



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

**ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES ANTAGÓNICAS Y  
EFECTO BIOESTIMULANTE VEGETAL DE *Trichoderma  
asperellum* (Ta13-17)**

**TESIS**

Que presenta:

**Sandy Esther Celis Perera**

Como requisito parcial para obtener el grado de:

**Doctora en Ciencias en Agricultura Tropical Sustentable**

Director de tesis:

**Dr. Jairo Cristóbal Alejo**

Conkal, Yucatán, México

Enero, 2023



Conkal, Yucatán, México, a 25 de Enero de 2023

El comité de tesis del candidato a grado: Sandy Esther Celis Perera, constituido por los CC. Dr. Jairo Cristóbal Alejo, Dr. Arturo Reyes Ramírez, Dr. José María Tun Suarez, Dr. Rene Garruña Hernández y Dra. Marcela Gamboa Angulo, habiéndose reunido con el fin de evaluar el contenido teórico-metodológico y de verificar la estructura y formato de la tesis titulada: **ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES ANTAGÓNICAS Y EFECTO BIOESTIMULANTE VEGETAL DE *Trichoderma asperellum* (Ta13-17)**, que presenta como requisito parcial para obtener el grado de Doctora en Ciencias en Agricultura Tropical Sustentable, 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



Dr. Jairo Cristóbal Alejo  
Director de Tesis



Dr. Arturo Reyes Ramírez  
Asesor de Tesis



Dr. José María Tun Suárez  
Asesor de Tesis



Dr. Rene Garruña Hernández  
Asesor de Tesis



Dra. Marcela Gamboa Angulo  
Asesor de Tesis

Conkal, Yucatán, México a 25 de Enero de 2023

## 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.



---

Sandy Esther Celis Perera

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO .....	vi
ÍNDICE DE CUADROS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
Resumen.....	xi
Abstract.....	xiii
I. CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ANTECEDENTES.....	2
1.2.1 Generalidades de <i>Trichoderma</i> .....	2
1.2.2 Mecanismos antagónicos de <i>Trichoderma asperellum</i> .....	2
1.2.2.1 Competencia.....	2
1.2.2.2 Micoparasitismo.....	3
1.2.2.3 Antibiosis.....	3
1.2.2.4 Actividad enzimática.....	4
1.2.2.5 Resistencia Sistémica Inducida.....	5
1.2.3 Capacidad endófitas de <i>Trichoderma spp.</i> .....	6
1.2.4 <i>Trichoderma spp.</i> como agente de control biológico.....	7
1.2.5 <i>Trichoderma spp.</i> y su efecto en la promoción de crecimiento vegetal.....	8
1.2.6 Importancia del cultivo de tomate en Yucatán .....	9
1.3. HIPÓTESIS.....	11
1.4. OBJETIVOS.....	11
1.4.1 General:.....	11
1.4.2 Específicos:.....	11
1.5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	12
1.6. LITERATURA CITADA.....	13
II. CAPÍTULO 2. Antagonismo <i>in vitro</i> de <i>Trichoderma asperellum</i> Samuels, Lieckf. & Nirenberg (Ta13-17) contra hongos patógenos de <i>Solanum lycopersicum</i> L.....	17
2.1 RESUMEN.....	17
2.2 ABSTRACT.....	18
2.3 INTRODUCCIÓN.....	18
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
2.4.1 Competencia por espacio en cultivos duales.....	19
2.4.2 Micoparasitismo.....	20
2.4.3 Antibiosis.....	20
2.4.4 Actividad enzimática.....	21
2.4.5 Análisis de datos.....	22
2.5 RESULTADOS Y DISCUSION.....	23
2.5.1 Competencia y micoparasitismo.....	23
2.5.2 Antibiosis.....	25
2.5.3 Actividad enzimática.....	28
2.6 CONCLUSIONES.....	29
2.7 REFERENCIAS.....	29

