



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®

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

**RELACIONES TRÓFICAS EN PEPINO BLANCO (*Cucumis sativus* L.)
INOCULADO CON HONGOS ENDÓFITOS NATIVOS**

TESIS

Que presenta:

Brandon Aaron Lara Cetina

Como requisito parcial para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Horticultura Tropical

Directora de tesis:

Dra. Alejandra González Moreno

Conkal, Yucatán, México

Diciembre, 2025



TecNM



Conkal, Yucatán, México a 10 de diciembre de 2025.

El comité de tesis del candidato a grado: Brandon Aaron Lara Cetina, constituido por los CC. Dra. Alejandra González Moreno, Dr. Jairo Cristóbal Alejo, y Dr. Horacio Salomón Ballina Gómez, habiéndose reunido con el fin de evaluar el contenido teórico-metodológico y de verificar la estructura y formato de la tesis titulada: **RELACIONES TRÓFICAS EN PEPINO BLANCO (*Cucumis sativus* L.) INOCULADO CON HONGOS ENDÓFITOS NATIVOS**, que presenta como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Horticultura Tropical, según lo establece el Capítulo 2, inciso 2.13.3, de los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado en el Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos, dictaminaron su aprobación para que pueda ser presentada en el examen de grado correspondiente.

ATENTAMENTE

Dra. Alejandra González Moreno
Directora de Tesis

Dr. Horacio Salomón Ballina
Gómez
Asesor de Tesis

Dr. Jairo Cristóbal Alejo
Co-director de Tesis



Conkal, Yucatán, México a 10 de Diciembre de 2025

DECLARATORIA DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en las secciones de materiales y métodos, resultados y discusión de este documento, es producto del trabajo de investigación realizado durante mi estudio de posgrado y con base en los términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial le pertenece patrimonialmente al Instituto Tecnológico de Conkal. En virtud de lo manifestado reconozco que los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que se deriven de lo correspondiente a dicha información son propiedad de la citada institución educativa.

Brandon

Brandon Aaron Lara Cetina

INDICE DE CONTENIDO

I. CAPÍTULO 1.....	10
1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL.....	10
1.2 Antecedentes.....	11
1.3 Hipótesis.....	15
1.4 Objetivos (general y específicos).....	15
1.5 Procedimiento experimental.....	16
1.6 Literatura citada.....	17
II. CAPÍTULO 2.....	24
Resumen.....	24
2.1 Introducción.....	25
2.2 Materiales y métodos.....	26
2.3 Resultados.....	29
2.4 Discusión.....	43
2.5 Conclusiones.....	44
2.6 Literatura citada.....	45
III. CAPÍTULO 3.....	53
Resumen.....	53
3.1 Introducción.....	54
3.2 Materiales y métodos.....	55
3.3 Resultados y discusión.....	56
3.4 Conclusiones.....	67
3.5 Literatura citada.....	68
IV. CONCLUSIONES GENERALES.....	72

INDICE DE CUADROS Y FIGURAS

CAPITULO I

Cuadro 1.1 Grupos y clases de hongos endófitos.....	12
Cuadro 1.2 Efectos benéficos ocasionados por hongos endófitos.....	14
Figura 1.1 Esquema experimental.....	16

CAPITULO II

Cuadro 2.1: Efecto en Variables fisiológicas	41
Figura 2.1: Escala de daño por insectos fitófagos masticadores.....	28
Figura 2.2: Longitud de guía y No. guías secundarias a los 15DDT.....	29
Figura 2.3: Diámetro de tallo a los 15 DDT.....	30
Figura 2.4: Longitud de guía y No. guías secundarias a los 30 DDT.....	31
Figura 2.5: Diámetro de tallo a los 30 DDT.....	32
Figura 2.6: Longitud de guía y No. guías secundarias a los 60 DDT.....	33
Figura 2.7: Diámetro de tallo a los 60 DDT.....	34
Figura 2.8: Defensas físicas.....	35
Figura 2.9: Biomasa seca de raíz y tallo.....	36
Figura 2.10: Biomasa seca de hoja.....	37
Figura 2.11: Características de fruto.....	38
Figura 2.12: Peso de fruto.....	39
Figura 2.13: Rendimiento.....	40
Figura 2.14: Porcentaje de daño por <i>D. hyalinata</i>	42

Capitulo III

Cuadro 3.1. Resultados del RDA de los insectos fitófagos.....	63
Figura 3.1: Curvas de rango-abundancia de familias de insectos colectados.....	57
Figura 3.2: Curvas de rango-abundancia de las familias de insectos fitófagos.....	58
Figura 3.3: Curvas de rango-abundancia de las familias de insectos depredadores....	59
Figura 3.4: Curvas de rango-abundancia de las familias de insectos parasitoides.....	61
Figura 3.5. Adultos macho y hembra de <i>E. dentator</i> emergidos de <i>D. hyalinata</i>	62

Figura 3.6: Correlación de los tratamientos con los insectos depredadores.....	64
Figura 3.7: Correlación de los tratamientos con los insectos parasitoides.....	66

