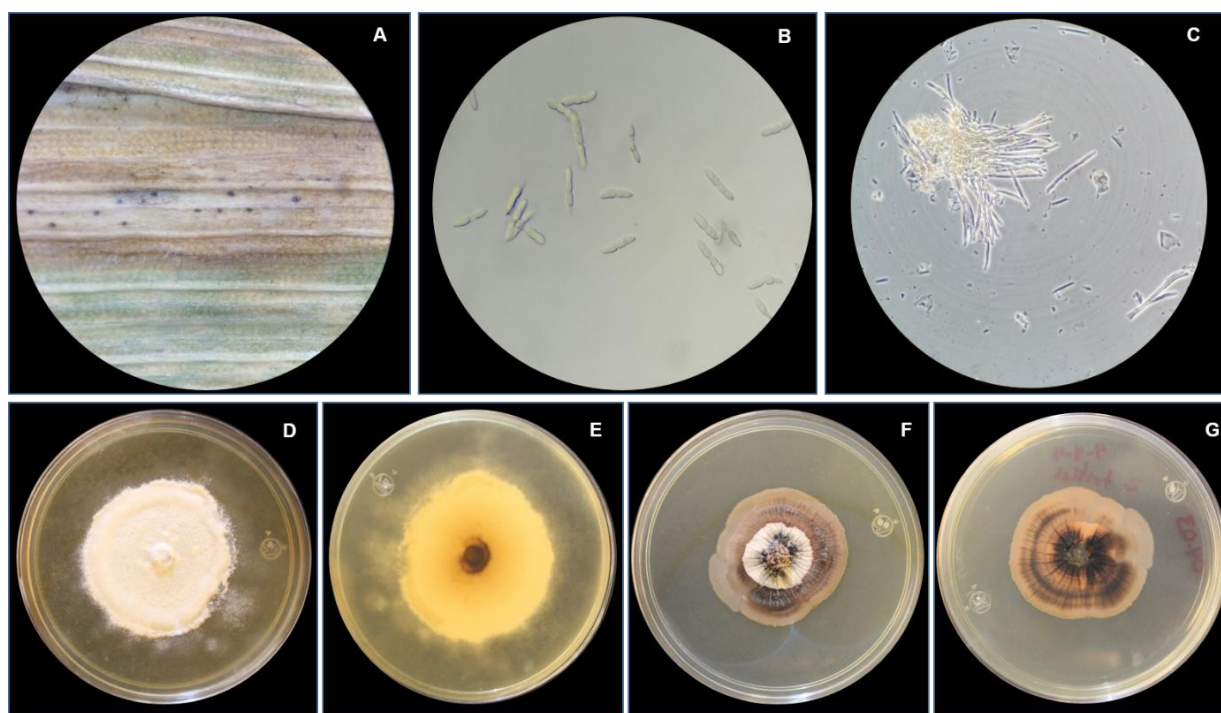


Figura 5. A) Halos cloróticos con picnidios. B) Conidios de *Septoria* sp. C) Conidios de *Zymoseptoria* sp. observado en fase de contraste. D) Vista frontal de la colonia *Septoria* sp. en PDA. E) Reverso de la colonia *Septoria* sp. en PDA. F) Vista frontal de la colonia de *Zymoseptoria* sp. en PDA. G) Reverso de la colonia *Zymoseptoria* sp.

La presencia de *Septoria* y *Zymoseptoria* en ocasiones puede ser diferenciada en el microscopio estereoscópico por una ligera diferencia en el color del picnidio, siendo *Zymoseptoria* de color negro a un tono grisáceo y *Septoria* con color negro a café oscuro.

La forma de la colonia de *Septoria* es ligeramente circular con algunas irregularidades, su superficie es ligeramente convexa y sus orillas ligeramente filamentosas. Los conidios son del tipo didimospora corta y recta, sin ornamentaciones, con color amarillo pálido. El tamaño de los conidios fue de aproximadamente 14.6- 20.2 x 2.86-3.48 μm .

