



Endophytic fungi as growth promoters in *Cucumis sativus* and biocontrol of downy powdery mildew

Hongos endófitos como promotores de crecimiento en *Cucumis sativus* y biocontrol de cenicilla

Diego Montañez-De Azcué¹, Felicia Amalia Moo-Koh^{1*}, Jairo Cristóbal-Alejo¹, Arturo Reyes-Ramírez¹, María Marcela Gamboa-Angulo², Alberto Uc-Vázquez³

¹Laboratorio de Fitopatología, Tecnológico Nacional de México/Campus Conkal, Avenida Tecnológico s/n, 97345, Conkal, Yucatán, Mexico.

²Unidad de Biotecnología, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Calle 43 No. 130 Chuburná de Hidalgo, 97205, Mérida, Yucatán, Mexico.

³Laboratorio de Biotecnología vegetal, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. Unidad Sureste. Km 5.5 Carretera Sierra Papacal-Chuburná Puerto s/n, 97302, Mérida, Yucatán, Mexico.

*Corresponding author

E-mail address: felicia.mk@conkal.tecnm.mx (F. A. Moo-Koh)

Article history:

Received: 16 April 2026 / Received in revised form: 15 July 2026 / Accepted: 20 August 2026 / Published online: 2 September 2026.

<https://doi.org/10.29267/mxjb.2026.11.3.47-64>

ABSTRACT

Endophytic fungi are microorganisms that live inside plant tissues without causing symptoms to the host; but they provide adaptive advantages such as growth stimulation and disease tolerance. The potential of three strains of endophytic fungi as growth promoters and as biocontrol agents for downy powdery mildew in the creole cultivar *Cucumis sativus* from Yucatan, Mexico, was evaluated. Concentrations of 1×10^6 spores of endophytic strains of *Aspergillus flavus*, *Lasiodiplodia pseudotheobromae*, and *Trichoderma longibrachiatum* were inoculated into *C. sativus* plants under protected conditions. The endophyte *T. asperellum* was included as a positive control and had been previously evaluated. Growth variables were measured, and powdery mildew damage was assessed using a graphical severity scale. Inoculated strains significantly increased shoot fresh weight, root dry weight,

dry biomass, and flowering. Only *Trichoderma* spp. strains increased root length, but only *T. asperellum* contributed to plant height and reduced powdery mildew infection.

Key words: *Aspergillus*, *Lasiodiplodia*, phytopathogenic fungi, severity scale, *Trichoderma*.

RESUMEN

Los hongos endófitos son microorganismos que habitan dentro de los tejidos vegetales sin ocasionar infecciones a la planta hospedera; por el contrario, brindan ventajas adaptativas como la estimulación del crecimiento y la tolerancia contra fitopatógenos. Se evaluó el potencial de tres cepas de hongos endófitos como promotores de crecimiento y agentes de biocontrol de cenicilla en el cultivar criollo de Yucatán, México, *Cucumis sativus*. Concentraciones de 1×10^6 esporas de cepas endófitas de *Aspergillus flavus*, *Lasiodiplodia pseudothaeobromae* y *Trichoderma longibrachiatum* fueron inoculadas en plantas de *C. sativus* en condiciones protegidas. Se incluyó al endófito *Trichoderma asperellum* como testigo positivo y previamente evaluado. Se midieron las variables de crecimiento y se estudió el daño provocado por cenicilla mediante una escala gráfica de severidad. Las cepas inoculadas incrementaron significativamente el peso fresco de la parte aérea de la planta, el peso seco de la raíz, la biomasa en seco y la floración. Solo las cepas de *Trichoderma* spp. aumentaron la longitud de la raíz, pero solo *T. asperellum* contribuyó a la altura de la planta y en la disminución de la infección por cenicilla.

Palabras clave: *Aspergillus*, escala de severidad, hongos fitopatógenos, *Lasiodiplodia*, *Trichoderma*.

1. Introducción

Las cucurbitáceas cuentan con una reconocida importancia cultural y alimentaria, principalmente en Mesoamérica (Eguiarte *et al.*, 2018). En la península de Yucatán destaca el pepino blanco, pepino indio o *sak* pepino (*Cucumis sativus*), un cultivar criollo cuyos frutos son ampliamente comercializados y consumidos en la región (Lira Saade, 2004). Entre las enfermedades que pueden presentarse en estos cultivos regionales, podemos encontrar a la cenicilla, una enfermedad fúngica común y extendida que afecta el follaje, la floración, el vigor y el rendimiento de diversos cultivos de cucurbitáceas como calabaza, sandía, melón y pepino. Se identifica por la presencia de hojas amarillentas, con crecimientos en forma de polvo blanco o gris en las superficies de diferentes órganos, defoliación y frutos con escaldaduras (Pfeuffer *et al.*, 2017). Se trata de una enfermedad biótrofa, que para las cucurbitáceas es producida principalmente por el género *Erysiphe* (Rosa-Márquez *et al.*, 2012; Yáñez-Juárez *et al.*, 2014). Aunque las cenicillas son comunes y causan daños considerables en áreas templadas, son aún más comunes y severas en lugares con clima cálido y seco (Félix-Gastélum *et al.*, 2017).

Actualmente, la estrategia recurrente para el control de enfermedades como la cenicilla se basa en la exposición de cultivos a fungicidas de síntesis química, cuyo uso prolongado e indiscriminado está relacionado con la aparición de cepas resistentes (Carmona y Sautua,

2017), impactos ambientales (García-Delgado *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2019) y deterioro de la salud humana (Lascano *et al.*, 2019).

Una alternativa sustentable al uso de fungicidas químicos es la integración de microorganismos benéficos a los agrosistemas. Entre estos destacan los hongos endófitos; organismos presentes en los tejidos vivos de las plantas, en los cuales pueden habitar durante parte de su ciclo de vida o de forma permanente (Bacon y White, 2016). Estos confieren a sus plantas hospederas ventajas adaptativas de tolerancia a las enfermedades, a través de mecanismos como la inducción de resistencia, una eficiente competencia por espacio y recursos, parasitismo y síntesis de compuestos inhibidores para otros organismos (Fontana *et al.*, 2021).

Los hongos endófitos también están relacionados con la promoción del crecimiento vegetal, desencadenado por la síntesis de compuestos como giberelinas, flavonoides y citoquininas, que incrementan la altura, diámetro del tallo, longitud de raíz y biomasa (Candelero *et al.*, 2015; Moo-Koh *et al.*, 2017). También participan en el aumento de la superficie foliar, mejoran la asimilación de nitrógeno (Liu *et al.*, 2016) y promueven la germinación y el crecimiento de la plántula (Li *et al.*, 2017).