III. CAPÍTULO 3. Efecto de <i>Trichoderma asperellum</i> Ta13-17 en la germinación y calidad de plántula de <i>Solanum lycopersicum</i> .....	33
3.1 RESUMEN.....	33
3.2 INTRODUCCIÓN.....	34
3.3 MATERIALES Y METODOS.....	34
3.3.1 Preparación de las soluciones de esporas de <i>T. asperellum</i> Ta13-17.....	35
3.3.2 Prueba de germinación <i>in vitro</i> .....	35
3.3.3 Calidad de plántula.....	36
3.3.4 Análisis de datos.....	36
3.4 RESULTADOS Y DISCUSION.....	37
3.4.1 Germinación <i>in vitro</i> .....	37
3.4.2 Calidad de plántula.....	39
3.5 CONCLUSIONES.....	43
3.6 LITERATURA CITADA.....	43
IV. CAPÍTULO 4. <i>Trichoderma asperellum</i> Ta13-17 in the growth of <i>Solanum lycopersicum</i> and biocontrol of <i>Corynespora cassiicola</i> .....	46
<i>Trichoderma asperellum</i> Ta13-17 en el crecimiento de <i>Solanum lycopersicum</i> y biocontrol de <i>Corynespora cassiicola</i> .....	46
4.1 Resumen.....	46
4.2 Abstract.....	47
4.3 CONCLUSIONES.....	53
4.4 LITERATURA CITADA.....	54
V. CAPÍTULO 5. Efecto de <i>Trichoderma asperellum</i> Ta13-17 en el crecimiento y en el control de <i>Meloidogyne incognita</i> y <i>Fusarium</i> sp. en <i>Solanum lycopersicum</i> .....	61
5.1 RESUMEN.....	61
5.2 INTRODUCCIÓN.....	62
5.3 MATERIALES Y METODOS.....	62
5.3.1 Promoción de crecimiento por <i>T. asperellum</i> Ta13-17.....	63
5.3.2 Biocontrol de <i>M. incognita</i> . y <i>Fusarium</i> sp. por <i>T. asperellum</i> Ta13-17.....	64
5.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	65
5.4.1 Promoción de crecimiento.....	65
5.4.2 Biocontrol.....	72
5.5 CONCLUSIÓN.....	74
5.6 REFERENCIAS.....	75
VI. CONCLUSIONES GENERALES.....	78
VII. ANEXO GENERAL.....	79
7.1 Detección de genes inductores de resistencia en <i>T. asperellum</i> Ta13-17.....	79
7.2 Condición endófito de <i>T. asperellum</i> Ta13-17 en plantas de tomate.....	80

## ÍNDICE DE CUADROS

II CAPÍTULO		Página
<b>Cuadro 1</b>	Antagonismo <i>in vitro</i> de la cepa mexicana Ta13-17 de <i>T. asperellum</i> sobre hongos fitopatógenos aislados de tomate a los 11 d.	26
<b>Cuadro 2</b>	Actividad antifúngica de filtrados de <i>T. asperellum</i> Ta13-17 sobre fitopatógenos aislados de tomate.	26
<b>III CAPÍTULO</b>		
<b>Cuadro 1</b>	Crecimiento y calidad de plántulas de tomate híbrido DRD 8551, inoculadas con la cepa Ta13-17 de <i>Trichoderma asperellum</i> .	42
<b>IV CAPÍTULO</b>		
<b>Cuadro 1</b>	Variables fisiológicas de plantas de jitomate híbrido DRD 8551 inoculadas con la cepa Ta13-17 de <i>T. asperellum</i> .	58
<b>Cuadro 2</b>	Crecimiento en plantas de jitomate híbrido DRD 8551 inoculadas con la cepa Ta13-17 de <i>T. asperellum</i> .	59
<b>Cuadro 3</b>	Parámetros epidemiológicos para estimar el control de <i>C. cassiicola</i> en plantas de jitomate híbrido DRD 8551 inoculadas con <i>T. asperellum</i> Ta13-17.	60
<b>V CAPÍTULO</b>		
<b>Cuadro 1</b>	Tratamientos en plantas de tomate inoculadas con <i>T. asperellum</i> Ta13-17 en campo.	64
<b>Cuadro 2</b>	Efecto de inoculante fúngico en el crecimiento y rendimiento de <i>S. lycopersicum</i> .	66
<b>Cuadro 3</b>	Efecto de fertilización química en el crecimiento y rendimiento de <i>S. lycopersicum</i> .	66
<b>Cuadro 4</b>	Interacción de factores en el crecimiento en plantas de tomate híbrido DRD 8551 inoculadas con la cepa de <i>T. asperellum</i> Ta13-17.	69
<b>Cuadro 5</b>	Efecto de la interacción de factores en el control en campo de <i>M. incognita</i> y <i>Fusarium</i> sp.	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
<b>II CAPÍTULO</b>		
<b>Figura 1</b>	Cinética de crecimiento de <i>T. asperellum</i> Ta13-17 y hongos patógenos de tomate. (Ta: <i>T. asperellum</i> (Ta13-17), Cl: <i>C. lunata</i> (ITC22), Cc: <i>C. cassiicola</i> (ITC23), Al: <i>A. alternata</i> (ITC24), Fe: <i>F. equiseti</i> (ITC32) y Fo: <i>F. oxysporum</i> (ITC33)).	24
<b>Figura 2</b>	Actividad de quitinasas y glucanasas de <i>T. asperellum</i> Ta13-17, UQ: unidades quitinasas, UG: unidades glucanasas.	27
<b>III CAPÍTULO</b>		
<b>Figura 1</b>	Efecto de la inoculación de <i>T. asperellum</i> (Ta13-17) en el porcentaje y la tasa de germinación de semillas de tomate cv. Híbrido DRD 8551.	38
<b>Figura 2</b>	Efecto de la inoculación de <i>T. asperellum</i> Ta13-17 en la germinación acumulada de semillas de tomate cv. DRD 8551.	39
<b>V CAPÍTULO</b>		
<b>Figura 1</b>	Efecto de la interacción entre factores en el rendimiento de tomate cv. Híbrido DRD 8551.	70
<b>VII ANEXO GENERAL</b>		
<b>Figura 1</b>	Detección del gen Epl1. Ta13-17: <i>T. asperellum</i> , Controles +: <i>T. asperellum</i> (19-31) y <i>T. erinaceum</i> (10-15), Control -: agua destilada.	80
<b>Figura 2</b>	Re aislamiento de <i>T. asperellum</i> Ta13-17 en tejidos de plantas de tomate, A: momento de siembra, B: base del tallo y C: raíces	81