RESUMEN

El pepino blanco (*Cucumis sativus* L.) es una especie de importancia gastronómica en la península de Yucatán, sin embargo, su cultivo está expuesto a pérdidas de producción por la presencia de plagas y enfermedades. El manejo de estas interacciones parasitarias puede hacerse con la aplicación de hongos endófitos (HE), provenientes de la misma especie, éstos son microorganismos que colonizan y viven dentro de las plantas sin causarles daño a o alterarles su salud. En dicha interacción simbiótica destaca la protección contra insectos fitófagos y fitopatógenos. En esta investigación se estudió el efecto de cuatro especies de hongos endófitos inoculados en dosis de 1×10^8 esporas mL^{-1} : *Aspergillus flavus* (AF-15), *Lasiodiplodia pseudotheobromae* (LP-22), *Trichoderma longibrachiatum* (TL-36), *Trichoderma asperellum* (TA-1317) y un Testigo (sin inocular); en el cultivo del pepino blanco cv. Criollo en la época de lluvias (julio – septiembre) con el objetivo de identificar cambios inducidos por los hongos endófitos en el crecimiento vegetal y el daño por insectos fitófagos. Se evaluaron cambios morfológicos mediante las variables de crecimiento: longitud de guía, No. de guías secundarias, diámetro de tallo, grosor y dureza de hojas. Se obtuvo la biomasa seca (raíz, tallo, hojas), características de frutos (longitud, diámetro, peso), se midieron los cambios fisiológicos con un analizador de gases por infrarrojo (IRGA) y el daño por *Diaphania hyalinata* en cada tratamiento, con la ayuda de una escala de daño. Se encontraron efectos significativos en las variables de crecimiento y en las fisiológicas (fotosíntesis, conductancia estomática, carbono intercelular, transpiración, uso eficiente del agua). Los tratamientos inoculados con HE mostraron mejor crecimiento y rendimiento de frutos. También, mostraron menor porcentaje de daño por *D. hyalinata* en comparación con el tratamiento Testigo (sin inocular). Estos resultados resaltan el potencial del uso de los hongos endófitos en el cultivo del pepino blanco como herramienta de control biológico y mejoramiento de la expresión de las características vegetales.

Palabras clave: Control biológico, manejo integrado de plagas, microorganismos benéficos.

ABSTRACT

The white cucumber (*Cucumis sativus* L.) is a species of gastronomic importance in the Yucatán Peninsula; however, its cultivation is susceptible to production losses due to pests and diseases. Managing these parasitic interactions can be achieved through the application of endophytic fungi (EF) from the same species. These are microorganisms that colonize and live within plants without harming or altering their health. This symbiotic interaction is notable for its protection against phytophagous insects and phytopathogens. This research studied the effect of four endophytic fungal species inoculated at a dose of 1×10^8 spores mL^{-1} : *Aspergillus flavus* (AF-15), *Lasiodiplodia pseudotheobromae* (LP-22), *Trichoderma longibrachiatum* (TL-36), *Trichoderma asperellum* (TA-1317), and a Control (uninoculated) on the cultivation of the white cucumber cv. Criollo was studied during the rainy season (July–September) to identify changes induced by endophytic fungi in plant growth and damage caused by phytophagous insects. Morphological changes were evaluated using the following growth variables: shoot length, number of secondary shoots, stem diameter, and leaf thickness and hardness. Dry biomass (root, stem, leaves) and fruit characteristics (length, diameter, weight) were obtained. Physiological changes were measured using an infrared gas analyzer (IRGA), and damage caused by *Diaphania hyalinata* was assessed in each treatment using a damage scale. Significant effects were found on growth and physiological variables (photosynthesis, stomatal conductance, intercellular carbon, transpiration, and water use efficiency). Treatments inoculated with endophytic fungi showed better growth and fruit yield. They also showed a lower percentage of damage from *D. hyalinata* compared to the control (uninoculated) treatment. These results highlight the potential of using endophytic fungi in white cucumber cultivation as a tool for biological control and improving the expression of plant characteristics.

Keywords: Biological control, integrated pest management, beneficial microorganisms.

I. CAPITULO 1

1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL

El uso de insecticidas químicos ha conducido a impactos ambientales negativos, problemas de salud pública y al desarrollo de resistencia de poblaciones de insectos plaga, lo que ha motivado la búsqueda de alternativas para su control, principalmente en regiones en desarrollo y en sistemas agrícolas tropicales (Devine *et al.*, 2008). Dilucidar cómo influyen las comunidades de hongos endófitos en el cultivo de pepino blanco y la relación trófica al nivel planta-fitófago-enemigo natural es de vital importancia para desentrañar el potencial benéfico de estos microorganismos en manejo de plagas agrícolas (Rodríguez *et al.*, 2009).

Los hongos endófitos son microorganismos que colonizan y viven dentro de las plantas sin causar daño o enfermedad al hospedero (Saikkonen *et al.*, 2006). En ésta interacción simbiótica, el hongo endófito le otorga beneficios a la planta hospedera a cambio de nutrientes; dentro de estos beneficios destacan la protección contra los insectos plaga (Quesada-Moraga *et al.*, 2009) a través de la interrupción de su ciclo de desarrollo, mediante disuasión alimenticia (Vega, 2008), reducción de la supervivencia, oviposición y crecimiento (Martinuz *et al.*, 2012) así como efectos directos sobre la planta con la mejora de su crecimiento, vigor y captación de nutrientes (nitrógeno y fósforo) (Khan *et al.*, 2012; Behie y Bidochka, 2014; Jaber y Enkerli, 2016), también actúan como barreras protectoras contra fitopatógenos (Moy *et al.*, 2000). Debido al potencial de los hongos endófitos para ayudar en la salud vegetal (Khan *et al.*, 2012), la evidencia de que la reducción en el daño por insectos plaga se atribuye a la acumulación de micotoxinas en el tejido vegetal (Gurulingappa *et al.*, 2011) y a la producción de metabolitos fúngicos dañinos para los insectos plaga (Clay y Schardl, 2002). El estudio de los hongos endófitos y su efecto sobre la planta y la interacción con los niveles tróficos (planta-fitófago-enemigo natural) es de vital importancia, ya que constituye un eje central en el manejo integrado de plagas en los sistemas de producción hortícola tropicales, donde la posibilidad de utilizar hongos endófitos y enemigos (depredadores y parasitoides) ofrece un abanico de oportunidades aún sin explorar en la región.