Debido a sus exitosas estrategias mutualistas, se favorece la implementación de los hongos endófitos como estrategia para un manejo sustentable y con amplios beneficios en la agricultura. Sus efectos como promotores de crecimiento y sanidad en cucurbitáceas están bien documentados. En calabazas (*Cucurbita pepo* var. *pepo*) inoculadas con hongos endófitos se reportó mayor vigor, peso fresco y peso seco, a pesar de estar infectadas con el fitopatógeno *Verticillium dahliae*. Aunque no se demostró la disminución en los síntomas de la enfermedad, sí se reportó la reducción de unidades formadoras de colonia (Tymon *et al.*, 2020). En sandía (*Citrullus lanatus*) se registró la reducción de hasta el 0% de infecciones por *Macrophomina phaseolina* y *Neocosmospora cucurbitae* y en melón (*Cucumis melo*) por *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis*, al aplicar en estos cultivos una cepa endófito de *Trichoderma lentiforme* (González *et al.*, 2020). En pepino verde (*Cucumis sativus*) se demostró la eficacia de 35 cepas de hongos endófitos en el control de *F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum*, *Rhizoctonia solani* y *Sclerotinia sclerotiorum*, además de efectos promotores de germinación y crecimiento (Huang *et al.*, 2020).

En estudios previos con cepas de hongos endófitos aisladas de calabazo (*Lagenaria siceraria*) y pepino blanco (*C. sativus*), ambos cultivares criollos de Yucatán, México, se demostraron inhibiciones mayores al 80% contra hongos fitopatógenos en cultivos *in vitro* (Montañez-De Azcué *et al.*, 2024).

En este contexto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial de cepas de hongos endófitos aisladas de cucurbitáceas criollas de Yucatán como promotoras de crecimiento y como agentes de biocontrol de la cenicilla en pepino blanco, además, se diseñó y validó una escala diagramática para cuantificar la severidad por infección de cenicilla en pepino blanco bajo condiciones protegidas. Esto con el fin de utilizar la severidad de la enfermedad como una variable estandarizada que puede ser cuantificable y comparable.

2. Materiales y métodos

2.1. Microorganismos

Las cepas de hongos endófitos de cultivares criollos de *C. sativus* y *L. siceraria* de la Península de Yucatán fueron aisladas e identificadas molecularmente en estudios previos (Montañez-De Azcué y Cristóbal-Alejo, 2024; Montañez-De Azcué *et al.*, 2024). Las especies identificadas y su número de accesión de GenBank se presentan en el material suplementario S1. Los hongos endófitos *Aspergillus flavus*, *Lasiodiplodia pseudotheobromae* y *Trichoderma longibrachiatum* fueron los seleccionados para el presente estudio por sus propiedades de crecimiento, competencia y antibiosis (S1). Estas cepas fúngicas, fueron obtenidas del cepario del Laboratorio de Fitopatología del TecNM/Campus Conkal.

2.2. Aplicación de hongos endófitos

Los hongos endófitos se reactivaron en medio de cultivo PDA, y se dejó crecer por siete días, para realizar las soluciones de esporas de éstos. A la par, las semillas de pepino blanco fueron germinadas en charolas de poliestireno, previamente sometidas a desinfección con cloro al 2% y doble lavado con agua destilada. Siete días después de la germinación, las plántulas se trasplantaron en macetas de 10 L con sustrato estéril compuesto por suelo de monte y composta en proporción 4:1. El riego fue constante por las mañanas y se fertilizó con solución nutritiva 19N-19P-19K a 1 gL⁻¹. Las plantas se mantuvieron bajo condiciones protegidas en un invernadero. El diseño experimental fue completamente al azar, donde los tratamientos evaluados corresponden a cada una de las cepas: Af-15 (*A. flavus*), Lp-22 (*L. pseudotheobromae*), Tl-36 (*T. longibrachiatum*) y Ta13-17 testigo (cepa endófito de *T. asperellum* aislada de chile dulce cv. Criollo *Capsicum annum*), esta última con efectos promotores de crecimiento y de biocontrol, evaluados en tomate (*Solanum lycopersicum*) (Celis-Perera *et al.*, 2023). Se contemplaron diez repeticiones por tratamiento. Cada planta constituyó una repetición. Se incluyeron diez plantas como testigo negativo, sin la aplicación de hongos endófitos. Los tratamientos con hongos endófitos se inocularon con 1 mL de una solución de 1 x 10⁶ esporas a través de un orificio en el sustrato estéril, cuidando de no dañar las raíces de la planta. Una segunda aplicación se realizó 15 días después del trasplante.

2.3. Diseño de la escala logarítmica diagramática de severidad de cenicilla

La cenicilla se presenta por lo general en cucurbitáceas en condiciones de invernadero, por lo que en el presente estudio no se requirió su inoculación. Después de los 45 días del trasplante, se detectaron signos correspondientes a cenicilla sobre las hojas de pepino. Dicha enfermedad se estableció en el cultivo por causas naturales. Se tomaron 33 fotografías digitales de hojas, con diferente tamaño y grado de severidad. El área foliar total y el área total afectada de cada hoja se obtuvieron mediante el software ImageJ (versión 2024, EUA). Con los resultados se obtuvo el porcentaje de severidad real de cada hoja, mediante la fórmula de Fragoso-Benhumea *et al.* (2022) (S2):

$$\text{Severidad} = (\text{área enferma en mm}^2 / \text{área total de la hoja en mm}^2) \times 100$$

Con los diferentes porcentajes de tejido sano y enfermo se generó una escala logarítmica de severidad constituida por siete clases a través del programa 2LOG (Osada-Velázquez y Mora-Aguilera, 1997).

2.3.1. Validación de la escala logarítmica diagramática de severidad de cenicilla

La validación de la escala se realizó mediante dos evaluaciones seriadas con la participación de 13 evaluadores sin experiencia previa en la cuantificación de la enfermedad. En cada evaluación, se utilizaron 33 fotografías de hojas con diferentes niveles de severidad, a las cuales cada evaluador asignó el porcentaje de severidad observado, con apoyo de la escala diagramática impresa a color en una hoja tamaño carta y con sus propias anotaciones de los valores asignados. Una semana después se realizó la segunda evaluación con los mismos evaluadores, las mismas imágenes y con ayuda de la escala generada. Con los datos de las dos evaluaciones se calculó la precisión (r^2) y la exactitud ($b1$) de los evaluadores, mediante un análisis de regresión lineal simple; con la severidad real como la variable independiente y la severidad estimada como la variable dependiente, con valores de 1.0 indicando máxima precisión y exactitud. Estos datos se calcularon utilizando el programa SAS (versión 2024, EE.UU.).

2.4. Evaluación del efecto biocontrolador en contra de cenicilla

A los cinco días previos al muestreo destructivo se llevaron a cabo estimaciones de la severidad de la cenicilla en el cultivo, mediante la escala previamente elaborada (Fig.1). Los datos categorizados se sustituyeron por porcentaje de infección (PI) con la fórmula de Townsend y Heuberger (1943). Los PI se normalizaron mediante la función $\text{Arc sen}^{-1} \sqrt{x+0.05}$ para someterlos a análisis de varianza con comparaciones de medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) mediante el software Minitab Statistical (versión 2024, EUA).

