



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®

**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CONKAL**

**EVALUACIÓN DE HONGOS ENDÓFITOS EN LA
SOBREVIVENCIA Y CRECIMIENTO DE PEPINO BLANCO
(*Cucumis sativus* L.)**

TESIS

Que presenta:

Juan Gómez Juárez

Como requisito parcial para obtener el grado de:

Licenciado en Biología

Director de tesis:

Dr. Jairo Cristóbal Alejo

Conkal, Yucatán, México

Agosto - diciembre, 2025



TecNM

La presente tesis fue realizada por Juan Gómez Juárez de la carrera de Licenciatura en Biología, con especialidad en Manejo Sostenible de la Biodiversidad, con número de control 18800269, con el título; EVALUACIÓN DE HONGOS ENDÓFITOS EN LA SOBREVIVENCIA Y CRECIMIENTO DE PEPINO BLANCO (*Cucumis sativus* L.), la cual fue dirigida y revisada por el jurado asignado, los cuales firman su consentimiento para que este trabajo sea presentado como requisito parcial para la titulación de acuerdo al proceso de Titulación Integral y al Manual de Lineamientos Académicos Administrativos del Tecnológico Nacional de México.

Director



Dr. Jairo Cristóbal Alejo

Asesor



Dr. José María Tun Suárez

Asesor



Dr. Esaú Ruiz Sánchez

AGRADECIMIENTOS.

A mis padres y a mi hermano, por su apoyo incondicional, por enseñarme el valor del esfuerzo y por acompañarme en cada paso de este camino académico. Su confianza en mí ha sido fundamental para llegar hasta aquí.

A mi novia, Maryjose Sabido por su motivación constante, sus consejos que siempre facilitaron mi trabajo y por su apoyo dentro y fuera del laboratorio. Gracias por creer en mí.

Al Dr. Jairo Cristóbal Alejo y la Dra. Felicia Amalia Moo Koh, por su guía, sus observaciones y su dedicación durante el desarrollo de este trabajo. Su experiencia y disposición para orientarme fueron esenciales para concretar esta investigación.

A mis profesores y a todas las personas que formaron parte de mi formación académica, quienes contribuyeron con sus conocimientos y enseñanzas a este logro personal y profesional.

RESUMEN

El pepino blanco (*Cucumis sativus* L.) es un cultivo importante en Yucatán, pero enfrenta limitaciones relacionadas con el manejo del suelo y la falta de alternativas sostenibles a los fertilizantes químicos. En este estudio se evaluó el efecto de hongos endófitos (*Aspergillus flavus*, *Trichoderma longibrachiatum*, *Trichoderma asperellum* y *Lasiodiplodia pseudotheobromae*) en el crecimiento de plántulas de pepino blanco.

Los resultados mostraron que *A. flavus* presentó el mejor desempeño, con el mayor porcentaje de sobrevivencia (80 %) y diferencias significativas en volumen radicular, biomasa foliar seca y biomasa radicular seca. Las especies de *Trichoderma* también promovieron el desarrollo vegetal, especialmente en el diámetro del tallo y el crecimiento de raíces. Estos efectos coinciden con estudios previos que destacan la capacidad de estos hongos para producir metabolitos bioactivos y mejorar la absorción de nutrientes.

En conclusión, los hongos endófitos, particularmente *A. flavus* y *Trichoderma* spp., representan una alternativa viable para fortalecer el crecimiento del pepino blanco y promover prácticas agrícolas más sostenibles en Yucatán.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN	6
2 OBJETIVOS E HIPOTESÍS	8
2.1 Objetivo general	8
2.2 Objetivos específicos	8
2.3 Hipótesis	8
3 FUNDAMENTO TEÓRICO	9
3.1 Cucumis sativus L.	9
3.1.1 Tamaño y tipo de fruto	9
3.1.2 Plagas comunes	10
3.2 Hongos endófitos	10
3.3 Antibiosis	11
3.4 Lasiodiplodia	11
3.5 Thricoderma spp	11
3.6 Aspergillus	12
4 DESARROLLO DEL PROYECTO	14
4.1 Cepas de hongos endófitos.	14
4.2 Preparación del bocashi.	15
4.3 Realización de semilleros de C. sativus L.	15
4.4 Tratamientos y trasplante de plántulas de C. sativus L.	16
4.5 Inoculación de hongos endófitos en cultivos de C. sativus L.	17
4.6 Manejo del cultivo C. sativus L.	18
4.7 Evaluación del cultivo de C. sativus L.	18
5 RESULTADOS Y DISCUSIONES	19
6 CONCLUSIONES	24
7 REFERENCIA BIBLIOGRAFIA	25