## Resumen

El género *Trichoderma* se encuentra ampliamente distribuido, su capacidad de adaptación lo hacen importante en diferentes áreas de la producción agrícola. Son habitantes naturales del suelo y excelentes como controladores biológicos de patógenos fúngicos y nematodos. Posee mecanismos con efecto antagónico, como la competencia por espacio y nutrientes, la producción de metabolitos secundarios y enzimas líticas relacionadas con antibiosis y micoparasitismo. Además, presenta efectos benéficos en la germinación, promueve el desarrollo de tejidos meristemáticos primarios, y el desarrollo de raíces laterales lo que favorece la asimilación de nutrientes, el crecimiento y rendimiento en los cultivos agrícolas. El trabajo estuvo dividido en cuatro etapas experimentales en la primera se enfrentó a *Trichoderma asperellum* Ta13-17 contra cinco hongos fitopatógenos aislados de tomate, en placas Petri con medio Papa Dextrosa Agar en cultivo Dual. Se calcularon los porcentajes de inhibición del crecimiento micelial (ICM), el porcentaje de micoparasitismo y la antibiosis así como la inhibición de esporulación y germinación de conidios. *T. asperellum* Ta13-17 mostró actividad enzimática de quitinasas y glucanasas desde el tercer día posterior a la siembra e inhibió el crecimiento de los hongos fitopatógenos en, al menos, 55 %. Se produjo 100 % de micoparasitismo en *Curvularia lunata* (ITC22) y *Alternaria alternata* (ITC23) al onceavo día; mientras que, en el resto de los fitopatógenos, se tuvo al menos 92,05 %. Las pruebas de antibiosis mostraron 100 % ICM contra *Fusarium equiseti* (ITC32) y 100 % de inhibición de esporulación y germinación de conidios en *Corynespora cassicola* (ITC22), *A. alternata* (ITC23) y *F. equiseti* (ITC32). En la segunda etapa se evaluó la germinación y la calidad de plántula ejercida por la cepa *T. asperellum* Ta13-17 en las concentraciones  $1 \times 10^5$ ,  $1 \times 10^6$ ,  $1 \times 10^7$  y  $1 \times 10^8$  conidios.mL<sup>-1</sup> y el testigo sin inocular. No hubo diferencias estadísticas entre tratamientos en la germinación sin embargo, el tratamiento  $1 \times 10^7$  conidios.mL<sup>-1</sup> obtuvo el mayor promedio con 95%. La tasa de germinación no presentó diferencias estadísticas significativas, el testigo obtuvo el mayor número de semillas germinadas por día, mientras que el tratamiento inoculado con  $1 \times 10^7$  conidios.mL<sup>-1</sup> presentó una germinación más lenta. El tratamiento  $1 \times 10^5$  mostró mayor altura de plantas con 36.5