1.2 ANTECEDENTES

México es el quinto productor a nivel mundial de pepino (*C. sativus* L.), con una producción del 72.3% que se exporta a otros países (principalmente Estados Unidos) (SIAP, 2024), ocupa el cuarto lugar dentro de las cucurbitáceas en importancia por superficie sembrada, puede cultivarse todo el año, durante un periodo desarrollo de 4 a 6 meses. Se cultiva a cielo abierto o en invernaderos, su cultivo es de gran importancia económica ya que tiene un elevado índice de consumo, ya que sirve de alimento fresco e industrializado. Aunque las variedades criollas han sido poco explotadas, en la región de la península de Yucatán son de gran importancia.

El pepino es una planta anual de hábito rastrero o trepador perteneciente a la familia Cucurbitaceae, el sistema radicular, puede llegar a medir hasta 1.10 m de profundidad y se desarrolla principalmente entre los 30-40 cm. El tallo principal es anguloso y espinoso, de porte rastrero y trepador, de cada nudo parte una hoja y un zarcillo. En la axila de cada hoja se emite un brote lateral con una o varias flores. Los zarcillos son sencillos sin ramificaciones. La hoja tiene un largo peciolo (5 a 15 cm), gran limbo acorazonado, con tres lóbulos más o menos pronunciados (el central está más acentuado y generalmente acabado en punta), de color verde oscuro y recubierto de tricomas. La flor es de pedúnculo corto y pétalos amarillos, monoicas (aunque hay cultivares andromonoicos, con flores hermafroditas y estaminadas, ginomonoicas, con flores hermafroditas y pistiladas y ginoicas, con flores únicamente pistiladas), con escasas flores estaminadas, en fasículos; pedicelos largos y pilosos; perianto pentámero; receptáculo largo, campanulado y piloso. Las plantas de pepino son típicamente monoicas y senoicas, con polinización cruzada por insectos. El fruto es pepónoide áspero o liso, dependiendo del cultivar, que va desde un color verde claro, pasando por un verde oscuro. Frutos de tamaño variable, cilíndrico, glabros lisos o ásperos, mesocarpio abundante, carnoso de coloración blanca a verde claro cuando inmaduro a amarillo cuando madura. Sabor ligeramente dulce. Semillas planas, de color blanco, miden de 8-10 mm, con un grosor de 3.5 mm, el número de semillas por fruto varía de 30 a 300 (Talavera, 2005; García y Angulo, 2008; CONABIO, 2021).

Importancia de los hongos endófitos

El ambiente interno de las plantas hospeda comunidades microbianas con gran potencial para mejorar la productividad, prácticamente todas las plantas con tejidos vasculares poseen hongos endófitos (Cope-Selby *et al.*, 2017) cuya interacción con la planta puede ser benéfica o patogénica

dependiendo de diversos factores ambientales, por lo que la relación que existe entre las plantas hospederas y los hongos endófitos a menudo se categoriza como un antagonismo balanceado, ya que el hospedero recibe efectos benéficos (simbiosis mutualista) o perjudiciales (fitopatógenos) dependiendo de las condiciones ambientales (Richardson, 2000; Schulz y Boyle, 2005). Los hongos endófitos juegan un papel importante en la adaptación de las plantas a su ambiente, llegan a mejorar el desempeño vegetal e incluso dotando a las plantas de protección ante el estrés biótico y abiótico (Lugtenberg *et al.*, 2016). El aislamiento de hongos endófitos a partir de diversas partes de las plantas con bioprospección en la agricultura es una rama de la biotecnología con gran auge en la actualidad (Shah *et al.*, 2019; Yang *et al.*, 2018).

Los hongos endófitos residen dentro del tejido vegetal y pueden colonizar raíces, tallos y hojas, emergiendo para esporular en la planta o viviendo en senescencia dentro del tejido hospedero (Stone *et al.*, 2004). En general, se distinguen dos principales grupos de hongos endófitos; basados en la proximidad evolutiva, taxonomía, plantas hospederas y funciones ecológicas (Cuadro 1.1): los endófitos clavicipitáceos (C-endófitos), que colonizan pastos; y los no-clavicipitáceos (NC-endófitos), que han sido aislados de tejidos asintomáticos de plantas no vasculares, helechos, coníferas y angiospermas (Rodríguez *et al.*, 2009).

Cuadro 1.1 Grupos y clases de hongos endófitos.

	Clavicipitáceos	No-clavicipitáceos		
Criterio	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4
Rango de hospederos	Reducido	Amplio	Amplio	Amplio
Tejidos colonizados	Tallo y rizoma	Tallo, raíz y rizoma	Tallo	Raíz
Colonización <i>In planta</i>	Extensa	Extensa	Limitada	Extensa
Biodiversidad <i>In planta</i>	Baja	Baja	Alta	Desconocida
Transmisión	Vertical y horizontal	Vertical y horizontal	Horizontal	Horizontal
Beneficios adaptativos*	NHA	NHA y HA	NHA	NHA

* Beneficios no adaptados al hábitat (NHA) tales como la tolerancia a la sequía y el incremento en el crecimiento son comunes en estos hongos endófitos sin importar el hábitat de origen. Los beneficios adaptados al hábitat (HA) resultan de presiones selectivas específicas al hábitat tales como el pH, temperatura y salinidad.