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Porcentaje de sobrevivencia de plantas de pepino blanco (<i>C. sativus</i> L.)	19
Tabla 2. Efecto de las variables evaluadas en el crecimiento de pepino blanco (<i>C. sativus</i> L.).	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Activación de los hongos endófitos.	14
Figura 2. Preparación de bocashi.	15
Figura 3. Realización de semillero de <i>C. sativus</i> .	16
Figura 4. Plántula de <i>C. sativus</i> .	17
Figura 5. Arreglo espacial de las macetas según su diseño experimental.	17
Figura 6. Inoculación de hongos endófitos en <i>C. sativus</i> .	17
Figura 7. Tutorado aplicado para orientar el crecimiento de las plantas.	18
Figura 8. Evaluación de la variable de altura de plantas de <i>C. sativus</i> .	22
Figura 9. Evaluación de la capacidad endófitica de las cepas inoculadas en <i>C. sativus</i> .	23

1 INTRODUCCIÓN

En México, el pepino blanco (*Cucumis sativus* L.) es un cultivo de gran relevancia agrícola debido a su alta demanda en mercados nacionales e internacionales. En 2019, la producción nacional alcanzó 826 mil toneladas, con Sinaloa, Michoacán, Baja California, Morelos y Veracruz como principales productores (SIAP, 2020). Desde la implementación del TLCAN, la producción ha mostrado un crecimiento sostenido, con incrementos del 54.2% hasta el año 2000 y del 79.94% entre 2001 y 2019 (SIAP, 2020). En 2018, México ocupó el puesto once a nivel mundial en producción de pepino, con más de 16 mil hectáreas cultivadas, exportando el 98.2% principalmente a Estados Unidos (Opportimes, 2020). La producción de pepino blanco se concentra en Baja California y Yucatán, donde en 2018 se registraron 17.3 mil toneladas, de las cuales 67.6% se destinaron al mercado internacional (SIAP, 2020). Además de su importancia comercial, el pepino destaca por su valor nutricional, usos medicinales y aplicaciones cosméticas (Ernestina, 2001; Grubben y Denton, 2004; Eifediyi y Remison, 2009). Su cultivo genera aproximadamente 150 jornales por hectárea, lo que subraya su contribución al empleo y al desarrollo rural (Barrera-Torres, 2011).

Sin embargo, los cultivares locales como el pepino blanco de Yucatán enfrentan limitaciones relacionadas con la falta de información sobre rendimiento, costos de producción y prácticas de fertilización sostenible. La producción intensiva puede agotar los nutrientes del suelo, lo que incrementa la dependencia de fertilizantes inorgánicos. Aunque estos mejoran el rendimiento, su alto costo, baja accesibilidad para pequeños productores y potencial impacto ambiental han impulsado el interés por alternativas más sostenibles, como los fertilizantes orgánicos que permiten una mineralización lenta y son más accesibles (Olawuyi *et al.*, 2011;). A estas limitaciones se suma el conocimiento sobre el potencial de los hongos endófitos en *C. sativus*, a pesar de su capacidad para favorecer el crecimiento vegetal, mejorar la absorción de nutrientes y fortalecer la resistencia frente a patógenos. La escasa aplicación práctica de estos

microorganismos en Yucatán limita el desarrollo de estrategias de manejo más eficientes y sostenibles.

Por ello, estudiar los cultivares criollos de pepino blanco en Yucatán es fundamental para fortalecer la economía local y mejorar la competitividad agrícola. Conocer los costos de producción, las prácticas de manejo y las alternativas de fertilización sostenible puede generar beneficios económicos y ambientales para los productores (SIAP, 2020; Barrera-Torres, 2011; Cruz, 2017). Asimismo, evaluar el efecto de hongos endófitos en *C. sativus* ofrece una vía para optimizar la fertilidad del suelo, reducir costos, disminuir la dependencia de fertilización química y promover sistemas agrícolas más sustentables (Olawuyi *et al.*, 2011). En conjunto, este enfoque contribuye al fortalecimiento de la producción local, la generación de empleos y la preservación del valor cultural, nutritivo y comercial de este cultivo estratégico para Yucatán.

2 OBJETIVOS E HIPOTESÍS

2.1 Objetivo general

Evaluar hongos endófitos como agentes de sobrevivencia y crecimiento en pepino blanco.

2.2 Objetivos específicos

Estimar el efecto de la inoculación de hongos endófitos en pepino blanco en la sobrevivencia.

Estimar el efecto en el crecimiento de pepino blanco inoculados con hongos endófitos en condiciones de invernadero.