cm. El mayor peso seco de raíz lo tuvieron los tratamientos  $1 \times 10^7$ ,  $1 \times 10^6$  y  $1 \times 10^8$ . El tratamiento  $1 \times 10^7$  conidios.mL<sup>-1</sup> presentó el mayor índice de calidad de Dickson con 0.030, estadísticamente igual a los tratamientos  $1 \times 10^5$ ,  $1 \times 10^6$  y  $1 \times 10^8$ . Las plantas con un índice de calidad alto presentaron mayor esbeltez y vigor características que sugieren una mayor sobrevivencia en el trasplante y un mejor desarrollo en el campo. En la tercera etapa se evaluó el efecto en las variables fisiológicas y de crecimiento en plantas de *Solanum lycopersicum* inoculadas con las concentraciones de esporas  $1 \times 10^0$ ,  $1 \times 10^5$ ,  $1 \times 10^6$ ,  $1 \times 10^7$  y  $1 \times 10^8$  de *T. asperellum* Ta-13-17 y Fithan® (como testigo comercial) y el biocontrol de *C. cassicola* en condiciones protegidas. Los tratamientos  $1 \times 10^6$ ,  $1 \times 10^8$  y Fithan® obtuvieron las tasas fotosintéticas más altas con 20.7, 20.6 y 19.6  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  respectivamente. El tratamiento  $1 \times 10^8$  conidios mL<sup>-1</sup> obtuvo las medias más altas en las variables de fotosíntesis 20.6  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , rendimiento 1347.02 g por planta y presentaron menor porcentaje de severidad final, menor velocidad en el progreso de la enfermedad y menor acumulación de área bajo la curva del progreso de la enfermedad. Por último en la cuarta etapa se evaluó el efecto de *T. asperellum* Ta13-17 en el crecimiento de plantas de tomate establecidas en campo y el control de *Meloidogyne incognita* y *Fusarium* sp. con niveles de fertilización química. El efecto en las variables evaluadas fue mayor en las plantas con 100 % de fertilización química y  $1 \times 10^8$  conidios.mL<sup>-1</sup> de *T. asperellum* Ta13-17, las plantas presentaron la mayor altura con 152.2 cm, diámetro de tallo con 6.1 mm y peso seco parcial por mencionar algunos. El rendimiento fue mayor en los tratamientos que tuvieron 100 % de fertilización química sin embargo, estadísticamente fueron iguales a la interacción de 50 % de fertilización química y *T. asperellum* Ta13-17 con 4.20 kg por planta. *T. asperellum* Ta13-17 causó menor severidad en la formación de agallas por *M. incognita* y menor severidad por *Fusarium* sp., redujo los síntomas de clorosis y manchas necróticas en las hojas. *T. asperellum* Ta13-17 ejerce un efecto positivo en el crecimiento de plantas de tomate aun cuando se reduce la fertilización química al 50 % sin causar bajo rendimiento en el cultivo.