En el caso de *Zymoseptoria* la colonia fue ligeramente circular con algunas irregularidades, su superficie es lisa y con elevación umbeliforme (Figura 6). Cabe mencionar que la colonia de *Zymoseptoria* se desarrolló de dos formas, la primera en estadios tempranos con una consistencia semi-líquida o viscosa de color rosado, y la segunda, cuando la colonia maduró desarrolló micelio de color negro con segmentos blanquecinos. Por otro lado, los conidios fueron filiformes, sin ornamentación, hialinos, ligeramente curvado el tamaño fue de 40-77.3 x 1.6-2.84 μm (Figura 5).

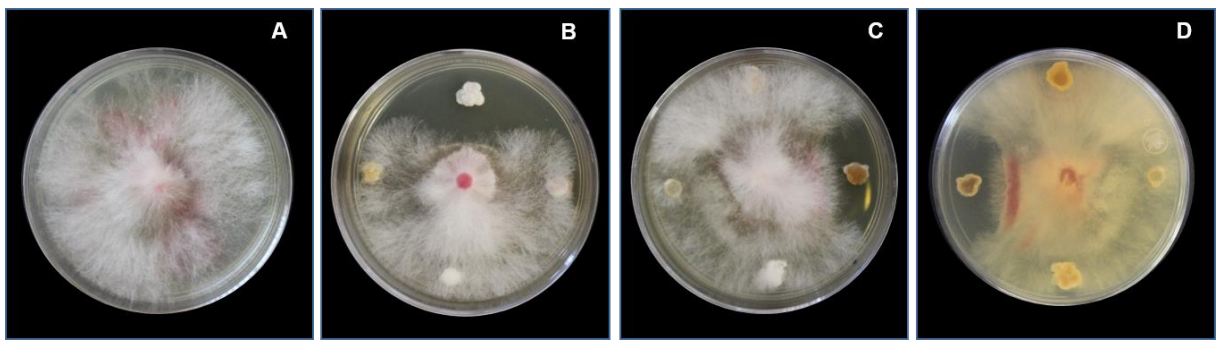


Figura 6. *Fusarium* aislamiento 1, con nueve días de edad. A) Testigo. B) y C) Interacción del hongo con cuatro actinobacterias, vista frontal. D) Interacción del hongo con cuatro actinobacterias, reverso de la caja.

Incidencia de enfermedades

Una vez identificados los principales hongos presentes en las muestras de trigo, se obtuvo la incidencia de acuerdo al estado en que se recolectó (Cuadro 1).

Cuadro 1. Porcentaje de incidencia de hongos asociados a enfermedades en cultivo de trigo muestreados en principales estados productores.

Estado	Porcentaje de incidencia por género			
	<i>Alternaria</i> spp.	<i>Bipolaris</i> spp.	<i>Fusarium</i> spp.	<i>Puccinia</i> spp.
Hidalgo	20.0	4.0	52.0	92.0
México	24.4	2.2	46.7	86.7
Morelos	0.0	0.0	0.0	100.0
Oaxaca	20.0	0.0	20.0	80.0
Puebla	13.3	0.0	60.0	80.0
Tlaxcala	8.9	0.0	35.6	88.9
Promedio	14.4	1.0	35.7	87.9

Considerando la incidencia de los hongos en las muestras evaluadas se encontró que *Puccinia* y *Fusarium*, fueron los más frecuentes con 87.9 y 35.7 %, respectivamente. Por lo anterior, se seleccionó a *Fusarium* para las pruebas *in vitro*. Los géneros de *Septoria* y *Zymoseptoria* no se pudieron confirmar en todos los casos en que se observaron síntomas, por lo cual no se consideró en la incidencia.