Trichoderma, *Lasiodiplodia* y *Aspergillus* son géneros pertenecientes a la división Ascomycota y se clasifican dentro de los NC-endófitos, un grupo altamente diverso representado por un ensamble polifilético principalmente de ascomicetos con diversos y a menudo desconocidos roles ecológicos. Se han aislado de todos los linajes mayores de plantas terrestres y de todos los ecosistemas terrestres, incluyendo agroecosistemas y los biomas que van desde los trópicos hasta la tundra (Arnold y Lutzoni, 2007). La escala de su diversidad, sus roles ecológicos, las pistas que proveen a la evolución de varios modelos ecológicos en los hongos, sus potenciales aplicaciones y la habilidad de muchos hongos endófitos para cambiar de endófitos a organismos saprófitos (Vasiliauskas *et al.*, 2007; Macia-Vicente *et al.*, 2008; Selosse *et al.*, 2008) se hacen cada vez más evidentes.

Efectos sobre la interacción trófica (planta-fitófago-enemigo natural)

La comunidad de hongos endófitos varía de planta a planta a causa de diversos factores ambientales que influyen sobre su adaptación y supervivencia, dentro de estos factores se encuentran la especie de planta, edad, genotipo, etapa fenológica y parámetros del suelo (Turrini *et al.*, 2015). De igual forma, la presencia de los hongos endófitos puede influir sobre distintos niveles tróficos (Cuadro 1.2), ya que su presencia en las plantas altera la incidencia de insectos plaga a través de diversos mecanismos como la producción de compuestos bioactivos (Hartmann *et al.*, 2019), la disuasión alimenticia (McGee, 2002; Vega, 2008), retraso en el crecimiento de los insectos, reducción en la oviposición y supervivencia (Lacey y Neven, 2006; Martinuz *et al.*, 2012) y atracción de enemigos naturales, además pueden coexistir sin afectar la supervivencia y eficacia de enemigos naturales como los parasitoides (Akutse *et al.*, 2014).

Los hongos endófitos que viven en simbiosis con las plantas afectan la cantidad y la calidad de los recursos disponibles en un ecosistema, modifican el suministro de energía para las poblaciones de consumidores a niveles más altos de la cadena trófica. La evidencia empírica indica que la limitación de recursos en las cadenas alimenticias es determinada por la productividad primaria y es un factor principal en la determinación de la abundancia de los consumidores y por lo tanto de la estructura trófica (Hooper *et al.*, 2005 y Hulot *et al.*, 2000). Dado que la calidad de las presas juega un rol crítico

en la regulación de las comunidades (Leibold *et al.*, 1997; Abrams, 1993), el estudio de la influencia de los hongos endófitos sobre las interacciones tróficas resulta de vital importancia, sobre todo si se toma en cuenta que las plantas colonizadas con hongos endófitos adquieren protección contra fitófagos (Jaber y Vidal, 2009; Breen, 1994; Dahlman *et al.*, 1991 y Clay, 1990) y que dichos cambios podrían alterar la abundancia y diversidad de comunidades de enemigos naturales.

Cuadro 1.2. Antecedentes de los efectos benéficos ocasionados por hongos endófitos.

Especie	Efecto	Autor
a) <i>Trichoderma longibrachiatum</i>	Promoción del crecimiento (90%) e inducción de resistencia (88.39%) ante antracnosis por <i>Colletotrichum lagenarium</i> en <i>Cucumis sativus</i> .	Da silva <i>et al.</i> (2011)
b) <i>Aspergillus flavus</i>	Incremento de la longitud de guías, aumento de peso fresco y peso seco (tallo y raíz), mayor área foliar y mayor contenido de clorofila en <i>Cucumis sativus</i> inoculado con <i>Aspergillus</i> spp PPA1.	Islam <i>et al.</i> (2013)
c) <i>Trichoderma asperellum</i>	Antagonismo del 93.62% contra <i>Fusarium oxysporum</i> en plantas de <i>Cucumis sativus</i> .	Srivastava (2017)
	T. asperellum (Ta. 13 y Ta. 90) favoreció la germinación y el crecimiento de plántulas con incremento en diámetro del tallo, masa total y radical en <i>Solanum lycopersicum</i> .	Ynfante-Martínez <i>et al.</i> (2022)
d) <i>Lasioidiplodia pseudotheobromae</i>	Antagonismo del 75% contra <i>Rhizoctonia solani</i> y producción de la auxina ácido indol-3 acético (IAA) in vitro.	Segaran & Sathiavelu (2023)
e) <i>A. Flavus</i> , <i>L. pseudotheobromae</i> , <i>T. longibrachiatum</i>	Efectos antifúngicos contra <i>Corynespora cassiicola</i> , <i>Colletotrichum truncatum</i> y <i>Fusarium equiseti</i> con inhibición de 17.72–100%, 16.51–91.55% y 4.64–91.89%, respectivamente.	Montañez De Azcué <i>et al.</i> (2024)

1.3 HIPÓTESIS

Los hongos endófitos del pepino blanco (*Cucumis sativus* L.) mejoran el crecimiento y desarrollo vegetal, disminuyen el ataque de fitófagos y favorecen la atracción de enemigos naturales (depredadores y parasitoides).

1.4 OBJETIVO GENERAL

Identificar los cambios inducidos por los hongos endófitos (HE) del pepino blanco (*C. sativus* L.) sobre el crecimiento, desarrollo vegetal y la relación trófica (planta-fitófago-enemigo natural).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar los cambios inducidos por los hongos endófitos sobre el crecimiento y desarrollo del pepino blanco (*C. sativus* L.).
- Determinar la severidad de daño por fitófagos y su riqueza en el cultivo.
- Estimar la riqueza de enemigos naturales (depredadores y parasitoides) y el porcentaje de parasitoidismo asociados al cultivo.
- Evaluar la relación trófica de fitófagos y enemigos naturales entre plantas inoculadas y sin inocular con HE.