2.5. Evaluación de los hongos endófitos como promotores de crecimiento

A los 80 días del trasplante se realizó un muestreo destructivo de diez plantas por tratamiento. Se registró la longitud de la parte aérea de la planta (LP), el peso fresco de la parte aérea (PFA), el peso fresco de la raíz (PFR) y la longitud de la raíz (LR). Para obtener el peso en seco de la raíz (PSR) y la biomasa en seco (BS), las plantas se colocaron en una estufa de secado a 60 °C por 72 horas. También se cuantificaron las flores observadas en dicho periodo (F). Con los datos se realizó un análisis de varianza y comparaciones de medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) mediante el software Minitab Statistical (versión 2024, EE.UU.).

3. Resultados

3.1. Validación de la escala de severidad de cenicilla

La escala logarítmica de severidad presentó siete clases (Tabla 1, Fig.1), donde las hojas de la clase 0 no mostraron síntomas visibles de infección, en la clase 6 las hojas manifestaron la máxima severidad (81.04%). El 3% de las hojas fotografiadas presentaron arriba del 50% de severidad. La frecuencia más alta de 13 la presentaron hojas con severidad de 0.01 y 2.10% de severidad.

Tabla 1. Límites y punto medio de la escala logarítmica con siete clases para la cenicilla en pepino blanco.

Table 1. Limits and midpoint of the logarithmic scale with seven classes for powdery mildew on white cucumber.

Clase	Límite inferior (%)	Punto medio (%)	Límite superior (%)	Frecuencia
0	0.00	0.00	0.00	2
1	0.01	2.10	4.19	13
2	4.19	5.83	7.47	7
3	7.47	15.13	22.79	5
4	22.79	33.93	45.07	3
5	45.07	59.87	74.67	2
6	74.67	81.04	-	1

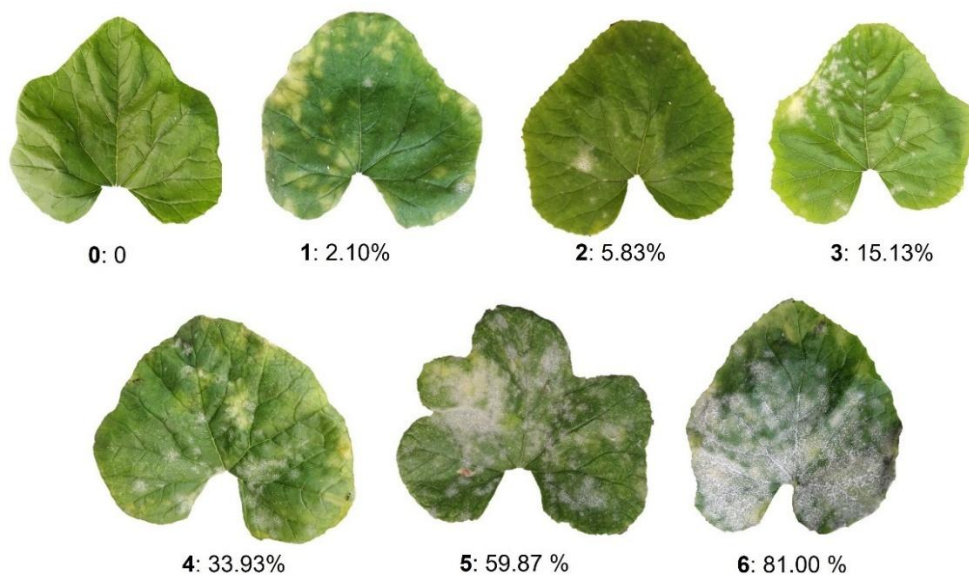


Fig. 1. Escala logarítmica-diagramática para la evaluación de la severidad del patosistema *Cucumis sativus-Erysiphe cichoracearum* en Yucatán, México. Los números del 0–6 indican las clases y el porcentaje refiere el valor medio de la clase.

Fig. 1. Diagrammatic logarithmic scale for the evaluation of the severity of *Cucumis sativus-Erysiphe cichoracearum*. pathosystem in Yucatan, Mexico. The numbers 0–6 indicate the classes, and the percentage refers to the average value of the class.

Con respecto a la validación de la escala, la precisión (r^2) de la primera ronda de evaluación fue de 0.50–0.88 y la exactitud (b_1) de 0.80–1.0. En la segunda evaluación la precisión y la exactitud se mejoraron significativamente, con valores de $r^2=$ 0.68–0.92 y $b_1=$ 0.87–1.0, respectivamente (Tabla 2).

Tabla 2. Precisión y exactitud de dos evaluaciones de la escala de severidad de hojas de pepino blanco con síntomas de cenicilla.

Table 2. Precision and accuracy of two severity scale evaluations of white cucumber leaves with powdery mildew symptoms.

Evaluador	Evaluación 1		Evaluación 2	
	r^2	b_1	r^2	b_1
1	0.73	0.83	0.70	0.90
2	0.88	1.0	0.88	1.0
3	0.50	0.80	0.80	1.0
4	0.70	1.0	0.89	1.0
5	0.77	1.0	0.91	1.0
6	0.56	1.0	0.90	1.0
7	0.82	1.0	0.88	0.99
8	0.70	1.0	0.92	1.0
9	0.80	0.98	0.88	1.0
10	0.59	0.99	0.89	1.0
11	0.60	0.96	0.89	0.93
12	0.82	1.0	0.89	0.92
13	0.50	0.91	0.68	0.87

r^2 : coeficiente de correlación (precisión), b_1 : parámetros de tasa (exactitud).

3.2. Efecto en el control de cenicilla y en parámetros de crecimiento del cultivo

La severidad por cenicilla en las hojas de pepino blanco se estimó como porcentaje de infección (PI). Hubo diferencias significativas entre el PI entre tratamientos ($p\leq0.001$), las plantas testigo (Ta13-17) tuvieron menor PI (34 %). Aunque en las plantas inoculadas con las cepas aisladas de cucurbitáceas criollas, no redujeron significativamente ($p\leq0.1$) el PI

en comparación con el tratamiento testigo negativo, se estimó con el tratamiento Af-15 mostró una disminución del 8.5% de infección en relación con el testigo negativo (Tabla 3).

Con el análisis estadístico, se observó que las plantas inoculadas con los hongos endófitos incrementaron significativamente ($p \leq 0.001$) el peso fresco aéreo, el peso seco de raíz y la biomasa seca, el tratamiento TI-36 causó el mayor promedio, con 65.3 (± 8.8) g, 0.88 (± 0.29) g y 10.58 (± 1.32) g, en su orden. La longitud de raíz mejoró en los tratamientos con TI-36 a 29.6 cm y con el tratamiento testigo Ta13-17 a 33.4 cm. Con respecto a la longitud de la planta, solo el tratamiento testigo Ta13-17 causó un crecimiento superior con respecto al testigo negativo, alcanzando una longitud promedio de 2.9 m. Para el peso fresco de raíz, no hubo diferencia significativa entre tratamientos ($p \leq 0.1$). Los tratamientos que incluyeron hongos endófitos causaron incrementos en el número de flores a los 90 días después del trasplante y, fueron los tratamientos Af-15 y TI-36 los que tuvieron los mayores promedios, con 45.2 flores (Tabla 3).