2.3 Hipótesis

La respuesta en la sobrevivencia y crecimiento de plantas de pepino blanco, depende de la especie de hongo endófito inoculado.

3 FUNDAMENTO TEÓRICO

3.1 *Cucumis sativus* L.

Es una planta herbácea anual de hábito postrado, cuyos tallos angulosos presentan una superficie hispida. Se caracteriza por la presencia de zarcillos simples, que pueden encontrarse densamente o de manera esparcida con pelos hispídos. Sus hojas son pecioladas, con pecíolos de entre 4.0 y 7.0 cm de longitud, también con pubescencia áspera. Las láminas foliares alcanzan de 8.0 a 12.0 cm de largo por 6.0 a 11.0 cm de ancho, con forma cordado-triangular y división angulosa en 3 a 5 lóbulos, siendo el terminal triangular y acuminado. Ambas superficies de la hoja muestran tricomas rígidos e hirsutos (Krístková *et al.*, 2003).

Al tratarse de una especie cultivada de ciclo anual, la aparición de flores y frutos depende de la variedad sembrada y de las condiciones ambientales. En México, la floración suele presentarse en dos periodos: de julio a septiembre y de enero a marzo, mientras que la fructificación ocurre de agosto a noviembre y de febrero a mayo, respectivamente. Las flores son monoicas, con corola amarilla, lo que confiere a la planta un carácter distintivo en los sistemas hortícolas (McGregor, 1976; Krístková *et al.*, 2003).

3.1.1 Tamaño y tipo de fruto

Los frutos de *C. sativus* muestran una notable variabilidad morfológica. Pueden ser cilíndricos u oblongos, y cuando son jóvenes presentan una superficie tuberculada. El epicarpo exhibe una amplia gama de coloraciones que van desde verde claro hasta verde oscuro en estado inmaduro, y de amarillo a anaranjado al madurar. Su superficie puede ser glabra, lisa o áspera, dependiendo de la variedad. El mesocarpo es carnoso, de consistencia jugosa, con tonalidades de blanco a verde claro en frutos inmaduros y un aspecto amarillento-acuoso al alcanzar la madurez, con un sabor ligeramente dulce (Krístková *et al.*, 2003).

3.1.2 Plagas comunes

Entre las plagas que afectan a este cultivo destacan *T. urticae*, *T. turkestanii* y *B. tabaci*, especies ampliamente reportadas en hortalizas debido a que comparten similitudes en biología, ecología y tipo de daño. Estos organismos se desarrollan principalmente en el envés de las hojas, ocasionando decoloraciones, punteaduras y manchas amarillentas que pueden apreciarse en el haz como síntomas iniciales. Su presencia representa un riesgo importante para la productividad del pepino en sistemas agrícolas intensivos.

3.2 Hongos endófitos

Los hongos endófitos son microorganismos que viven de forma temporal o permanente dentro de los tejidos de las plantas sin causar síntomas visibles (Bacon & White, 2016). Su diversidad está influida por el hospedero, la edad de la planta, el ecosistema, la ubicación geográfica y las condiciones climáticas; en general, son más abundantes y diversos en zonas tropicales (Kim *et al.*, 2013). En cucurbitáceas se han documentado al menos 90 géneros de endófitos, con registros frecuentes de *Fusarium*, *Colletotrichum* y *Alternaria* (Huang *et al.*, 2020). Esta riqueza sugiere que las cucurbitáceas son reservorios poco explorados con potencial para aplicaciones agrícolas, especialmente por los efectos benéficos atribuidos a los endófitos: promoción del crecimiento, tolerancia al estrés y contribuciones al manejo de enfermedades. En cucurbitáceas, por ejemplo, se han reportado endófitos capaces de inhibir de manera significativa el crecimiento de patógenos de suelo como *Fusarium oxysporum*, *cucumerinum*, *Rhizoctonia solani* y *Sclerotinia sclerotiorum* (Huang *et al.*, 2020), e incluso se ha observado que filtrados de *Epicoccum nigrum*, *E. minitans* y *Trichoderma viride* potencian el control cuando se combinan con fungicidas (Derbalah & Elkot, 2011).

3.3 Antibiosis

La antibiosis se define como la acción directa de antibióticos o metabolitos tóxicos producidos por un microorganismo sobre otro que es sensible a esos compuestos (Martínez B. *et al.*, 1994). Si bien es un mecanismo relevante, se recomienda no considerarlo como la vía principal de control debido al riesgo de generar cepas resistentes del patógeno (Vero SM *et al.*, 1999). En hongos como *Trichoderma* se ha descrito la producción de metabolitos secundarios volátiles y no volátiles con actividad antimicrobiana; los volátiles ejercen, sobre todo, efectos fungistáticos que debilitan al patógeno y lo vuelven más susceptible a los compuestos no volátiles, facilitando un “hiperparasitismo” de base enzimática (Hjeljord *et al.*, 1998). Entre los antibióticos reportados para *Trichoderma* se incluyen trichodermina (trichodermin), suzukacilina (suzukacillin), alameticina (alamethicin), dermadina, tricotecenos y trichorzianina, asociados con la supresión de diversos fitopatógenos.