1.5 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El experimento se llevó a cabo en la unidad productiva “La Posta” del Tecnológico Nacional de México campus Conkal, con coordenadas 21°04'50.1"N 89°32'14.6"W (temperatura anual media de 27 °C, precipitación pluvial anual de 470 mm y humedad relativa promedio anual de 66% en sequías y 90% en lluvias). Se cultivó en temporada de lluvias (Jul-Sept), en macetas de cinco kg (sustrato esterilizado previamente con formol al 10% y solarización x 10 días). Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA) con cuatro repeticiones, cinco tratamientos (cuatro especies de hongos endófitos y un Testigo sin inocular) y 20 plantas por tratamiento (N=100). En cuanto a los análisis estadísticos se realizaron ANDEVA para DBCA con comparación de medias de Tukey (≤ 0.05) en InfoStat, curvas de rango-abundancia, RDA en Canoco 4.5 y se calculó el porcentaje de parasitoidismo.

Esquema experimental

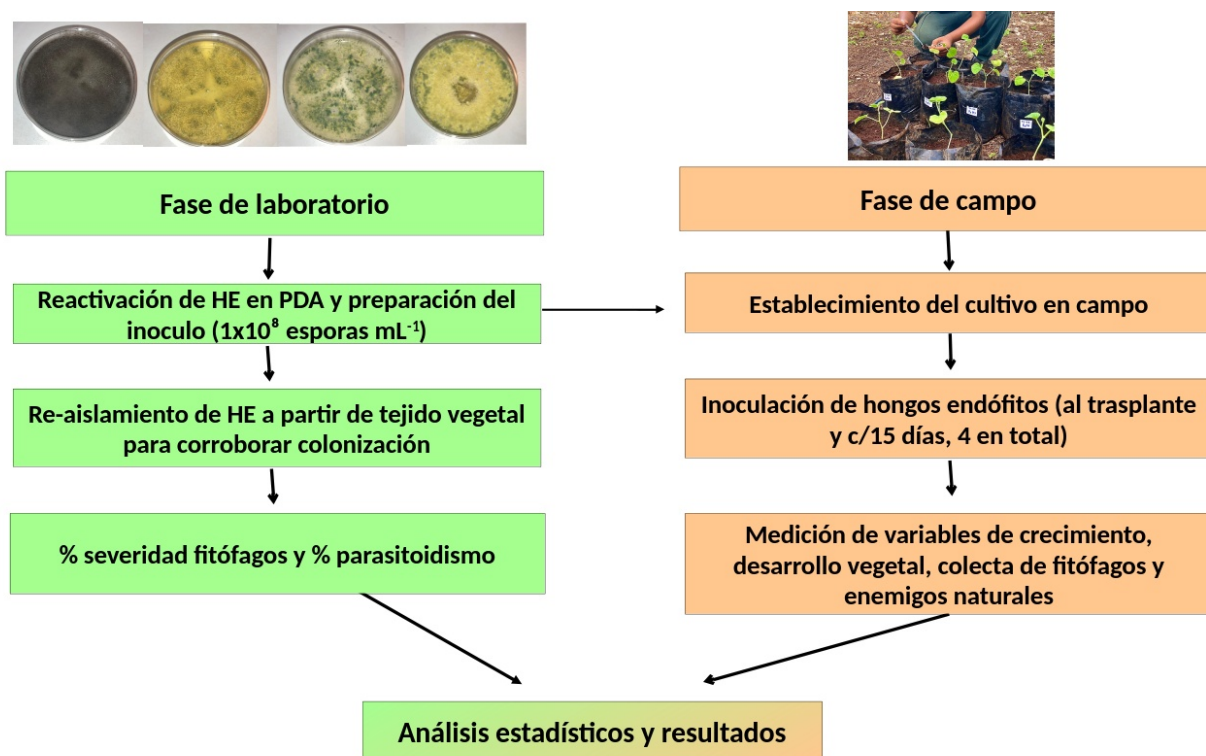


Figura 1.1. Esquema experimental (fase de laboratorio y fase de campo).

1.6 LITERATURA CITADA

Abrams, P. A. (1993). Effects of increased productivity on the abundance of trophic levels. *Am. Nat.* 141, 351± 371.

Akutse, K. S., Fiaboe, K. K., Van Den Berg, J., Ekesi, S., y Maniania, N. K. (2014). Effects of endophyte colonization of *Vicia faba* (Fabaceae) plants on the life-history of leafminer parasitoids *Phaenotoma scabriventris* (Hymenoptera: Braconidae) and *Diglyphus isaea* (Hymenoptera: Eulophidae). *PLoS One* 9:e109965. doi: 10.1371/journal.pone.0109965.

Arnold AE, Lutzoni F. (2007). Diversity and host range of foliar fungal endophytes: are tropical leaves biodiversity hotspots? *Ecology* 88: 541–549.

Behie, S. W., y Bidochka, M. J. (2014). Ubiquity of insect-derived nitrogen transfer to plants by endophytic insect-pathogenic fungi: an additional branch of the soil nitrogen cycle. *Appl. Environ. Microbiol.* 80, 1553–1560. doi: 10.1128/ AEM.03338-13.