Tabla 3. Infección por cenicilla y crecimiento de pepino blanco inoculado con hongos endófitos.

Table 3. Growth of white cucumber inoculated with endophytic fungi.

Tratamiento	PI (%)	PFA (g)	PSR (g)	BS (g)	LR (cm)	LP (cm)	PFR (g)	F
Af-15	43 (3) ^a	58.41 (15.30) ^a	0.74 (0.55) ^a	9.67 (2.91) ^a	24.43 (5.13) ^a	131.0 (4.9) ^a	6.77 (3.20) ^a	45.20 (25.6) ^a
Lp-22	43 (2) ^a	56.30 (17.11) ^{ab}	0.52 (0.57) ^a	9.05 (2.78) ^a	21.80 (2.17) ^b	157.8 (2.5) ^a	6.66 (3.49) ^a	32.00 (23.2) ^a
TI-36	47 (3) ^a	65.30 (08.80) ^a	0.88 (0.29) ^a	10.58 (1.32) ^a	29.60 (3.36) ^c	150.4 (2.6) ^a	9.66 (2.44) ^a	45.20 (23.3) ^a
Testigo	34	57.93	0.47	9.49	33.40	293.0	5.35	32.40
Ta13-17	(6) ^b	(15.80) ^a	(0.04) ^a	(2.56) ^a	(5.41) ^c	(4.4) ^b	(0.17) ^a	(16.07) ^a
Testigo	47	30.25	0.24	4.42	24.80	172.7	6.64	10.20
Negativo	(2) ^a	(08.46) ^b	(0.31) ^b	(1.50) ^b	(3.90) ^{ab}	(4.8) ^a	(2.08) ^a	(1.09) ^b

Medias con diferentes letras indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$; $n=10$). Los valores de la desviación estándar se muestran entre paréntesis. PI: porcentaje de infección, PFA: peso fresco aéreo, PSR: peso seco de raíz, BS: biomasa en seco, LR: longitud de raíz, LP: longitud de la planta, PFR: peso fresco de raíz, F: floración.

Means with different letters indicate significant differences between treatments ($p \leq 0.05$; $n=10$). Standard deviation values are shown in parentheses. PI: infection percentage, PFA: aerial part fresh weight, PSR: root dry weight, BS: dry biomass, LR: root length, LP: plant length, PFR: root fresh weight, F: flowering.

4. Discusión

La escala de severidad propuesta para el patosistema *Cucumis sativus-Erysiphe cichoracearum* se validó con éxito ya que mostró ser práctica y reproducible para estimar

la intensidad de enfermedad o cenicilla para estudios epidemiológicos, la propuesta de siete clases, es la adecuada para la evaluación de severidad en plantas, ya que la implementación de escalas con menor o mayor número, puede conducir a resultados sesgados poco reproducibles (Tovar *et al.*, 2002; Hernández y Sandoval, 2015; Cristiane-Delmadi *et al.*, 2018). En la escala también se incluyó el punto medio de cada clase, el cual funcionó como un valor medio de cada clase y el que se consideró para propósitos de estimación de la severidad (Moo-Koh *et al.*, 2022). La capacitación previa y la familiaridad de los evaluadores con los síntomas observados en el cultivo de pepino, mejoró la precisión y la exactitud entre las evaluaciones de validación de la escala, ya que en ambas participaron los mismos evaluadores, lo cual se ha sugerido en trabajos previos de otros autores (Nutter *et al.*, 2006), quienes indicaron que el entrenamiento de los evaluadores disminuye la subjetividad de este tipo de estudios. Estos son necesarios para el diseño de herramientas estandarizadas que permitan cuantificar la severidad de los signos manifestados por una enfermedad de forma reproducible, exacta y precisa (Nascimento *et al.*, 2005). El método gráfico aquí propuesto resultó fácil de usar, fue reproducible ante una amplia gama de condiciones y representó las etapas de progreso de una enfermedad (Berger, 1980; Bergamin-Filho y Amorim, 1996).

Previamente, mediante técnicas *in vitro*, como inhibición de cultivos duales y pruebas de antibiosis, se demostró el potencial de tres cepas de hongos endófitos aisladas de cucurbitáceas criollas de Yucatán, como promotoras de crecimiento y sanidad del cultivar criollo de pepino (Montañez-De Azcué *et al.*, 2024). La presente investigación complementa los estudios previos al obtener resultados potenciales de promoción de crecimiento a nivel *in vivo* en este cultivar de pepino.

Por otro lado, diferentes cepas de *T. longibrachiatum* han demostrado incrementar parámetros de crecimiento y sanidad en plantas de maíz, mejorando sus índices de crecimiento y rendimiento, como la reducción de la severidad de *Magnaporthiopsis maydis* hasta en 32% (Degani *et al.*, 2021). La cepa endófito de *T. longibrachiatum* evaluada en este estudio, mejoró significativamente los parámetros de crecimiento y la floración en pepino blanco, con excepción de la longitud de la planta y el peso fresco de la raíz. En comparación, la cepa de *T. asperellum* causó una importante diferencia en cuanto a la longitud de la planta, así como en la disminución del porcentaje de infección por cenicilla. En un estudio previo, *T. asperellum* mejoró la fotosíntesis, disminuyó el estrés alcalino y facilitó el metabolismo del nitrógeno, lo que resultó en un crecimiento eficiente de los tejidos vegetales (Degani y Goldblat, 2014). Las especies de *Trichoderma* son ampliamente usadas en control biológico, ya que son capaces de inducir una resistencia sistemática a través de la activación de las rutas metabólicas del ácido salicílico, el ácido jasmónico, la brasinolida, y mediante la inducción de defensas enzimáticas (Chen *et al.*, 2020). Además, estas cepas han demostrado capacidad micoparasítica, alta capacidad de colonización y destrucción de esclerocios, así como producción de metabolitos antifúngicos (Rembinski *et al.*, 2022). La implementación de aplicaciones de control químico alternado con control biológico, usando cepas de *T. longibrachiatum* y *T. asperellum* con el fin de obtener mejores resultados es sugerida para el control, efectivo de enfermedades fúngicas (Ons *et al.*, 2020, Degani *et al.*, 2021, García-Rivero *et al.*, 2025).

Normalmente, *L. pseudotheobromae* tiene una amplia distribución en áreas tropicales y subtropicales, usualmente infectando a una gran diversidad de plantas frutales y forestales, pero también ha sido reportada con hábitos saprófitos y endófitos (Coutinho *et al.*, 2016).