Obtención de Actinobacterias y Bioensayos preliminares

De las muestras de suelo analizadas M1B (67) y M2B (77) se aislaron 144 actinobacterias del municipio de Bustamante, Nuevo León. Las actinobacterias con mayor porcentaje de inhibición micelial (42.9 %), corresponden a 17/144 morfotipos, es decir, sólo el 11.1 % de la población evaluada. El resto, no presentó ningún efecto inhibitorio. Los morfotipos seleccionados fueron, de acuerdo a su grupo M1B: M1, M4, M12, M14, M 16, M33, M41, M55, M57, M60; y los del grupo M2B: M3, M15, M27, M45, M70, M73 y M74. En el segundo bioensayo, los morfotipos presentaron una variación en los resultados en comparación con la primera, específicamente el segundo grupo fue el que presentó una disminución de 25.1 % en la inhibición del crecimiento micelial (Cuadro 2).

Cuadro 2. Porcentaje de inhibición de crecimiento micelial (PICM) de bioensayos preliminares de morfotipos de actinobacterias en contra de *Fusarium* aislamiento 1.

Grupo	Primer bioensayo			Segundo bioensayo		
	Morfotipo	PICM (%)	Promedio	Morfotipo	PICM (%)	Promedio
M1B	1	45.5	40.4	1	47.4	40.9
	4	40.9		4	63.2	
	12	40.9		12	52.6	
	14	40.9		14	36.8	
	16	36.4		16	47.4	
	33	40.9		33	57.9	
	41	50.0		41	57.9	
	55	36.4		55	21.1	
	57	31.8		57	-15.8	
M2B	3	50.0	45.4	3	-5.3	20.3
	15	50.0		15	5.3	
	27	31.8		27	-5.3	
	45	54.5		45	36.8	
	70	31.8		70	21.1	
	73	40.9		73	21.1	
	74	59.1		74	68.4	

Las actinobacterias seleccionadas de los bioensayos preliminares fueron M1B M4, M1B M33, M1B M41, M2B M60 y M2B M74, mismas que presentaron un PICM mayor de 40 %, comprobando que algunas actinobacterias afectan el crecimiento micelial de *Fusarium* morfotipo 1 a los dos días de la siembra (Figura 6).

Bioensayo de confrontación dual y tasa de crecimiento

Si bien se destaca la capacidad de inhibición de algunos aislamientos, también se observa mayor grado de especificidad, considerando que hay diferentes rangos en el PICM de acuerdo a su exposición al hongo de *Fusarium*. Sobresalen estadísticamente tres morfotipos M1B M4, M1B M33 y M2B60 con los mayores porcentajes de inhibición; no obstante, cada uno tuvo mayor efectividad con uno de los aislados evaluados. M1B M4 tuvo mayor efectividad con *Fusarium* aislamiento 3, M1B33 con *Fusarium* aislamiento 2 y M2B M60 con *Fusarium* aislamiento 1 (Cuadro 3 y Figura 7).

Cuadro 3. Porcentaje de inhibición del crecimiento micelial (PICM) de tres aislamientos del género *Fusarium* de trigo y confrontadas con siete morfotipos de actinobacterias.

Grupo	Morfotipo	PICM por aislamiento de <i>Fusarium</i>					
		<i>Fusarium</i> aislamiento 1		<i>Fusarium</i> aislamiento 2		<i>Fusarium</i> aislamiento 3	
M1B	M1	8.0	e	6.2	e	8.8	d
	M4	43.8	b c	42.5	a b	66.9	a
	M16	17.2	d	11.4	d	4.9	e
	M33	48.8	a b	47.1	a	47.9	b
	M41	38.3	c	31.3	c	43.4	b
M2B	M60	59.8	a	29.1	c	59.8	a
	M74	18.8	d	16.3	d	23.0	c

²Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

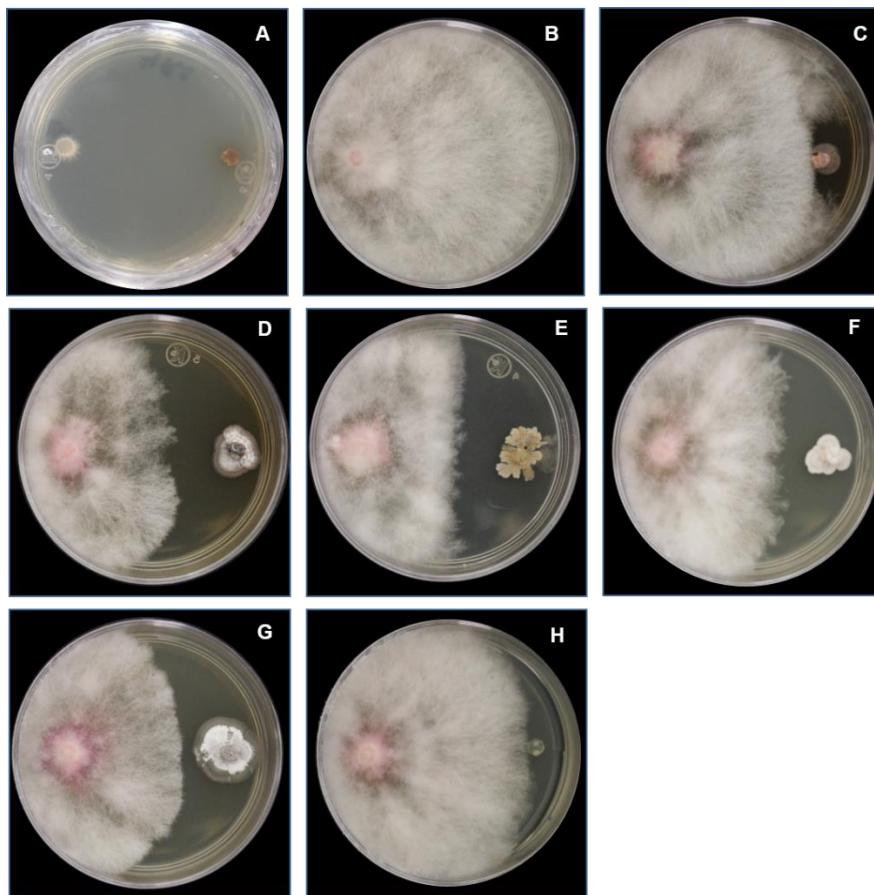


Figura 7. Confrontación dual con *Fusarium* aislamiento 1. A) Distribución de los discos de *Fusarium*. B) Crecimiento de la colonia testigo de *Fusarium* aislamiento 1. C) *Fusarium* aislamiento 1 y morfotipo M1BM1. D) *Fusarium* aislamiento 1 y morfotipo M1B4. G) *Fusarium* aislamiento 1 y morfotipo M2B60. H) *Fusarium* aislamiento 1 y morfotipo M2B74. I). Crecimiento micelial de testigo *Fusarium* aislamiento 1.

En el Cuadro 4, se puede observar que *Fusarium* aislamiento 1 fue el que presentó mayor velocidad de crecimiento a partir del tercer día de establecido, por lo que la

diferencia de respuesta entre aislamientos de ese género estuvo en función de la velocidad de crecimiento del hongo.

Cuadro 4. Tasa de crecimiento de *Fusarium* aislados de hojas de trigo.

Hongo	Tasa de crecimiento (cm día ⁻¹)								
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9
<i>Fusarium</i> aislamiento 1	0.3	0.30	0.95	0.95	0.74	0.39	0.37	100	0.3
<i>Fusarium</i> aislamiento 2	0.51	0.52	0.53	0.44	0.39	0.33	0.28	0.29	0.28
<i>Fusarium</i> aislamiento 3	0.36	0.38	0.66	0.7	0.487	0.512	0.462	0.162	0.115

DISCUSIÓN

De acuerdo con Savary *et al.* (2019) la roya junto con el tizón de la espiga por *Fusarium*, manchas foliares y oídio han provocado la pérdida del rendimiento de trigo superiores al 1 % a nivel mundial, lo que podría representar la evolución y resistencia de los patógenos a las estrategias de manejo que se han aplicado a lo largo del tiempo.