## Abstract

The genus *Trichoderma* is widely distributed, its adaptability makes it important in different areas of agricultural production. They are natural inhabitants of the soil and excellent as biological controllers of fungal pathogens and nematodes. It has mechanisms with an antagonistic effect, such as competition for space and nutrients, the production of secondary metabolites and lytic enzymes related to antibiosis and mycoparasitism. In addition, it has beneficial effects on germination, promotes the development of primary meristematic tissues, and the development of lateral roots, which favors the assimilation of nutrients, growth, and yield in agricultural crops. The work was divided into four experimental stages. The first one faced *Trichoderma asperellum* Ta13-17 against five phytopathogenic fungi isolated from tomato, in Petri dishes with Potato Dextrose Agar medium in Dual culture. Mycelial growth inhibition percentages (ICM), the percentage of mycoparasitism and antibiosis, as well as the inhibition of sporulation and germination of conidia were calculated. *T. asperellum* Ta13-17 showed chitinases and glucanases enzymatic activity from the third day after sowing and inhibited the growth of phytopathogenic fungi by at least 55 %. 100 % mycoparasitism occurred in *Curvularia lunata* (ITC22) and *Alternaria alternata* (ITC23) on the eleventh day; while, in the rest of the phytopathogens, there was at least 92.05 %. The antibiosis tests showed 100 % ICM against *Fusarium equiseti* (ITC32) and 100 % inhibition of sporulation and germination of conidia in *Corynespora cassiicola* (ITC22), *A. alternata* (ITC23) and *F. equiseti* (ITC32). In the second stage, germination and seedling quality exerted by the strain *T. asperellum* Ta13-17 was evaluated at concentrations  $1 \times 10^5$ ,  $1 \times 10^6$ ,  $1 \times 10^7$  and  $1 \times 10^8$  conidia.mL<sup>-1</sup> and the control without inoculation. There were no statistical differences between treatments in germination, however, the  $1 \times 10^7$  conidia.mL<sup>-1</sup> treatment obtained the highest average with 95%. The germination rate did not present significant statistical differences, the control obtained the highest number of germinated seeds per day, while the treatment inoculated with  $1 \times 10^7$  conidia.mL<sup>-1</sup> presented a slower germination. The  $1 \times 10^5$  treatment showed higher plant height with 36.5 cm. The highest root dry weight was found in the  $1 \times 10^7$ ,  $1 \times 10^6$  and  $1 \times 10^8$  treatments. The  $1 \times 10^7$  conidia.mL<sup>-1</sup> treatment presented the highest Dickson quality index with 0.030, statistically equal to the  $1 \times 10^5$ ,  $1 \times 10^6$  and  $1 \times 10^8$  treatments. The plants with a high quality index presented greater slenderness and characteristic vigor that

suggest a greater survival in the transplant and a better development in the field. In the third stage, the effect on physiological and growth variables was evaluated in *Solanum lycopersicum* plants inoculated with spore concentrations  $1 \times 10^0$ ,  $1 \times 10^5$ ,  $1 \times 10^6$ ,  $1 \times 10^7$  and  $1 \times 10^8$  of *T. asperellum* Ta-13-17 and Fithan® (as control commercial) and biocontrol of *C. cassiicola* under protected conditions. The  $1 \times 10^6$ ,  $1 \times 10^8$  and Fithan® treatments obtained the highest photosynthetic rates with 20.7, 20.6 and 19.6  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  respectively. The treatment  $1 \times 10^8$  conidia  $\text{mL}^{-1}$  obtained the highest means in the variables of photosynthesis 20.6  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , yield 1347.02 g per plant and presented lower percentage of final severity, lower speed in the progress of the disease and less accumulation. of area under the disease progress curve. Finally, in the fourth stage, the effect of *T. asperellum* Ta13-17 on the growth of tomato plants established in the field and the control of *Meloidogyne incognita* and *Fusarium* sp. with levels of chemical fertilization. The effect on the evaluated variables was greater in plants with 100 % chemical fertilization and  $1 \times 10^8$  conidia. $\text{mL}^{-1}$  of *T. asperellum* Ta13-17, the plants presented the highest height with 152.2 cm, stem diameter with 6.1 mm and weight partial dry to name a few. The yield was higher in the treatments that had 100 % chemical fertilization; however, they were statistically equal to the interaction of 50 % chemical fertilization and *T. asperellum* Ta13-17 with 4.20 kg per plant. *T. asperellum* Ta13-17 caused less severity in the formation of galls by *M. incognita* and less severity by *Fusarium* sp., reduced the symptoms of chlorosis and netrotic spots on the leaves. *T. asperellum* Ta13-17 exerts a positive effect on the growth of tomato plants even when chemical fertilization is reduced to 50 % without causing low crop yield.

# I. CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

## 1.1 INTRODUCCIÓN

El uso de pesticidas y fertilizantes sintéticos para reducir las afectaciones por fitopatógenos en los cultivos agrícolas genera un riesgo en la agricultura y la seguridad ambiental (Zin y Badaluddin, 2020). La problemática ambiental debido al uso intensivo de productos químicos ha generado interés por el estudio de alternativas ecológicas para la producción de alimentos (Agamez, 2008).