La cepa endófitas de *L. pseudotheobromae* aislada de cucurbitáceas criollas aumentó parámetros de crecimiento en el cultivo de pepino blanco, como el peso fresco aéreo, el peso seco de la raíz, la biomasa en seco y la floración. Algunos autores reportaron cepas de *L. pseudotheobromae* productoras de ácido indolacético (IAA), una hormona asociada con el crecimiento vegetal, cuya síntesis se ha comprobado en *L. pseudotheobromae* (Segaran y Sathivelu, 2023). El IAA promueve el desarrollo de tejidos meristemáticos primarios de las plantas, lo que favorece su crecimiento y división celular (González-Marquetti *et al.*, 2019). El IAA sintetizado por hongos endófitos ha sido directamente relacionado con una mayor tasa de germinación, longitud de órganos, biomasa y volumen de frutos en tomate (Moo-Koh *et al.*, 2017), frijol (González-Marquetti *et al.*, 2019), chile habanero y papaya (Poveda *et al.*, 2021). Cepas endófitas de *L. pseudotheobromae* sintetizan metabolitos volátiles con funciones de inhibición fúngica, como acetato de etilo, 1-octadeceno, eritritol, niacina, ácido oleico, fenol, pantolactona, alcohol fenético, para-Cresol y terbutilhidroquinona (Segaran y Sathivelu, 2023). Estos compuestos inducen malformaciones en las hifas de los fitopatógenos, aunado a un comportamiento micoparasitario, mediante el cual las hifas del endófito se enroscan en las hifas del patógeno, provocando que éstas se deformen y desintegren (Leon-Ttacca *et al.*, 2022). Este efecto se ha comprobado con éxito bajo condiciones *in vitro* contra *M. phaseolina* (Javed *et al.*, 2021), *Rhizoctonia solani*, *F. oxysporum* (Segaran y Sathivelu, 2023), *F. equiseti*, *Corynespora cassiicola* y *Colletotrichum truncatum* (Montañez-De Azcué *et al.*, 2024). La cepa endófitas de Yucatán no demostró ser efectiva contra la cenicilla bajo las condiciones del estudio. No se encontraron reportes previos sobre evaluaciones de *L. pseudotheobromae* en otros cultivos, limitando el potencial agrícola de esta especie en la elaboración de bioproductos con fines herbicidas (Adetunji *et al.*, 2018a, 2020b).

La cepa endófitas de *A. flavus* inoculada en pepino blanco registró mayor peso fresco aéreo, peso seco de la raíz y biomasa seca, sobresaliendo también en la cantidad de flores desarrolladas, junto con *T. longibrachiatum*. Formas endófitas del género *Aspergillus* y *Trichoderma* destacan por su capacidad de movilizar fosfatos insolubles y proveer nitrógeno a sus plantas hospederas (Xiao *et al.*, 2008; Rawat y Tewari, 2011). Saxena *et al.* (2013) reportaron *A. flavus* como un hongo solubilizador de fosfato dicálcico, fosfato tricálcico e hidroxipatita, un biocristal que confiere dureza a huesos y dientes, pero que también está presente en rocas sedimentarias y metamórficas (García-Garduño y Reyes-Gasga, 2006).

Las cepas endófitas de esta especie son caracterizadas por su incapacidad de producir aflatoxinas (Abdel-Motaal *et al.*, 2020; Balbinot *et al.*, 2021; Rashad *et al.*, 2022). En una cepa aislada de la planta medicinal *Euphorbia geniculata*, *A. flavus* mostró una alta producción de IAA (Abdel-Motaal *et al.*, 2020); mientras que Lubna *et al.* (2018) citaron la presencia de giberelinas (GAs) en cepas aisladas de raíces de *Chenopodium album*. Las GAs son fitohormonas reguladoras de procesos fisiológicos como la germinación, elongación de tallos, hojas y raíces, floración, desarrollo de polen y fructificación (Escoms, 2017). Plantas de jitomate inoculadas con *A. flavus* bajo condiciones de invernadero mejoraron sus valores de peso fresco y longitud, así como la concentración de clorofila,

flavonoides, carbohidratos, fenoles y proteínas. Además, se comprobó que las plantas tratadas con el endófito se mantuvieron protegidas contra el fitopatógeno *Alternaria phragmospora*, en comparación con el grupo de control, quienes manifestaron síntomas de infección a los 20 días de la inoculación (Abdel-Motaal *et al.*, 2020). En maíz cultivado en invernadero, las plantas colonizadas por *A. flavus* aumentaron la longitud y el peso seco de las raíces a la vez que redujeron la severidad e incidencia de infección por *F. solani* (Méndez-Arango *et al.*, 2019; Rashad *et al.*, 2022). Los efectos promotores de crecimiento y la actividad biocontroladora contra fitopatógenos pueden estar estrechamente relacionadas, ya que además del antagonismo directo que ejercen los endófitos para reducir la competencia, existe un efecto indirecto mediante el cual los endófitos promueven la defensa sistémica de la planta (Hossain *et al.*, 2017).

5. Conclusión

En el presente estudio se diseñó y validó una escala de severidad para hojas de pepino infectadas con cenicilla, la cual se propone como una herramienta estandarizada para su aplicación en futuros trabajos epidemiológicos y para la evaluación de las medidas de control de esta enfermedad. Además, las cepas endófitas estudiadas mejoraron diversos parámetros de crecimiento vegetal evaluados, siendo *T. longibrachiatum* una cepa destacada por incrementar la mayoría de los parámetros de crecimiento. También, se demostró el efecto de una cepa de *T. asperellum* aislada de Chile en el biocontrol de cenicilla, reduciendo el porcentaje de la infección en un 13%. Las cepas aisladas de cucurbitáceas no redujeron significativamente la severidad de la cenicilla. No obstante, es recomendable explorar diferentes metodologías de cultivo e inoculación para estas cepas, incluso contemplar la combinación de tratamientos. Por lo tanto, es conveniente llevar a cabo pruebas en campo contra los hongos fitopatógenos cuya inhibición en laboratorio ya fue comprobada, para contrastar los efectos entre ambas condiciones; e incluso realizar otro tipo de evaluaciones con la cenicilla. Esto con el fin de seguir fomentando el uso de hongos endófitos nativos de Yucatán como alternativa agrícola sustentable para reducir el uso de fertilizantes y fungicidas de síntesis química.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento del proyecto con clave 22976.25-P cuyo nombre Relaciones Tróficas en pepino criollo (*Cucumis sativus* L.) inoculado con hongos endófitos, y a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca de posgrado asignada y al equipo de colaboradores del Laboratorio de Fitopatología del TecNM Campus Conkal.