3.4 *Lasiodiplodia*

Las especies del género *Lasiodiplodia* se reconocen como patógenos relevantes en una amplia variedad de plantas, particularmente en zonas tropicales y subtropicales. Desde inicios de este siglo se han descrito más de veinte especies dentro de este género (Pavlic *et al.*, 2004). Su identificación y diferenciación se fundamenta principalmente en la morfología de los conidios, así como en el análisis de secuencias nucleotídicas de regiones del ADN como ITS (espaciador transcribible interno), EF 1- α (factor de elongación uno alfa) y Bt (β -tubulina).

3.5 *Trichoderma* spp.

El género *Trichoderma* se distingue por su notable capacidad para desarrollarse en diversos ambientes y por su efectividad en el manejo sostenible de enfermedades causadas por hongos en numerosos cultivos. Estas especies son comunes en el suelo y la rizosfera, donde

funcionan como simbioses oportunistas y avirulentos, además de actuar como antagonistas naturales frente a múltiples fitopatógenos, contribuyendo así a la protección de las plantas (Stracquadiano *et al.*, 2020).

La actividad antifúngica de *Trichoderma* deriva de la acción conjunta de mecanismos directos e indirectos. Los indirectos abarcan la competencia por recursos, la estimulación del crecimiento vegetal y la activación de respuestas defensivas en la planta. Los mecanismos directos incluyen el micoparasitismo y la secreción de enzimas líticas y metabolitos bioactivos, cuya efectividad depende de la especie y de la cepa, pudiendo actuar de manera sinérgica (Stracquadiano *et al.*, 2020).

Un componente clave de su capacidad antagonista es la producción de metabolitos secundarios volátiles y no volátiles con actividad inhibidora sobre patógenos. Los compuestos volátiles, generalmente de bajo peso molecular, pueden difundirse a través del suelo e influir en la fisiología de otros microorganismos, mientras que los metabolitos de mayor peso molecular, como los peptaiboles, ejercen su efecto mediante interacciones directas con los organismos objetivo (Stracquadiano *et al.*, 2020).

3.6 *Aspergillus*.

Los hongos pertenecientes al género *Aspergillus* son mohos filamentosos ampliamente distribuidos en distintos ambientes del planeta y desempeñan un papel importante en diversos procesos naturales. Gómez Rojas *et al.* (2021) señalan que este grupo fúngico ha sido utilizado en fermentaciones empleando múltiples tipos de sustratos, a través de las cuales es posible generar péptidos bioactivos y otros metabolitos con propiedades benéficas

El género *Aspergillus* se caracteriza por su amplia presencia en distintos ambientes, lo cual se debe principalmente a que sus conidios son pequeños y de fácil dispersión,

permitiéndoles mantenerse en el entorno por periodos prolongados (Abarca, 2000). Este grupo de hongos resulta particularmente relevante debido a su versatilidad biológica: incluye especies utilizadas como modelos de estudio, cepas de interés industrial y también patógenos de importancia médica, además de poseer la capacidad de producir una gran variedad de metabolitos secundarios con actividad biológica. Asimismo, desempeñan un papel fundamental en la degradación de materia orgánica y en mecanismos de defensa del hospedero frente a microorganismos potencialmente patógenos (Ramírez, Serrano y Sandoval, 2006).

4 DESARROLLO DEL PROYECTO

El proyecto se realizó en el Laboratorio de Fitopatología e invernadero pertenecientes al Tecnológico Nacional de México campus Conkal.

4.1 Cepas de hongos endófitos.

Las cepas utilizadas son pertenecientes a la colección de hongos endófitos del laboratorio de fitopatología del Tecnológico Nacional de México campus Conkal. Las cepas seleccionadas son; *Lasiodiplodia pseudotheobromae* (HE22), *Trichoderma asperellum* (Ta13-17), *Aspergillus flavus* (HE15), *Trichoderma longibrachiatum* (36). Estas fueron activadas en cajas petri con medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA) (Figura 1), posterior a esto, se realizó un raspado y conteo de esporas para obtener las soluciones que se utilizaron en la inoculación en los cultivos de *C. sativus*



Figura 1. Activación de los hongos endófitos.