*Trichoderma* spp. es una de las alternativas para combatir fitopatógenos; su adaptación a diferentes ambientes lo han convertido en un antagonista importante para el control fitosanitario, además de su actividad como promotor de crecimiento vegetal. (Sandoval y Noelting, 2011; Pineda-Insuasti *et al.*, 2017).

Especies de *Trichoderma* con capacidad endófitas, pueden colonizar tejidos de las plantas sin causar daño e inducir la producción de compuestos relacionados con la defensa a factores bióticos y abióticos (Leon *et al.*, 2018).

Se ha estudiado a *Trichoderma* al menos por 70 años como antagonista de hongos fitopatógenos, sin embargo, fue a inicios del siglo XXI que se empezaron a comercializar como agentes de biocontrol. Se ha comprobado la efectividad de especies de *Trichoderma* al inhibir el crecimiento de fitopatógenos como *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolfsii*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Fusarium* spp. y *Pythium* spp., entre otros (Pineda-Insuasti, *et al.*, 2017).

Bajo este contexto, el objetivo de este trabajo fue evaluar las propiedades antagónicas: competencia, micoparasitismo y antibiosis, y el efecto de *Trichoderma asperellum* Ta13-17 en la promoción de crecimiento vegetal y la fitosanidad en plantas de *Solanum lycopersicum*.

## **1.2 ANTECEDENTES**

### **1.2.1 Generalidades de *Trichoderma***

*Trichoderma* (Ascomycota, Hypocreales, Hypocreaceae) es un hongo que se encuentra comúnmente sobre tejidos vegetales en descomposición. Su capacidad para aprovechar con mayor facilidad los nutrientes y el espacio compite con otros microorganismos y facilita su dominio en los suelos (Insuasty *et al.*, 2014).

Son hongos cosmopolitas, comúnmente colonizan material celulósico y la rizosfera (Bissett *et al.*, 2015). Presentan una coloración blanca-verde-amarillosa en el medio de cultivo. Desarrollan micelio con septos simples y tres tipos de estructuras: hifas, clamidosporas y conidios; las clamidosporas son esporas de resistencia y se pueden encontrar de manera terminal o intercalares en las hifas, los conidios son del tipo amerospora y de color verde brillante o hialinos (Martínez-Padrón *et al.*, 2017).

Se reproducen de forma asexual por conidios que se forman en conidióforos hialinos ramificados. Es un hongo aeróbico de rápido desarrollo en medios sintéticos y resistentes a un amplio intervalo de temperaturas, su óptimo desarrollo es en condiciones de pH que van de 5.5 a 6.5 y en humedad de 60% (Martínez *et al.*, 2013).

### **1.2.2 Mecanismos antagónicos de *Trichoderma asperellum***

#### **1.2.2.1 Competencia**

Es el comportamiento desigual de dos o más organismos ante un mismo requerimiento sea espacio o nutrientes, de manera que la utilización de este afecta la cantidad requerida para los demás (Martínez *et al.*, 2013).

La alta velocidad de crecimiento que posee *Trichoderma* y la secreción de metabolitos, favorecen su desarrollo y limitan a los competidores. En condiciones *in vivo*, la competencia de *Trichoderma* está relacionada con la capacidad de colonización de la raíz y el espacio

adyacente. Diversos trabajos sustentan la capacidad competitiva de *Trichoderma* contra diferentes fitopatógenos, Calvo *et al.* (2012) reportaron aislados de *Trichoderma* spp. eficaces contra *Botrytis cinerea* al inhibir su crecimiento micelial en al menos un 80% Carrero-Carrón *et al.* (2016) obtuvieron un alto potencial de control biológico de *T. asperellum* al inhibir el crecimiento de cinco aislados de *Verticillium dahliae* entre un 40 y 74%.

### **1.2.2.2 Micoparasitismo**

El micoparasitismo es uno de los principales mecanismos que utiliza *Trichoderma* para ejercer control, inicia con el reconocimiento quimiotrófico del patógeno, continua con la adhesión y el enrollamiento del antagonista con las hifas del patógeno y concluye con la producción de enzimas extracelulares, principalmente quitinasas, glucanasas y proteasas, que lisan las paredes celulares del patógeno y de esta manera se logra la penetración de las hifas por parte de *Trichoderma*. Sin embargo, el crecimiento de *Trichoderma* sobre el patógeno, no es garantía de micoparasitismo, ya que las hifas de ambos pueden compartir espacios en el sustrato sin llegar a parasitarlo (González *et al.*, 2011).