Breen, J. P. (1994). *Acremonium* endophyte interactions with enhanced plant resistance to insects. *Annu. Rev. Entomol.* 39, 401±423.

Clay, K. (1990). Fungal endophytes of grasses. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 21, 275±297.

Clay, K., and Schardl, C. (2002). Evolutionary origins and ecological consequences of endophyte symbiosis with grasses. *Am. Nat.* 160, S99–S127. Doi: 10.1086/342161.

COMISION NACIONAL DE BIODIVERSIDAD (CONABIO). (2021). http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/pdf/2165_0_sg7.pdf

Cope-Selby, N., Cookson, A., Squance, M., Donnison, I., Flavell, R., y Farrar, K. (2017). Endophytic bacteria in *Miscanthus* seed: Implications for germination, vertical inheritance of endophytes, plant evolution and breeding. *Gcb Bioenergy*, 9(1), 57–77. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12364>.

Crawley MJ (Ed.) (1986) Plant Ecology. Blackwell, Oxford.

da Silva, V., Guzzo-Dias, S. & Lucon-Mantovanello, C. M. (2011). Growth promotion and resistance induction against anthracnose in cucumber using *Trichoderma* spp. Pesquisa Agropecuária Brasileira 46(12):1609-1618. DOI: 10.1590/S0100-204X2011001200005.

Dahlman, D. L., Eichenseer, H. & Siegel, M. R. (1991). Microbial Mediation of Plant-Herbivore Interactions (eds Barbosa, P., Krischik, V. A. & Jones, C. G.) 227±252 (John Wiley, New York, 1991).

Devine, Gregor J., Eza, Dominique, Oigusuku, Elena, & Furlong, Michael J. (2008). Insecticide use: context and ecological consequences abstract. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 25(1), 74-100.

Fraser, S. E., Dytham, C., & Mayhew, P. J. (2007). Determinants of parasitoid abundance and diversity in woodland habitats. *Journal of Applied Ecology*, 44(2), 352-361.

García, K A y Angulo L. K. (2008). Efecto de cultivos en asociación pepino (*Cucumis Sativus* L), pipian (*Cucurbita pepo* L) y frijol de cara (*Vigna unguiculata* L. walp), en la ocurrencia poblacional de insectos plagas beneficios y el rendimiento en Tisma Masaya Universidad Nacional Agraria. 91p.

Gurulingappa, P., Mcgee, P. A., y Sword, G. (2011). Endophytic *Lecanicillium lecanii* and *Beauveria bassiana* reduce the survival and fecundity of *Aphis gossypii* following contact with conidia and secondary metabolites. *Crop Prot.* 30, 349–353. doi: 10.1016/j.cropro.2010.11.017.

Hartmann, A., Fischer, D., Kinzel, L., Chowdhury, S. P., Hofmann, A., Baldani, J. I., & Rothballer, M. (2019). Assessment of the structural and functional diversities of plant microbiota: Achievements and challenges - A review. *Journal of Advanced Research*, 19, 3–13. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2019.04.007>.

Hooper, D. U., Chapin III, F. S., Ewel, J. J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S. & Wardle, D. A. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological monographs*, 75(1), 3-35.

Hulot, F. D., Lacroix, G., Lescher-Moutoué, F. & Loreau, M. (2000). Functional diversity governs ecosystem response to nutrient enrichment. *Nature* 405, 340±344.

Jaber, L. R., y Enkerli, J. (2016). Effect of seed treatment duration on growth and colonization of *Vicia faba* by endophytic *Beauveria bassiana* and *Metarhizium brunneum*. *Biol. Control* 103, 187–195. doi: 10.1016/j.biocontrol.2016.09.008.

Jaber, L. R., & Vidal, S. (2009). Interactions between an endophytic fungus, aphids and extrafloral nectaries: do endophytes induce extrafloral-mediated defences in *Vicia faba*?. *Functional Ecology*, 23(4), 707-714.

Khan, A. L., Hamayun, M., Khan, S. A., Kang, S.-M., Shinwari, Z. K., Kamran, M., et al. (2012). Pure culture of *Metarhizium anisopliae* LHL07 reprograms soybean to higher growth and mitigates salt stress. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 28, 1483–1494. doi: 10.1007/s11274-011-0950-9.

Lacey, L. A., y Neven, L. G. (2006). The potential of the fungus, *Muscodor albus*, as a microbial control agent of potato tuber moth (Lepidoptera: Gelechiidae) in stored potatoes. *J. Invertebr. Pathol.* 91, 195–198. doi: 10.1016/j.jip.2006.01.002.

Leibold, M. A., Chase, J. M., Schurin, J. B. y Downing, A. L. (1997) Species turnover and the regulation of trophic structure. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 28, 467±494.

Lugtenberg BJ, Caradus JR, Johnson LJ. Fungal endophytes for sustainable crop production. *FEMS Microbiol Ecol.* (2016) Dec;92(12):fiw194. doi: 10.1093/femsec/fiw194. Epub 2016 Sep 12. PMID: 27624083.

Macia'-Vicente JG, Jansson HB, Samir K, Abdullah SK, Descals E, Salinas J, Lopez-Llorca LV. (2008). Fungal root endophytes from natural vegetation in Mediterranean environments with special reference to *Fusarium* spp. FEMS Microbiol Ecology 64: 90–105.

Martinuz, A., Schouten, A., y Sikora, R. (2012). Systemically induced resistance and microbial competitive exclusion: implications on biological control. Phytopathology 102, 260–266. doi: 10.1094/PHYTO-04-11-0120.

McGee, P. (2002). Reduced growth and deterrence from feeding of the insect pest *Helicoverpa armigera* associated with fungal endophytes from cotton. Aust. J. Exp. Agric. 42, 995–999. doi: 10.1071/EA01124.