4.2 Preparación del bocashi.

Para la preparación del bocashi se utilizaron los siguientes materiales; un costal de suelo, un costal de estiércol, medio costal de ceniza, medio costal de carbón molido, costal de salvado de trigo, levadura, melaza, una paca.

La mezcla fue revuelta con palas, cubierta con bolsas de plástico en todos sus lados y expuesta directamente al sol. Este procedimiento se repitió diariamente durante un periodo de 15 días (Figura 2).



Figura 2. Preparación de bocashi.

4.3 Realización de semilleros de *C. sativus* cv Criollo

Se utilizó un semillero de plástico de 72 cavidades, el cual fue relleno con una mezcla de peat moss y perlita, que cumplió la función como sustrato (Figura 3). El semillero fue cubierto con una bolsa de plástico sellada para generar el efecto de cámara de humedad, fue colocado en el invernadero de fitopatología del tecnológico de Conkal.



Figura 3. Realización de semillero de *C. sativus*.

4.4 Tratamientos y trasplante de plántulas de *C. sativus*.

Se establecieron 5 tratamientos, siendo; T1: el testigo, T2: la inoculación de *L. pseudotheobromae* (HE22), T3: la inoculación de *T. asperellum* (Ta13-17), T4: la inoculación de *T. longibrachiatum* (HE36), T5: la inoculación de *A. flavus* (HE15).

Para el trasplante se utilizaron macetas de 5", teniendo como sustrato la siguiente mezcla: 2 carretillas de sustrato con nematodos, 2 carretillas de suelo, tres cuartos de carretilla de bocashi y perlita. Se pusieron 10 plantas por tratamiento, las cuales fueron colocadas en un diseño experimental completamente al azar (Figura 5).



Figura 4. Plántula de *C. sativus*.



Figura 5. Arreglo espacial de las macetas según su diseño experimental.

4.5 Inoculación de hongos endófitos en cultivos de *C. sativus*.

Cada maceta recibió 1 mL de la solución de esporas (Figura 6), con una concentración de 1×10^{-6} esporas del inóculo. Se dejaron 10 plantas sin inocular, que funcionarán como testigo. Este proceso se realizó a los 15 días y 30 días posteriores a la primera inoculación, esto con la finalidad de garantizar que el inóculo esté presente en el cultivo.



Figura 6. Inoculación de hongos endófitos en *C. sativus*.

4.6 Manejo del cultivo *C. sativus*.

El riego se aplicó cuando las macetas estaban secas (aproximadamente cada 2 días). Para el control de mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) y cochinilla algodonosa (*Planococcus citri*), se fumigó alternadamente con jabón Foca y el producto Biogarlic. Adicionalmente, se realizó podas de ramas o guías secundarias, de igual forma, las plantas fueron tutoradas para orientar su crecimiento.



Figura 7. Tutorado aplicado para orientar el crecimiento de las plantas.

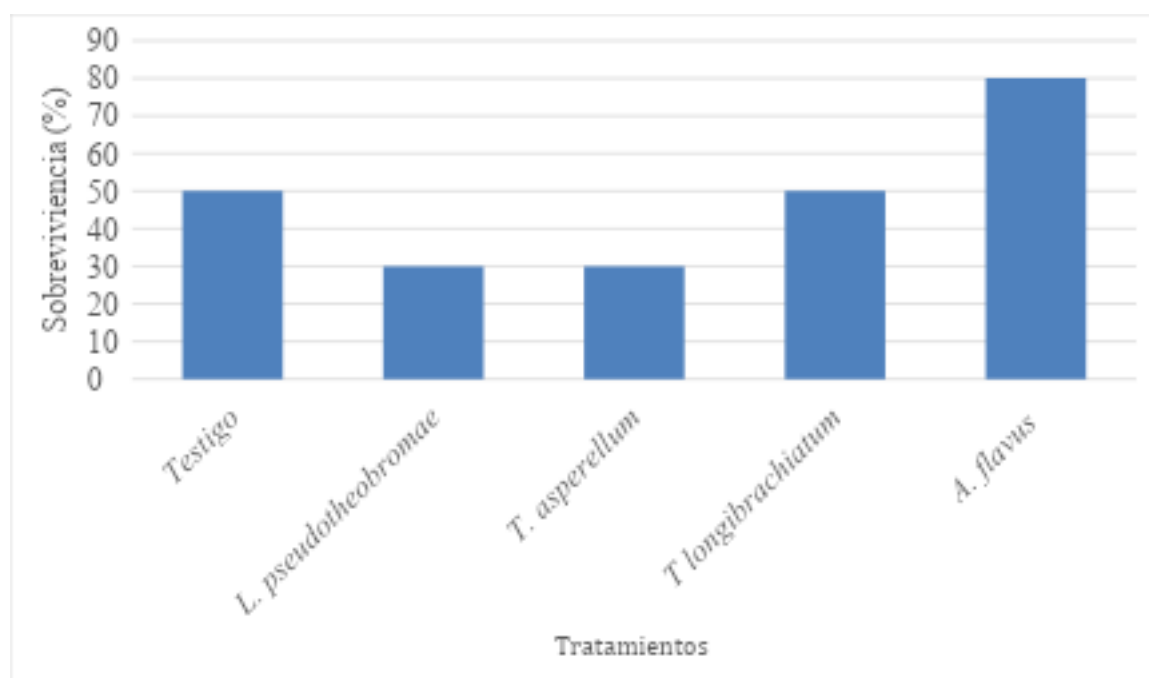
4.7 Evaluación del cultivo de *C. sativus*.