Estudios realizados por Martínez-Padrón *et al.* (2017) demostraron que *Trichoderma* es un antagonista efectivo con micoparasitismo contra hongos fitopatógenos. Reyes *et al.* (2012) reportan que *Trichoderma harzianum* cepa A34 fue eficaz en el control de *Fusarium oxysporum*, presentó micoparasitismo correspondiente a las clases I y II de la escala de Bell *et al.* (1982).

### **1.2.2.3 Antibiosis**

La antibiosis es la producción de metabolitos por algún microorganismo que pueden resultar tóxicos sobre otro organismo (Mohd *et al.*, 2013). Los metabolitos son moléculas de naturaleza orgánica e inorgánica que se producen en las reacciones bioquímicas del

metabolismo, estos pueden ser volátiles o no, inhiben el desarrollo de microorganismos con los que hacen o no contacto físico (Mukherjee *et al.*, 2013).

Se han identificado compuestos del tipo de las alquilpironas (6- $\alpha$ -pentil-pirona), isonitrilos (isonitrina), poliquétidos (harzianolida), peptaiboles (trichodermina, atroviridina, alameticina, suzucacilina y trichozianina), dicetopiperacinas (gliovirina y gliotoxina), sesquiterpenos (ácido heptelídico) y esteroides (viridina) (Martínez *et al.*, 2013). También, gliotoxinas, viridina, trichodermina, furanona y 6-pentil- $\alpha$ -pirona, metabolitos no volátiles producidos por *T. asperellum* y *T. hamatum* que inhibieron en un 60% el crecimiento micelial de *Phytophthora capsici* (Osorio-Hernández *et al.*, 2011). La producción de antibióticos como el peptaibol y trichozianinas de *Trichoderma* sp. inhibió la germinación de esporas y el crecimiento de hifas de fitopatógenos (Calvo *et al.*, 2012).

El hecho de que una misma cepa de *Trichoderma* pueda secretar varios compuestos antifúngicos simultáneamente, limita el riesgo de aparición de microorganismos resistentes a estos metabolitos (Martínez *et al.*, 2013).

#### **1.2.2.4 Actividad enzimática**

Otro mecanismo de acción que presenta *Trichoderma* spp. cuando detecta la presencia de un hongo en su medio es la producción de enzimas líticas (García-Espejo *et al.* 2016).

Las enzimas tienen un papel importante en los mecanismos de acción antagónica de *Trichoderma*, en el micoparasitismo, la penetración de la hifa del hospedante se realiza por la producción de enzimas de este antagonista. Las enzimas con mayor producción son la  $\beta$ -1,3 glucanasa y las quitinasas que participan en la hidrólisis de la pared celular de fitopatógenos (Martínez *et al.*, 2013).

Las  $\beta$ -glucanasas y quitinasas son reconocidas por su participación en funciones de ataque y nutrición del micoparásito, son una de las enzimas clave, responsables de la lisis y la degradación de la pared celular y la pared del esclerocio de los hongos (González *et al.*, 2011).

### 1.2.2.5 Inducción de Resistencia Sistémica

La inducción de resistencia sistémica es un mecanismo de acción indirecto que ejercen microorganismos en asociación con las plantas donde *Trichoderma* spp. sobresalen como elicitores de este mecanismo (Jaimes *et al.*, 2009).

La inducción de resistencia es mediada por fitohormonas, se conoce la resistencia sistémica adquirida (RSA) mediada por vías de señalización del ácido salicílico (AS) que se desencadena como respuesta del ataque por patógenos biotrofos y la resistencia sistémica inducida (RSI) mediada por el ácido jasmónico y etileno que se activa en respuesta de defensa por el ataque de microorganismos necrótrofos. Aunque son en efecto similares a nivel genético y bioquímico presentan diferencias (Salas-Marina *et al.*, 2015).