En este estudio se encontró la presencia *Puccinia* spp. y *Fusarium* spp., principalmente; *Alternaria* spp., *Bipolaris* spp., *Septoria* spp. y *Zymoseptoria* spp., como hongos con menor frecuencia en la región de los Valles Altos, lo cual en general coincide con lo reportado por Mariscal-Amaro *et al.* (2017) quienes mencionan a *Bipolaris sorokiniana*, *Alternaria alternata*, *Septoria tritici*, *Fusarium equiseti*, *F. proliferatum*, *F. moniliforme*, *Curvularia* spp. y *Cladosporium* spp., como hongos fitopatógenos presentes en hojas de trigo con alto potencial de causar síntomas de pudrición en raíz y tallo de la planta, así como, contaminar el grano y generar pudriciones en almacén también.

En 2021, el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) por medio de la Dirección General de Sanidad Vegetal (DGSV), promovió una estrategia operativa para el manejo fitosanitario de trigo, para el caso de especies del género *Puccinia* y *Fusarium* se habla solo del control químico y únicamente como último recurso (SENASICA, 2021). Anteriormente recomendaban el uso de *Trichoderma harzianum* como control biológico del tipo preventivo en semilla; sin embargo, el manejo integral requiere de tratamientos aplicables no solo en semilla, sino también en plántula o en puntos críticos del desarrollo.

El uso de actinobacterias para el control de enfermedades, se ha explorado a nivel *in vitro*: la actinobacteria AAH5 aislada de muestras de suelo de Saltillo, Coahuila, mostraron efectos de inhibición en un 49.4 % contra *Fusarium* spp. (Dávila *et al.*, 2013), lo cual coincide con lo obtenido con este trabajo de investigación, aunque también se logró destacar lo siguiente: 1) Es posible que exista un efecto potenciador entre actinobacterias cuando comparten un mismo espacio; 2) Existe especificidad entre el morfotipo de la actinobacteria y el aislamiento del hongo.

La especificidad, así como el posible efecto potenciador puede deberse al complejo proceso de señalización química entre organismos, como es el caso de bacterias fitopatógenas y las plantas. De acuerdo con Emmert y Hadelsman (1999) las actinobacterias poseen un alto grado de especificidad en relación a la capacidad de

enfermar o proteger a algunas plantas, es decir, las actinobacterias que son benéficas para algunas plantas, para otras puede ser causantes de enfermedades. Por otro lado Gudesblat (2007) menciona que las bacterias como parte de un proceso evolutivo, desarrollaron diferentes mecanismos para combatir las defensas naturales de la planta así como para detectar la presencia de bacterias congéneres con las que pueden colaborar para lograr la expresión de una infección, por lo que posiblemente las actinobacterias evaluadas en los bioensayos pudieron detectar la presencia de las otras actinobacterias (en la misma caja Petri) con las que tuvieron compatibilidad y potencializaron el efecto inhibitor de crecimiento en el hongo, pero al realizar la confrontación dual, la actinobacteria actuó por sí sola y el efector inhibitor fue menor. Lo anterior se observa en el caso del morfotipo M1B M1, donde tuvo un efecto de inhibición del 45.5 – 47.4 % en los bioensayos y en la confrontación dual (en la que se mantuvo la interacción entre la actinobacteria y el hongo) mantuvo un rango de 6.1 – 8.8 % de inhibición del crecimiento micelial. Otra posible razón, es la diferencia entre las distancias de los discos de la actinobacteria y los discos del hongo, como lo indica Rodríguez-Villareal *et al.* (2014) en el que sugiere que es un efecto de la concentración de compuestos no volátiles, pues existe una relación directa entre la cercanía de la colonia del actinomiceto y la concentración de compuestos, por lo que el hongo al estar más cerca de la actinobacteria en los bioensayos, estuvo en contacto de una concentración mayor de metabolitos secundarios (aunque no de la colonia de la actinobacteria) y se vio reflejado en el porcentaje de inhibición. Cabe mencionar que los metabolitos secundarios producidos por las actinobacterias son de vital importancia tanto para el mantenimiento de la especie como para la señalización y colonización de su hábitat (González *et al.*, 2005). Sin embargo, además de los metabolitos secundarios, la competencia por el espacio y nutrientes también es un mecanismo de acción común en agentes de biocontrol frente a patógenos (Infante *et al.*, 2008).