Contribución de los autores

D. Montañez-De Azcué: Investigación, redacción borrador-original. **F.A. Moo-Koh:** Conceptualización, visualización, supervisión, curación de datos y redacción borrador-original. **J. Cristóbal-Alejo:** Supervisión, suministró los recursos, administró el proyecto,

redacción borrador-original. **A. Reyes-Ramírez:** Supervisión, curación de datos. **M.M. Gamboa-Angulo:** Supervisión, visualización. **A. Uc-Várguez:** Supervisión, suministró recursos, redacción borrador-original.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Referencias

Abdel-Motaal, F., Kamel, N., El-Zayat, S. and Abou-Ellail, M. 2020. Early blight suppression and plant growth promotion potential of the endophyte *Aspergillus flavus* in tomato plant. Ann. Agric. Sci. 65 (2), pp. 117-123. <https://doi.org/10.1016/j.aoas.2020.07.001>

Adetunji, C.O., Oloke, J.K. and Osemwegie, O.O. 2018. Environmental fate and effects of granular pesta formulation from strains of *Pseudomonas aeruginosa* C1501 and *Lasiodiplodia pseudotheobromae* C1136 on soil activity and weeds. Chemosphere 195, pp. 98–107. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.12.056>

Adetunji, C.O., Oloke, J.K. and Prasad, G. 2020. Effect of carbon-to-nitrogen ratio on eco-friendly mycoherbicide activity from *Lasiodiplodia pseudotheobromae* C1136 for sustainable weeds management in organic agriculture. Environ. Dev. Sustain. 22, pp. 1977–1990. <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0273-1>

Bacon, C.W., White, J.F. 2016. Functions, mechanisms and regulation of endophytic and epiphytic microbial communities of plants. Symbiosis 68, pp. 87–98. <https://doi.org/10.1007/s13199-015-0350-2>

Balbinot, R.B., De Oliveira, J.A.M., Bernardi, D.I., Polli, A.D., Polonio, J.C. and Cabral, M.R.P. 2021. *Chromolaena laevigata* (Asteraceae) as a source of endophytic non-aflatoxigenic *Aspergillus flavus*: chemical profile in different culture conditions and biological applications. Braz. J. Microbiol. 52, pp. 1201–1214. <https://doi.org/10.1007/s42770-021-00502-6>. 47

Bergamin-Filho, A., Amorim, L. 1996. Doenças de plantas tropicais: epidemiologia e controle económico, Agronômica Ceres, Sao Paulo.

Berger, R.D. 1980. Measuring disease intensity. In: Teng, P.S., Krupa, S.V. (Eds.), Crop loss assessment which constrain production and crop improvement in agriculture and forestry, University of Minnesota Press. St. Paul, pp. 28-31.

Candelero, D.J., Cristóbal-Alejo, J., Reyes-Ramírez, A., Tun-Suarez, J.M., Gamboa-Ángulo, M.M. and Ruíz-Sánchez, E. 2015. *Trichoderma* spp. promotoras del crecimiento en plántulas de *Capsicum chinense* Jacq. y antagónicas contra *Meloidogyne incognita*. Phytton 84, pp. 113–119. <http://www.scielo.org.ar/pdf/phyton/v84n1/v84n1a16.pdf>

Carmona, M., Sautua, F. 2017. La problemática de la resistencia de hongos fungicidas. Causas y efectos en cultivos extensivos, Buenos Aires, Argentina, <http://agronomiayambiente.agro.uba.ar/index.php/AyA/article/view/60/59>, (consultado enero 23, 2026).

Chen, J., Vallikkannu, M. and Karuppiyah, V. 2020. Systemically induced resistance against maize diseases by *Trichoderma* spp. In: Sharma, A., Sharma, P. (Eds.), *Trichoderma*. Rhizosphere Biology, Springer. Singapur, pp. 111–123. https://doi.org/10.1007/978-981-15-3321-1_6

Coutinho, I.B.L., Freire, F.C.O., Lima, S.C., Lima, J.S., Gonçalves, F.J.T., Machado, A.R., Silva, A.M.S. and Cardoso, J.E. 2016. Diversity of genus *Lasiodiplodia* associated with perennial tropical fruit plants in northeastern Brazil Plant Pathol. 66, pp. 90–104. <https://doi.org/10.1111/ppa.12565>

Cristiane-Delmadi, L., De Pieri, C., Sander-Porcena, A. and Luiz-Furtado, E. 2018. Escala diagramática para cuantificación de la severidad de la roya en hojas de teca. Rev. Mex. Fitopatol. 36(2): 331-341. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1708-5>

Degani, O., Goldblat, Y. 2014. Ambient stresses regulate the development of the maize late wilt causing agent, *Harpophora maydis*. Agric. Sci. 5, pp. 571–582. <https://doi.org/10.4236/as.2014.57060>

Degani, O., Rabinovitz, O., Becher, P., Gordani, A. and Chen, A. 2021. *Trichoderma longibrachiatum* and *Trichoderma asperellum* confer growth promotion and protection against late wilt disease in the field. J. Fungi 7(6), 444. <https://doi.org/10.3390/jof7060444>

Eguiarte, L.E.H.S., Hernández-Rosales, J., Barrera-Redondo, G., Castellanos-Morales, L.M., Paredes-Torres, G., Sánchez-De la Vega, K., Ruiz-Mondragón, Y., Vázquez-Lobo, A., Montes-Hernández, S., Aguirre-Planter, E., Souza, V. and Lira, R. 2018. Domesticación, diversidad y recursos genéticos y genómicos de México: El caso de las calabazas. Rev. Esp. Cienc. Quím. Biol. 21, pp. 85–101. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.159>

Escoms, E. 2017. Estudio de la función de las giberelinas en la iniciación y desarrollo de los óvulos en *Arabidopsis*. Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/78366>, (consultado febrero 25, 2025).

Félix-Gastélum, R., Maldonado-Mendoza, I.E., Beltrán-Peña, H., Apodaca-Sánchez, M.A., Espinoza-Matías, S., Martínez-Valenzuela, M.C., Longoria-Espinoza, R.M. and Olivas-Peraza, N.G. 2017. La cenicilla en cultivos agrícolas de Sinaloa: situación actual sobre su identificación y líneas futuras de investigación. Rev. Mex. Fitopatol. 35. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1607-4>

Fontana, D.C., De Paula, S., Galón Torres, A., Moura de Souza, V.H., Pascholati, S.F., Schmidt, D. and Dourado Neto, D. 2021. Endophytic fungi: biological control and induced

resistance to phytopathogens and abiotic stresses. *Pathogens* 10, p. 570. <https://doi.org/10.3390/pathogens10050570>

Fragoso-Benhumea, J.M., Sánchez-Pale, J.R., Castañeda-Vildózola, A., Franco-Mora O., Gutiérrez-Ibáñez, A.T., Contreras-Rendón, A. and García-Velasco, R. 2022. Escala diagramática para evaluar la severidad de roya en haba (*Vicia faba*). *Revista Mexicana de Fitopatología*. 40(3): 474–482. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2206-2>

García-Garduño, M.V., Reyes-Gasga, J. 2006. La hidroxapatita, su importancia en los tejidos mineralizados y su aplicación biomédica. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* 9 (2), pp. 90-95. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-888X2006000200090&lng=es&tlng=es, (consultado febrero 20, 2025).