Las evaluaciones fueron de tipo destructivo y se consideraron las siguientes variables: grosor del tallo, altura de la planta, biomasa foliar seca, biomasa radical seca, volumen radical, y supervivencia. Para el análisis estadístico de los datos obtenidos se utilizó el software Infostat, el cual permite aplicar pruebas de comparación de medias, análisis de varianza (ANDEVA) y diseño de experimentos.

5 RESULTADOS Y DISCUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, se observó que el tratamiento inoculado con *A. flavus*, tuvo el mayor porcentaje de sobrevivencia en comparación con los demás tratamientos, alcanzó un 80 %, seguido del tratamiento inoculado con *L. flavus* y el testigo, los cuales presentaron un 50 % de sobrevivencia.

Tabla 1. Sobrevivencia de plantas de pepino blanco cv. criollo



En el análisis de varianza se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($P \leq 0.01$), donde el tratamiento inoculado con *A. flavus* presentó las mejores respuestas en las variables de volumen radicular, biomasa seca foliar y biomasa seca radicular (Tabla 1).

Altura: de acuerdo con los datos obtenidos se observó que no se encuentra diferencias significativas entre los tratamientos ($P \leq 0.1$), el tratamiento inoculado con *A. flavus* presentó un crecimiento de 160.23 cm estadísticamente igual que el testigo (Figura 8). La ausencia de diferencias en altura indicó que los hongos endófitos evaluados no influyeron directamente en la elongación del tallo, sino que sus efectos se concentraron en la mejora del sistema radical y

la biomasa. Esto es consistente con estudios que reportan que los endófitos pueden incrementar el vigor y la eficiencia fisiológica sin necesariamente modificar la estatura de la planta (Bacon & White, 2016). En este caso, aunque *A. flavus* mostró un notable impacto en biomasa y raíces, la altura permaneció estable, lo que sugiere que la respuesta estructural del pepino se centró en calidad y no en longitud.

Diámetro: se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.01$), en esta variable, en el tratamiento. El tratamiento con *T. longibrachiatum* causó 25.95 mm de diámetro, este tuvo el mayor registro. El incremento en el diámetro del tallo en plantas tratadas con *T. longibrachiatum* sugiere una estimulación del desarrollo estructural y posiblemente del tejido vascular, lo que puede favorecer la estabilidad y capacidad de transporte de agua y nutrientes. Este comportamiento coincide con los mecanismos atribuidos a *Trichoderma* spp., como la producción de metabolitos bioactivos y la inducción de crecimiento mediante regulación hormonal (Stracquadanio *et al.*, 2020). De esta forma, aunque no fue el más destacado en biomasa, *T. longibrachiatum* sí mostró un efecto notable en engrosamiento del tallo, lo que representó un beneficio agronómico importante.

Volumen radicular: los análisis mostraron diferencias significativas entre los tratamientos ($P \leq 0.01$), inoculados con *A. flavus* y *T. asperellum*, seguido de *L. pseudotheobroma* y *T. longibrachiatum*. El registro más alto fue de *A. flavus* con 11.25 cm³, seguido de *T. longibrachiatum* y *L. pseudotheobromae*. Aunque *T. asperellum* y *T. longibrachiatum* no superaron a *A. flavus*, sí mostraron incrementos notables en biomasa foliar y volumen radical respecto al testigo. Esto es consistente con lo documentado por Stracquadanio *et al.* (2020), quienes demostraron que *Trichoderma* spp. mejora el desempeño de plantas mediante mecanismos combinados como micoparasitismo, producción de metabolitos activos, y la inducción de defensas en la planta.