CONCLUSIONES

Se identificaron tres morfotipos de actinobacterias con una actividad inhibitoria del crecimiento micelial sobre el género *Fusarium*. Las actinobacterias inhibieron de manera diferencial con los tres aislados de *Fusarium*, hongo asociado al atizonamiento en hojas indicando así una especificidad, desde un 26.3 hasta 36.4 % de inhibición en el crecimiento micelial. El uso de actinobacterias son una potencial alternativa para el control biológico de hongos patógenos de plantas, y se requiere de una extensa investigación para caracterizar la química de los compuestos de cada morfotipo y así como determinar la interacción que tienen con otras actinobacterias.

Limitaciones

Una de las limitaciones de este trabajo de investigación es la producción de actinobacterias, como en otros organismos vivos, se requiere de mantener la viabilidad, concentración y cantidad suficiente para mantener los efectos antagónicos.

Conflictos de intereses

Ninguno de los autores tiene conflicto de interés con el presente trabajo.

Fondos

Este trabajo de investigación fue financiado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Contribuciones de autores

Diseño y desarrollo del proyecto Dra. Rivas-Valencia, Dra. Robles-Yerena y MC. Sánchez-Alonso. Aislamiento de hongos asociados a manchas foliares Dra. Robles Yerena, Dra. Rivas-Valencia, MC. Sánchez-Alonso y Dra. Rodríguez-García. Aislamiento de actinobacterias Dr. Rodríguez-Villareal y Dr. Rodríguez-Guerra. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

REFERENCIAS

- Ackermann MD y Pereyra S. 2010. Fusariosis de la espiga de trigo y cebada. Manejo de enfermedades de trigo y cebada. *In: Manejo de Enfermedades en Trigo y Cebada*. Primera ed.; Pereyra S, Díaz de Ackerman M, Germán S, Cabrera K. (Eds); Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología de INIA: Andes 1365, Piso 12. Montevideo – Uruguay, 2011; Volumen 1. pp. 95-109. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/3084/1/UY.INIA.ST.189.p.139-157-PEREYRA.pdf> (consultado el 15 de marzo de 2025).
- Álvarez A. *et al.* 2017. Actinobacteria: Current research and perspectives for bioremediation of pesticides and heavy metals. *Chemosphere* 166. 41-62. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.09.070>
- Barka EA. *et al.* 2016. Taxonomy, physiology, and natural products of *Actinobacteria*. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 80. 1-43. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00019-15>
- Cabrera R, García-López H, Aguirre-von-Wobeser E, Orozco-Ávitia JA y Gutiérrez-Saldaña AH. 2020. Amycolatopsis BX17: An actinobacterial strain isolated from soil of a traditional milpa agroecosystem with potential biocontrol against *Fusarium graminearum*. *Biological Control* 147. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104285>
- Cerutti, M. 2019. Trigo y revolución verde en el noroeste de México (1903-1970). *Mundo Agrario*, 20, e103. <https://doi.org/10.24215/15155994e103>
- Cruz DD y Leos R JA 2018. La producción de maíz en Sinaloa, México y sus implicaciones para el medio ambiente. *Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales* 25, 100-118. <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.25.2019.3705>
- Emmert EA y Hadelsman J. 1999. Biocontrol of plant disease: a (Gram-) positive perspective. *FEMS Microbiol Lett*, 171, 1-9. DOI: 10.1111/j.1574-6968.1999.tb13405.x
- Evangelista MZ, Quiñones AEE y Rincón GE. 2017. Potencial biotecnológico de las actinobacterias aisladas de suelos de México como fuente natural de moléculas bioactivas: compuestos antimicrobianos y enzimas hidrolíticas. *Temas de Ciencia y Tecnología* 21, 39-51.
- FAO, Food And Agriculture Organization. 2025. El estado mundial de la agricultura y la alimentación: efectos económicos de las plagas y enfermedades transfronterizas. Disponible en línea: <http://www.fao.org/docrep/003/x9800s/x9800s16.htm> (consultado en 15 de marzo de 2025).
- Gilchrist-Saavedra L, Fuentes-Dávila G, Martínez-Cano C, López-Atilano RM, Duveiller E, Singh RP, Henry M e García AI. 2005. Guía práctica para la identificación de algunas enfermedades de trigo y cebada. Segunda ed; CIMMYT. México. 2005; 75p.
- Glick BR. 1995. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Canadian Science Publish Journal Microbiology* 41. 109-117. <https://doi.org/10.1139/m95-015>