García-Delgado, C., Barba-Vicente, V., Marín-Benito, J.M., Mariano-Igual, J., Sánchez-Martín, M.J. and Rodríguez-Cruz, M.S. 2019. Influence of different agricultural management practices on soil microbial community over dissipation time of two herbicides. *Sci. Total Environ.* 646, pp. 1478–1488. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.395>

García-Rivero, M., Figueroa-Estrada, J.C., Rodríguez-Vázquez, R. and Lira-Pérez, J. 2025. Fungal interactions of co-cultures in the degradation of industrial dyes. *Mex. J. Biotechnol.* 10(4), pp.1–14. <https://doi.org/10.29267/mxjb.2025.10.4.1-14>

González, V., Armijos, E., Garcés-Claver, A. 2020. Fungal endophytes as biocontrol agents against the main soil-borne diseases of melon and watermelon in Spain. *Agronomy* 10, p. 820. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060820>

González-Marquetti, I., Infante, M.D., Arias, V.Y., Gorrita, R.S., Hernández, G.T., Noval, P.B., Martínez, C.B. and Peteira, B. 2019. Efecto de *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt & Nirenberg sobre indicadores de crecimiento y desarrollo de *Phaseolus vulgaris* L. cultivar BAT-304. *Revista de Protección Vegetal* 34 (2), pp. 2224-4697. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522019000200004

Hernández, R. L., Sandoval Islas, J.S. 2015. Escala diagramática de severidad para el complejo mancha de asfalto del maíz. *Rev. Mex. Fitopatol.* 33 (1), pp. 95–103.

Hossain, M.M., Sultana, F. and Islam, S. 2017. Plant Growth-Promoting Fungi (PGPF): phytostimulation and induced systemic resistance. In: Singh, D., Singh, H., Prabha, R. (Eds.), *Plant-microbe interactions in agro-ecological perspectives*, Springer, Singapur, pp. 135–191. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6593-4_6

Huang, L.Q., Niu, Y.C., Su, L., Deng, H. and Lyu, H. 2020. The potential of endophytic fungi isolated from cucurbit plants for biocontrol of soilborne fungal diseases of cucumber. *Microbiol. Res.* 23. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2019.126369>

Javed, S., Mahmood, Z., Khan, K.M., Sarker, S.D., Javaid, A., Khan, I.H. and Shoaib, A. 2021. Lupeol acetate as a potent antifungal compound against opportunistic human and

phytopathogenic mold *Macrophomina phaseolina*. Sci. Rep. 11, 8417. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87725-7>

Lascano, C.I., Sotomayor, V., Ferrari, A. and Venturino, A. 2009. Alteraciones del desarrollo embrionario, poliaminas y estrés oxidativo inducidos por plaguicidas organofosforados en *Rhinella arenarum*. Acta Toxicol. Argent. 17, pp. 8–19.

Leon-Ttacca, B., Yactayo-Yataco, R., Astete-Farfán, A., Mattos-Calderón, L. and Arestegui-Cantoral, J. 2022. Antibiosis and mycoparasitism of endophytic fungi on the causal agent of blueberry gray mold (*Botrytis cinerea*). Bioagro 34 (3), pp. 209–220. <https://doi.org/10.51372/bioagro343.1>

Li, R., Chen, W., Xiu, A., Zhao, H., Zhang, X., Zhang, S. and Tong, D.Q. 2019. A comprehensive inventory of agricultural atmospheric particulate matters (PM10 and PM2.5) and gaseous pollutants (VOCs, SO2, NH3, CO, NOx and HC) emissions in China. Ecol. Indic. 107, p. 105609. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105609>

Li, X., Song, M., Yao, X., Chai, Q., Simpson, W., Li, C. and Nan, Z. 2017. The effect of seed-borne fungi and *Epichloë* endophyte on seed germination and biomass of *Elymus sibiricus*. Front. Microbiol. 8, p. 2488. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02488>

Lira Saade, R. 2004. Cucurbitaceae de la Península de Yucatán. Etnoflora Yucatanense 22, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida.

Liu, X., Dou, G. and Ma, Y. 2016. Potential of endophytes from medicinal plants for biocontrol and plant growth promotion. J. Gen. Plant Pathol. 82, pp. 165–173. <https://doi.org/10.1007/s10327-016-0648-9>

Lubna, S.A., Hamayun, M., Latif Khan, A., Waqas, M., Khan, M.A., Jan, R., Lee, I.J. and Hussain, A. 2018. Salt tolerance of *Glycine max* L. induced by endophytic fungus *Aspergillus flavus* CSH1, via regulating its endogenous hormones and antioxidative system. Plant Physiol. Biochem. 128 (128), pp. 13–23. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.05.007>

Méndez-Arango, M.F., López-Sosa, D., Núñez-Gaona, O. and García-Gómez, M.D.J. 2019. Evaluation of radial growth on amaranth forage from filamentous fungi isolated from coffee leaves. Mex. J. Biotechnol. 4(2), pp. 47–59 <https://doi.org/10.29267/mxjb.2019.4.2.47>

Montañez-De Azcué, D., Cristóbal-Alejo, J. 2024. Aislamiento de hongos endófitos en cucurbitáceas criollas de Yucatán, México. Scientia Fungorum 55. <https://scientiafungorum.org.mx/index.php/micologia/article/view/1436>

Montañez-De Azcué, D., Cristóbal-Alejo, J., Uc-Vázquez, A., Moo-Koh, F.A. and Tun-Suárez, J.M. 2024. Efecto antifúngico *in vitro* de hongos endófitos de cucurbitáceas criollas de Yucatán. Ecosistemas y recursos agropecuarios, 11 (2): e3992. <https://doi.org/10.19136/era.a11n2.3992>

Moo-Koh, F.A., Cristóbal, A.J., Reyes, R.A., Tun, S.J. and Gamboa, A.M. 2017. Identificación molecular de aislados de *Trichoderma* spp. y su actividad promotora en *Solanum lycopersicum* L. Investigación y Ciencia 25 (71), pp. 5–11. <https://doi.org/10.33064/icycuaa201771335>

Moo-Koh, F. A., Cristóbal-Alejo, J., Tun-Suárez, J. M., Medina-Baizabal, I. L., Arjona-Cruz, A. A. and Gamboa-Angulo, M. 2022. Activity of Aqueous Extracts from Native Plants of the Yucatan Peninsula against Fungal Pathogens of Tomato *In Vitro* and from *Croton chichenensis* against *Corynespora cassicola* on a Tomato. Plants, 11(21), 2821. <https://doi.org/10.3390/plants11212821>

Nascimento, R.P.A., Michereff, J.S., De la Rosa, L.R. and Gómez, M.A.A. 2005. Elaboração e validação de escala diagramática para cancro bacteriano da videira. Summa Phytopathologica 31, pp. 59–64.