Biomasa seca foliar: De acuerdo con los análisis obtenidos se observa diferencias significativas entre los tratamientos ($P \leq 0.01$), con respecto a los organismos inoculados *A. flavus* registró una mayor masa foliar con 20.3 g, *T. longibrachiatum* con 15.2 g, *T. asperellum* 11.8 g y *L.pseudotheobromae* 10.18 g. El aumento de la biomasa foliar en plantas tratadas con *A. flavus* podría atribuirse al efecto de sus metabolitos bioactivos que mejoran la eficiencia fotosintética y la asimilación de nutrientes, como señalan Gómez Rojas *et al.* (2021).

Biomasa seca radicular: Se observó con el análisis estadístico que el tratamiento inoculado con *A. flavus* presentó el mayor registro con 1.13 g mostrando diferencias significativas, seguido de las especies de *Trichoderma* y *L. pseudotheobromae*. Los datos sobresalientes de *A. flavus* en biomasa seca radical confirma su eficiencia como promotor del desarrollo subterráneo. De acuerdo con Gómez Rojas *et al.* (2021), especies de *Aspergillus* pueden sintetizar compuestos que favorecen la proliferación celular y la expansión de raíces, lo que coincide con los resultados obtenidos.

El incremento significativo en volumen radical, biomasa foliar seca y biomasa radical seca en *A. flavus* podría estar relacionado con su capacidad para liberar enzimas hidrolíticas y compuestos que facilitan el acceso de las raíces a nutrientes esenciales, fenómeno también descrito por Ramírez, Serrano y Sandoval (2006) en interacciones de *Aspergillus* con plantas en suelos agrícolas. Asimismo, se ha señalado que *Aspergillus* puede favorecer la disponibilidad de fósforo y nitrógeno, lo cual explicaría el crecimiento diferencial observado.

Tabla 2. Efecto de las variables evaluadas en el crecimiento de pepino blanco (*C. sativus* L.).

Tratamientos	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Volumen radicular (cm ³)	biomasa seca foliar (gr)	biomasa seca radicular (gr)
Testigo	167.78a	5.2a	8.25ab	18.55ab	1.05a
<i>L.pseudotheobromae</i>	148.9a	4.53a	3.75c	10.18d	0.4c
<i>T. asperellum</i>	155.75a	4.9a	10.25a	11.8cd	0.67b
<i>T. longibrachiatum</i>	157.75a	25.95a	6.25bc	15.2bc	0.67b
<i>A. flavus</i>	160.23a	4.53a	11.25a	20.3a	1.13a

Nota: Medias con una letra en común no son significativamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).



Figura 8. Evaluación de la variable de altura de plantas de *C. sativus*.

Para determinar la capacidad endófitas de los hongos inoculados, se realizó un aislamiento a partir de tejido radicular de las plantas de cada tratamiento. Se tomó aproximadamente 1 g de raíz fresca por planta, el cual se lavó con agua destilada y se realizó una desinfección superficial para eliminar microorganismos externos. Posteriormente, el tejido se cortó en fragmentos pequeños y se colocó en cajas Petri con medio de cultivo PDA (Papa-Dextrosa-Agar) previamente esterilizado (Figura 9).

Las cajas se incubaron por varios días, observándose el crecimiento de hongos emergentes desde el interior del tejido radicular, lo que permitió confirmar la presencia y

persistencia de los endófitos inoculados. La aparición de estructuras miceliales desde el tejido se consideró evidencia de colonización interna.



Figura 9. Evaluación de la capacidad endófitra de las cepas inoculadas en *C. sativus*.

6 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran que los hongos endófitos evaluados tienen un efecto positivo sobre el desarrollo del pepino blanco (*C. sativus* L.), destacando *A. flavus* como el microorganismo con mayor potencial biológico. Este tratamiento registró los valores más altos en volumen radical, biomasa seca foliar, biomasa seca radical y porcentaje de sobrevivencia, lo que evidencia su capacidad para mejorar la absorción de nutrientes, estimular el crecimiento vegetal y favorecer la adaptación de las plantas en condiciones de invernadero. Los tratamientos con *T. asperellum* y *T. longibrachiatum* también mostraron respuestas favorables comparadas con el testigo, lo cual coincide con los mecanismos de promoción de crecimiento descritos en estudios previos; sin embargo, su efecto no superó al de *A. flavus*. En conjunto, los resultados confirman que los hongos endófitos representan una alternativa viable para fortalecer el crecimiento y vigor del pepino blanco, contribuyendo al desarrollo de estrategias agrícolas más eficientes y sostenibles en Yucatán.