Montañez-De Azcué et al. (2024). Efecto antifúngico in vitro de hongos endófitos. Ecosist. Recur. Agropec. 11(2): e3992. <https://doi.org/10.19136/era.a11n2.3992>

Moy, M., Belanger, F., Duncan, R., Freehoff, A., Leary, C., Meyer, W., et al. (2000). Identification of epiphyllous mycelial nets on leaves of grasses infected by clavicipitaceous endophytes. Symbiosis 28, 291–302.

Quesada-Moraga, E., Munoz-Ledesma, F., y Santiago-Alvarez, C. (2009). Systemic protection of *Papaver somniferum* L. against *Iraella luteipes* (Hymenoptera: Cynipidae) by an endophytic strain of *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales). Environ. Entomol. 38, 723–730. doi: 10.1603/022.038.0324.

Richardson, M. D. (2000). “Alkaloids of endophyte-infected grasses: defence chemicals or biological anomalies,” in Microbial Endophytes, eds C. W. Bacon and J. F. White Jr. (New York, NY: Marcel Dekker), 323–340.

Rodriguez, R., White, J. Jr., Arnold, A., y Redman, R. (2009). Fungal endophytes: diversity and functional roles. New Phytol. 182, 314–330. doi: 10.1111/j.1469-8137.2009.02773.x

Saikkonen, K., Lehtonen, P., Helander, M., Koricheva, J., y Faeth, S. H. (2006). Model systems in ecology: dissecting the endophyte–grass literature. *Trends Plant Sci.* 11, 428–433. doi: 10.1016/j.tplants.2006.07.001.

Saikkonen, K., Wäli, P., Helander, M., y Faeth, S. H. (2004). Evolution of endophyte–plant symbioses. *Trends Plant Sci.* 9, 275–280. doi: 10.1016/j.tplants.2004.04.005

Santamaria Basulto, F. (2015). Comportamiento y potencial del pepino en suelos pedregosos de Yucatán. *Horticultura Mexicana* 8(3)74 .

Schulz, B., y Boyle, C. (2005). The endophytic continuum. *Mycol. Res.* 109, 661–686. doi: 10.1017/S095375620500273X.

Schulz, B., Römmert, A.-K., Dammann, U., Aust, H.-J., y Strack, D. (1999). The endophyte–host interaction: a balanced antagonism? *Mycol. Res.* 103, 1275–1283. doi: 10.1017/S0953756299008540.

Segaran, G. & Sathivelu, M. (2023). Fungicidal and plant growth-promoting traits of *Lasiodiplodia pseudotheobromae*, an endophyte from *Andrographis paniculata*. *Front. Plant Sci.* 14:1125630. doi: 10.3389/fpls.2023.1125630

Selosse MA, Vohník M, Chauvet E. (2008). Out of the rivers: are some aquatic hyphomycetes plant endophytes? *New Phytologist* 178: 3–7.

Shah, S., Shrestha, R., Maharjan, S., Selosse, M.-A., & Pant, B. (2019). Isolation and characterization of plant growth-promoting endophytic fungi from the roots of *Dendrobium moniliforme*. *Plants*, 8(1), 5. <https://doi.org/10.3390/plants8010005>.

Shaikhul Islam, Abdul Mannan Akanda, Farjana Sultana & Md. Motaher Hossain. (2014). Chilli rhizosphere fungus *Aspergillus* spp. PPA1 promotes vegetative growth of cucumber (*Cucumis*

sativus) plants upon root colonisation, Archives Of Phytopathology And Plant Protection, 47:10, 1231-1238, DOI: 10.1080/03235408.2013.837633

SIAP-SAGARPA, Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2020). Pepino en fresco y saludable.

Srivastava, M. P. (2017). Biological control of soil borne pathogens (*Fusarium oxysporum* F.S.P. *cucumerinum*) of cucumber (*Cucumis sativus*) by *Trichoderma* spp. International Journal of Advanced Research (IJAR). Int. J. Adv. Res. 5(1), 1-9. DOI: 10.21474/IJAR01/2713.

Stone JK, Polishook JD, White JRJ. (2004). Endophytic fungi. In: Mueller G, Bills GF, Foster MS, eds. Biodiversity of fungi: inventory and monitoring methods. Burlington, MA, USA: Elsevier, 241–270.

Talavera, J. M. (2005). Guías tecnológicas de frutas y vegetales (Disponible en:<https://gamis.zamorano.edu/gemis/es/Docs/hotalizas/pepino.pdf> 2017)

Turrini, A., Sbrana, C., & Giovannetti, M. (2015). Belowground environmental effects of transgenic crops: A soil microbial perspective. Research in Microbiology, 166(3), 121–131. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2015.02.006>

Vasiliauskas R, Menkis A, Finlay RD, Stenlid J. (2007). Wood-decay fungi in fine living roots of conifer seedlings. New Phytologist 174: 441–446.

Vega, F. E. (2008). Insect pathology and fungal endophytes. J. Invertebr. Pathol. 98, 277–279. doi: 10.1016/j.jip.2008.01.008.

Yang, H., Ye, W., Ma, J., Zeng, D., Rong, Z., Xu, M., Wang, Y., & Zheng, X. (2018). Endophytic fungal communities associated with field-grown soybean roots and seeds in the Huang-Huai region of China. PeerJ, 6, e4713. <https://doi.org/10.7717/peerj.4713>.