Nutter, F.W., Esker, P.D. and Coelho Netto, R.A. 2006. Disease assessment concepts and the advancements made in improving the accuracy and precision of plant disease data. European Journal of Plant Pathology 115, pp. 95–103. <https://doi.org/10.1007/s10658-005-1230-z>

Ons, L., Bylemans, D., Thevissen, K. and Cammue, B.P.A. 2020. Combining biocontrol agents with chemical fungicides for integrated plant fungal disease control. Microorganisms 8 (12), 1930. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8121930>

Osada-Velázquez, H.K., Mora-Aguilera, G. 1997. 2LOG Programa para desarrollar escalas de severidad por el método de Horsfall y Barratt. Manual del Usuario. Colegio de Postgraduados, Montecillo.

Poveda, J., Eugui, D., Abril-Uriás, P. and Velasco, P. 2021. Endophytic fungi as direct plant growth promoters for sustainable agricultural production. Symbiosis 85, pp. 1–19. <https://doi.org/10.1007/s13199-021-00789-x>

Pfeuffer, E., Gauthier, N. and Bradley, C.A. 2017. Mildiu polvoriento. College of Agriculture, Food and Environment. University of Kentucky, Kentucky.

Rashad, Y.M., Abdalla, S.A. and Shehata, A.S. 2022. *Aspergillus flavus* YRB2 from *Thymelaea hirsuta* (L.) Endl., a non-aflatoxigenic endophyte with ability to overexpress defense-related genes against *Fusarium* root rot of maize. BMC Microbiol. 22, 229. <https://doi.org/10.1186/s12866-022-02651-6>

Rawat, R., Tewari, L. 2011. Effect of abiotic stress on phosphate solubilization by biocontrol fungus *Trichoderma* spp. Curr. Microbiol. 62 (5), pp. 1521-1526. <https://doi.org/10.1007/s00284-011-9888-2>

Rembinski, J., Moreira, S.I., De Souza, J.T., Souza, A.C.A., Dorigan, A.F., Alves, E., Julliat, B.C.M. and Julliat, F.C. 2022. Using *Trichoderma* to manage sclerotia-producing phytopathogenic fungi. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.102426>

Rosa-Márquez, E. 2012. Enfermedades. In: Universidad de Puerto Rico (Ed). Conjunto Tecnológico para la Producción de Calabaza. Estación Experimental Agrícola de la Universidad de Puerto Rico, Mayagüez. <https://www.uprm.edu/eea/wp-content/uploads/sites/177/2016/04/10.-CALABAZA-ENFERMEDADES.pdf> (consultado 23/01/2026)

Saxena, J., Basu, P., Jaligam, V.J. and Chandra, S. 2013. Phosphate solubilization by a few fungal strains belonging to the genera *Aspergillus* and *Penicillium*. Afr. J. Microbiol. Res. 7 (41), pp. 4862–4869. <https://doi.org/10.5897/AJMR2013.5991>

Segaran, G., Sathiavelu, M. 2023. Fungicidal and plant growth promoting traits of *Lasiodiplodia pseudotheobromae*, an endophyte from *Andrographis paniculata*. Front. Plant Sci. 14, 1125630. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1125630>

Segaran,, S. A., Hernández Martínez, M., Cristóbal Alejo, J., Romero Hijo, R. and Mora Aguilera, G. 2002. Escala logarítmica diagramática de severidad de la mancha negra (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz.) en chirimoyo (*Annona cherimola* Mill.) Rev. Mex. Fitopatol. 20 (1), pp. 103–109.

Townsend, G.R., Heuberger, J.V. 1943. Methods for estimating losses caused by diseases in fungicide experiments. Plant Disease Report 24, pp. 340–343.

Tymon, L.S., Morgan, P., Gundersen, B. and Inglis, D.A. 2020. Potential of endophytic fungi collected from *Cucurbita pepo* roots grown under three different agricultural mulches as antagonistic endophytes to *Verticillium dahliae* in western Washington. Microbiol. Res. 240. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126535>

Xiao, C.Q, Chi, R.A., Huang, X.H., Zhang, W.X., Qiu, G.Z. and Wang, D.Z. 2008. Optimization for rock phosphate solubilizing fungi isolated from phosphate mines. Ecol. Eng. 33 (2), pp. 187–193. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.04.001>

Yáñez-Juárez, M.G., Ayala Tafoya, F., Partida Ruvalcaba, L., Velázquez Alcaráz, T.J., Godoy Angulo, T.P. and Díaz Valdéz, T. 2014. Efecto de bicarbonatos en el control de cenicilla (*Oidium* sp.) en pepino (*Cucumis sativus* L.). Rev. Mex. Cienc. Agric. 5, pp. 991–1000. <https://doi.org/10.29312/remexca.v5i6.884>

Material suplementario

S1. Hongos endófitos aislados de cucurbitáceas criollas de Yucatán, México.

S1. Endophytic fungi isolated of creole cucurbits from Yucatan, Mexico.

Especie	Cepa	Similitud (%)	Accesión
<i>Aspergillus flavus</i>	HE15	99.6	PQ891961
<i>Aspergillus nidulans</i>	HE44	99.4	PQ891975
<i>Aspergillus sclerotiorum</i>	HE39	98.0	PQ891973
<i>Aspergillus stellatus</i>	HE03	99.1	PQ891960
<i>Aspergillus tamaris</i>	HE20	100.0	PQ891970
<i>Chaetomium convolutum</i>	HE28	97.2	PQ891971
<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	HE41	98.7	PQ891974
<i>Colletotrichum truncatum</i>	HE45	100.0	PQ891969
<i>Diaporthe phaseolorum</i>	HE55	97.8	PQ891976
<i>Fusarium solani</i>	HE01	100.0	PQ891958
<i>Gymnascella nodulosa</i>	HE02	95.1	PQ891959
<i>Lasiodiplodia pseudotheobromae</i>	HE22	100.0	PQ891967
<i>Microascus gracilis</i>	HE43	99.6	PQ891968
<i>Monosporascus caatingaensis</i>	HE46	99.6	PQ891964
<i>Paecilomyces variotti</i>	HE34	97.4	PQ891972
<i>Penicillium citrinum</i>	HE14	100.0	PQ891966
<i>Scolecobasidium musae</i>	HE12	98.5	PQ891965
<i>Trichoderma longibrachiatum</i>	HE36	99.8	PQ891962
<i>Xylaria mesentérica</i>	HE42	98.6	PQ891963

S2. Porcentaje de severidad en hojas de pepino blanco.

S2. Percentage of severity in white cucumber leaves.

NH	S (%)	NH	S (%)	NH	S (%)
1	2.71	12	0	23	27.78
2	41.76	13	5.12	24	3.81
3	2.76	14	81.04	25	5.75
4	1.59	15	23.67	26	3.01
5	2.53	16	5.52	27	11.76
6	1.22	17	1.98	28	47.23
7	18.03	18	1.74	29	7.18
8	1.77	19	6.26	30	10.09
9	3.20	20	1.72	31	57.69
10	6.73	21	13.20	32	5.68
11	0	22	12.34	33	2.98

NH: número de hoja, S: severidad real obtenida con ImageJ.

NH: leaf number, S: real severity obtained with ImageJ.