7 REFERENCIA BIBLIOGRAFIA

- Abarca, M. (2000). «Taxonomía e identificación de especies implicadas en la aspergilosis nosocomial». En: Rev Iberoam Micol 17.3, S79-S84. Online: <https://bit.ly/34C1Uyz>.
- Bacon CW, White JF. 2016. Functions, mechanisms and regulation of endophytic and epiphytic microbial communities of plants. Symbiosis 68, 87-98. <http://doi.org/10.1007/s13199-015-0350-2>
- Barrera-Torres, C. (2011). Pepino persa, negocio para pequeños productores. El Economista. <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Pepino-persa-negocio-para-pequenos-productores-20111108-0003.html>
- Cruz, S. (2017). Exportan productores michoacanos 75 toneladas de pepino persa a Texas. PTC. <https://www.ptc.mx/2017/02/exportan-productores-michoacanos-75-toneladas-de-pepino-persa-a-texas/>
- Derbalah AS, Elkot GA (2011) Cultural filtrates of certain microbial isolates as an alternative to powdery mildew chemical control in cucumbers. Journal of Pesticide Science 36:402-406. <https://doi.org/10.1584/jpestics.G11-23>.
- Ernestina, O. (2001). *Cucumis sativus* L. [Información sobre usos medicinales y alimenticios].
- Eifediyi, E. E., & Remison, S. U. (2009). Nutritional and medicinal importance of cucumber (*Cucumis sativus* L.). International Journal of Nutrition and Metabolism, 1(2), 12–19.
- Gómez Rojas, M. P., Arboleda Valencia, J. W., & Mosquera Martínez, O. M. (2021). Género *Aspergillus*: fuente potencial de péptidos bioactivos. Revista Facultad De Ciencias Básicas, 17(1), 73–89. <https://doi.org/10.18359/rfcb.5610>

- Grubben, G. J. H., & Denton, O. A. (2004). Plant resources of tropical Africa 2. Vegetables. PROTA Foundation.
- Hjeljord L, Troonsmo A. Trichoderma and Gliocladium in biological control: an overview. In: Harman GE, Kubice KCP. Edicion. *Trichoderma & Gliocladium*. Volumen 2. Enzymes, biological control and commercial applications. Taylor & Francis Ltd., London, UK; 1998. p.131-151.
- Huang LQ, Niu YC, Su L, Deng H, Lyu H. 2020. The potential of endophytic fungi isolated from cucurbit plants for biocontrol of soilborne fungal diseases of cucumber. Microbiological Research 23. <http://doi.org/10.1016/j.micres.2019.126369>
- Kim CK, Eo JK, Eom AH. 2013. Diversity and seasonal variation of endophytic fungi isolated from three conifers in Mt. Taehwa, Korea. Mycobiology 41, 82-85. <http://doi.org/10.5941/myco.2013.41.2.82>
- Krístková, E., Lebeda, A., Vinter, V., and Blahousek, O., Genetic resources of the genus *Cucumis* and their morphological description (English-Czech version), Hort. Sci., Prague, 30, 14--42, 2003.
- Martínez B, Fernández L, Solano T. Antagonismo de cepas de *Trichoderma* frente a hongos fitopatógenos de la caña de azúcar, tomate y tabaco. Cultivos Tropicales. 1994;15(3):54.
- McGregor, S.E. 1976. Insect pollination of cultivated crop plants. Agriculture Handbook. 496: 203-208.
- Olawuyi, O. I., Adeyemo, A. B., & Akinyosoye, F. A. (2011). Assessment of cucumber production and utilization in Nigeria: challenges and prospects. African Journal of Agricultural Research, 6(15), 3548–3553.
- Opportimes. (2020). Exportaciones mexicanas de pepinos a EU baten récord. <https://www.opportimes.com/exportaciones-mexicanas-de-pepinos-a-eu-baten-record/>

- Pavlic, D., Slippers, B., Coutinho, T. A., & Wingfield, M. J. (2004). *Lasiodiplodia* species associated with tropical hosts. *Plant Pathology*, 53(6), 694–704.
- Ramírez, Ninfa, José Antonio Serrano y Horacio Sandoval (2006). «Microorganismos extremófilos. Actinomicetos halófilos en México». En: *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas* 37.3, págs. 56-71.
- Stracquadanio, C., Quiles, J. M., Meca, G., & Cacciola, S. O. (2020). Antifungal Activity of Bioactive Metabolites Produced by *Trichoderma asperellum* and *T. atroviride* in Liquid Medium. *Journal of Fungi*, 6(4), 263. <https://doi.org/10.3390/jof6040263>
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2020). Estadísticas de producción anual ganadera, Anuario estadístico de la producción ganadera. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Vero SM, Mondino P. Control biológico postcosecha en Uruguay. *Horticultura Internacional*. 1999; 7:1-10.