- González I, Ayuso-Sacido A, Anderson A y Genilloud O. 2005. Actinomycetes isolated from lichens: Evaluation of their diversity and detection of biosynthetic gene sequences. FEMS Microbiology ecology 54. 401-415. <https://doi.org/10.1016/j.femsec.2005.05.004>
- Gudesblat GE. 2007. Señalización en la interacción entre bacterias fitopatógenas y su hospedador. Química Viva 6. 36-47.
- Infante D, Martínez B, González N y Reyes Y. 2009. Mecanismo de acción de *Trichoderma* frente a hongos fitopatógenos. Revista Protección Vegetal 24. 14-21.
- Jáquez-Matas SV, Pérez-Santiago G, Márquez-Linares MA y Pérez-Verdín G. 2022. Impactos económicos y ambientales de los plaguicidas en cultivos de maíz, alfalfa y nogal en Durango, México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental 38. 219-233.
- Leslie J. y Summerell BA. 2006. The *Fusarium*. Laboratory Manual. Primera ed.; Blackwell Publishing; Iowa, USA, 369p.
- Leyva-Mir SG, Vega-Portillo HE, Villaseñor-Mir HE, Tlapal-Bolaños B, Vargas-Hernández M, Camacho-Tapia M, Tovar-Pedraza JM. 2017. Caracterización de especies de *Fusarium* causantes de pudrición de raíz del trigo en el Bajío, México. Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences 33. 142-151. <http://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902017005000404>
- Mariscal-Amaro LA, Solís-Moya E, Leyva-Mir SG, Anaya-López JI y Villaseñor-Mir HE. 2017. Microflora asociada a manchas foliares y tizones en trigo (*Triticum aestivum* L.) de riego en el Bajío, México. Agrociencia 51. 189-200.
- Mata-Santoyo CI, Leyva-Mir SG, Camacho-Tapia M, Tovar-Pedraza JM, Huerto-Espino J, Villaseñor-Mir HE, García-León E. 2018. Agresividad de aislados de *Bipolaris sorokiniana* y *Alternaria alternata* en variedades de trigo en México. Revista Mexicana de Fitopatología 36. 432-443. DOI: 10.18781/R.MEX.FIT.1803-3
- Morales-Rodríguez I, Yañez-Morales MJ, Silva-Rojas HV, García-de-los-Santos G y Guzmán-de-Peña DA. 2007. Biodiversity of *Fusarium* species in Mexico associated with ear rot in maize, and their identification using a phylogenetic approach. Mycopathologia 163. 31-39. DOI: 10.1007/s11046-006-0082-1.
- OMS, Organización Mundial de la Salud. Residuos de plaguicidas en los alimentos. 2022. Disponible en línea: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/pesticide-residues-in-food> (consultado el 15 de marzo de 2025).
- ONU, Organización de las Naciones Unidas. Ya somos 8 mil millones de personas en el mundo. 2022. Disponible en línea: <https://onuhabitat.org.mx/index.php/ya-somos-8-mil-millones-de-personas> (consultado el 15 de marzo de 2025).
- Parada RB, Marguet ER y Vallejo M. 2017. Aislamiento y caracterización parcial de actinomicetos de suelos con actividad antimicrobiana contra bacterias multidrogo-resistentes. Revista Colombiana de Biotecnología 19, 17-23. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v19n2.64098>
- Perelló A, Aulicino M, Martinelli C, Regueira M, Moreno V and Stenglein S. 2015. Caracterización morfo-cultural de nuevos grupos taxonómicos de *Alternaria* asociados a enfermedades del trigo en Argentina. Revista de Ciencias Morfológicas 17. 1- 15.
- Prescott JM, Burnett PA y Saari EE. 1986. Enfermedades y plagas de trigo: una guía para su identificación en campo. Primera ed.; Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo: Lisboa, Ciudad de México, México: 3-148.
- Quiñones AEE, Qui Z JA, Rincón GE, Evangelista MZ, López PL y Palacios A AH. 2014. Actinomicetos del suelo para el control biológico del hongo fitopatógeno *Fusarium solani*. Memorias en extenso: XXXVIII Congreso de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C., Suplemento Especial 1, 271- 276.
- Rangel-Castillo AE, Valadez-Moctezuma E y Lozoya-Saldaña H. 2017. Caracterización molecular y patogénesis de *Fusarium* asociado al amarillamiento del trigo. Revista Fitotecnia Mexicana 2017 40. 439 - 457. <https://doi.org/10.35196/rfm.2017.4.439-450>
- Rodríguez-Eugenio N, McLaughlin M and Pennock D. 2019. La contaminación del suelo: una realidad oculta. Primera ed.; Food And Agriculture Organization: Roma. 144p.
- Rodríguez VRA, Peña C KI, Fernández CE, Almeyda L IH, Hernández TI, Acosta DE y Rodríguez GR. 2014. Antagonismo e identificación genética de un actinomiceto con potencial para el biocontrol de *Phytophthora capsici* Leonian (PERONOSPORALES: PYTHIACEAE) biocontrol. Revista Vedralia 15. 5 -15.