Ynfante- Martínez, D., González-Marquetti, I., Gorrita-Ramírez, S., Delgado-Oramas, B. P. & Martínez-Coca, B. (2022). *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt & Nirenberg as a growth stimulant for *Solanum lycopersicum* (L.). Revista de Protección Vegetal, Vol. 37, No. 1, enero-abril 2022, E-ISSN: 2224-4697.

II. CAPITULO 2

CRECIMIENTO, DESARROLLO VEGETAL Y DAÑO POR *Diaphania hyalinata* EN *Cucumis sativus* INOCULADO CON HONGOS ENDÓFITOS NATIVOS

Brandon Aaron Lara Cetina*¹, Alejandra González Moreno**¹

¹Instituto Tecnológico Nacional de México, Campus Conkal. Avenida Tecnológico s/n Conkal, Yucatán. C.P. 97345

Correo electrónico*: MM12800068@conkal.tecnm.mx

Correo electrónico**: alejandra.gm@conkal.tecnm.mx

RESUMEN

El pepino blanco (*Cucumis sativus* L.) es una especie de importancia gastronómica en la península de Yucatán, sin embargo, su cultivo está expuesto a pérdidas de producción por la presencia de plagas y enfermedades. El manejo de estas interacciones parasitarias puede hacerse con la aplicación de hongos endófitos (HE), provenientes de la misma especie, éstos son microorganismos que colonizan y viven dentro de las plantas sin causarles daño a o alterarles su salud. En dicha interacción simbiótica destaca la protección contra insectos fitófagos y fitopatógenos. En esta investigación se estudió el efecto de cuatro especies de hongos endófitos inoculados en dosis de 1×10^8 esporas mL⁻¹: *Aspergillus flavus* (AF-15), *Lasiodiplodia pseudotheobromae* (LP-22), *Trichoderma longibrachiatum* (TL-36), *Trichoderma asperellum* (TA-1317) y un Testigo (sin inocular); en el cultivo del pepino blanco cv. Criollo en la época de lluvias (julio – septiembre) con el objetivo de identificar cambios inducidos por los hongos endófitos en el crecimiento vegetal y el daño por insectos fitófagos. Se evaluaron cambios morfológicos mediante las variables de crecimiento: longitud de guía, No. de guías secundarias, diámetro de tallo, grosor y dureza de hojas. Se obtuvo la biomasa seca (raíz, tallo, hojas), características de frutos (longitud, diámetro, peso), se midieron los cambios fisiológicos con un analizador de gases por infrarrojo (IRGA) y el daño por *Diaphania hyalinata* en cada tratamiento, con la ayuda de una escala de daño. Se encontraron efectos significativos en las variables de crecimiento y en las fisiológicas (fotosíntesis, conductancia estomática, carbono intercelular, transpiración, uso eficiente del agua). Los tratamientos inoculados con HE mostraron mejor crecimiento y rendimiento de frutos. También, mostraron menor porcentaje de daño por *D. hyalinata* en comparación con el tratamiento Testigo (sin inocular). Estos resultados resaltan el potencial del uso de los hongos endófitos

en el cultivo del pepino blanco como herramienta de control biológico y mejoramiento de la expresión de las características vegetales.

Palabras clave: Control biológico, manejo integrado de plagas, microorganismos benéficos.

III. CAPÍTULO 3

RELACIONES TRÓFICAS (PLANTA-FITÓFAGO-ENEMIGO NATURAL) EN PEPINO BLANCO INOCULADO CON HONGOS EDÓFITOS NATIVOS

Brandon Aaron Lara Cetina*¹, Alejandra González Moreno**¹

¹Instituto Tecnológico Nacional de México, Campus Conkal. Avenida Tecnológico s/n Conkal, Yucatán. C.P. 97345

Correo electrónico*: MM12800068@conkal.tecnm.mx

Correo electrónico**: alejandra.gm@conkal.tecnm.mx

RESUMEN

Aunque los beneficios de los hongos endófitos (HE) han sido ampliamente explorados al nivel de la planta (principalmente como antagonistas de hongos fitopatógenos), es poco lo que se sabe con respecto a si estos HE, también influyen sobre las comunidades de insectos, particularmente de los grupos funcionales de importancia económica en los sistemas agrícolas, como son los fitófagos y sus enemigos naturales (depredadores y parasitoides). Por lo que, se estudió el efecto de los HE de las especies nativas *Aspergillus flavus* (AF-15), *Lasiodiplodia pseudotheobromae* (LP-22), *Trichoderma longibrachiatum* (TL-36), *Trichoderma asperellum* (TA-1317) y un Testigo (sin inocular) sobre la riqueza, abundancia y composición de las comunidades de insectos fitófagos, depredadores y parasitoides colectados en un cultivo de pepino blanco cv. Criollo en el estado de Yucatán. Se construyeron curvas de rango-abundancia, encontrándose que los HE no modifican directamente al grupo funcional de los fitófagos pero sí la composición de los depredadores y parasitoides. Además se estimó en el tratamiento Testigo un mayor porcentaje de parasitoidismo (50%) del icneumonídeo *Eiphosoma dentator*, asociado a una mayor abundancia del hospedero *Diaphania hyalinata*. Dado que estos cambios no se correlacionaron con las características vegetales de crecimiento, defensa y rendimiento, se sugiere la existencia de diversos mecanismos guiados por los HE, que actúan en conjunto para dirigir la compleja interacción entre las plantas, los insectos fitófagos y sus enemigos naturales, resaltando la importancia de estos microorganismos benéficos como herramientas complementarias en el manejo integrado y control biológico de plagas en la región.

Palabras clave: Hongo endófito, cucurbitácea, insecto, enemigo natural, relación trófica.