- SADER, Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. Maíz, frijol, arroz y trigo, los granos básicos de México. 2022 Disponible en línea: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-frijol-arroz-y-trigo-los-granos-basicos-de-mexico> (consultado el 15 de marzo de 2025).
- SADER, Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. Despliega Agricultura programas y acciones para impulsar la producción de trigo, segundo cereal más consumido en México. 2023. Disponible en línea: <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/despliega-agricultura-programas-y-acciones-para-impulsar-la-produccion-de-trigo-segundo-cereal-mas-consumido-en-mexico?idiom=es> (consultado el 15 de marzo de 2025).
- Salazar L *et al.* 2001. Efectividad de aislamientos de *Trichoderma* spp. en el control de la fusariosis del tomate en condiciones in vitro e in vivo. *Revista Bioagro* 23. 185 – 190.
- Sánchez GBM, Ramírez-Pimentel JG, Guevara-Acevedo LP, Raya-Pérez JC, Covarrubias-Prieto J y Mora-Áviles MA. 2019. Actinobacterias con potencial antagonico *in vitro* a hongos fitopatógenos y promoción del crecimiento en plantas de chile. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 23. 339- 344.
- SENASICA. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Estrategia operativa para el manejo fitosanitario del cultivo de trigo panificable en apoyo a la producción para el bienestar. 2021. Disponible en línea: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/640488/EO2021-TRIGO-25-05.pdf> (consultado del 15 de marzo de 2025).
- Zillunsky FJ. 1984. Guía para la identificación de Enfermedades en Cereales de Grano Pequeño. Primera ed: Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo: El Batán, México. 140p.
- Zuluaga CM. 2009. Generalidades de los uredinales (Fungi: Basidiomycota) y de sus relaciones filogenéticas. *Acta biológica* 14. 1-16.