La activación de las señales de defensa de la planta se inicia una vez reconocido el microorganismo, posteriormente la planta incrementa la expresión de los genes de defensa que provocan el fortalecimiento físico de las paredes celulares por la producción de ligninas para después aumentar la producción de fitoalexinas y por último se induce la producción de proteínas antimicrobianas como las  $\beta$ -1,3-glucanasas, quitinasas o peroxidases y proteínas relacionadas con la patogénesis (PR) (Samaniego-Gómez *et al.*, 2017).

Se ha reportado a *Trichoderma* spp. con capacidad para desencadenar respuesta de RSI basadas en vías de señalización dependientes de ácido jasmónico y etileno, reportes recientes mencionan también a *Trichoderma* spp. como capaces de activar RSA (Rivera-Méndez *et al.*, 2020).

La resistencia sistémica inducida por *Trichoderma* es una medida prometedora de biocontrol contra enfermedades causadas por hongos fitopatógenos, ya que el objetivo de control no es solo la afectación en las partes de la rizosfera, sino en las partes aéreas siendo efectivo en las diferentes etapas fisiológicas de las plantas (He *et al.*, 2019).

### 1.2.3 Capacidad endófitas de *Trichoderma* spp.

Los hongos endófitos pasan la mayor parte o todo su ciclo de vida en los tejidos de la planta hospedera y forman relaciones simbióticas, son un grupo diverso que habita en diferentes partes de las plantas sin causar daño. Se han encontrado en pastos, musgos y plantas vasculares en todos los ecosistemas de la tierra. (Sánchez-Fernández *et al.*, 2013).

Entre los beneficios de los endófitos se encuentra su capacidad de mitigar el efecto de otros hongos causales de enfermedades, mediante la producción de metabolitos secundarios como los alcaloides. Cuando se genera esta relación entre planta-endófito se activan mecanismos que conducen a una habilidad competitiva por parte de las plantas, ya que se permiten expresar su máximo potencial genético y se traduce en mejores tasas de germinación de semillas y mayor producción de biomasa en tejidos (Abello y Segenet, 2006).

Existe un grupo de hongos endófitos del género *Trichoderma* considerados antagonistas naturales de fitopatógenos y son ampliamente utilizados en la agricultura, poseen un gran potencial de biocontrol a plagas y enfermedades, y contribuyen al mejoramiento de las plantas. Estos antagonistas inducen resistencia sistémica, aumento de crecimiento y absorción de nutrientes de la planta, además de desactivación de enzimas del patógeno (León *et al.*, 2018).

El uso de microorganismos colonizadores de la rizosfera, o con capacidad endófitas representa un método de control biológico prometedor contra hongos fitopatógenos y nematodos con origen en el suelo (Martínez *et al.*, 2013). Así, *Trichoderma* spp. redujo la incidencia y severidad en plantas enfermas por *F. oxysporum*, donde hubo penetración del hongo antagonista en la epidermis y en la corteza externa de las raíces, lo que estimuló el sistema de defensa en las plantas y desencadenó la producción de compuestos bioquímicos y estructurales de defensa (Insuasty *et al.*, 2014).

En otro estudio, se reportó que la mayoría de los hongos aislados e identificados como endófitos de la raíz de tomate pertenecían al Filo: Ascomycota, Orden: Hypocreales, del género *Trichoderma*; capaces de suprimir la penetración de las raíces por nematodos y reducir entre un 35 y 46% la producción de masas de huevos (Bogner *et al.*, 2016).

#### **1.2.4 *Trichoderma* spp. como agente de control biológico**

Existen géneros de hongos con importancia en la agricultura que se caracterizan por ser causantes de enfermedades, por citar algunos: *Alternaria* spp., *Colletotrichum* spp. *Curvularia* spp., *Fusarium* spp. Estos hongos son responsables de los bajos rendimientos productivos y económicos de los cultivos hortícolas, lo que provoca niveles deficientes de calidad en los productos cosechados y causan pérdidas por encima del 50% o incluso la pérdida total del cultivo cuando las condiciones son favorables para el progreso de la enfermedad (García, 1977; Mejía *et al.*, 2016).

En la actualidad, el uso de agentes químicos para el control de las enfermedades causadas por hongos en la agricultura ha generado la aparición de problemas ambientales, de salud y la resistencia genética, de tal manera se ha vuelto una necesidad la implementación de alternativas que contribuyan al control de dichos agentes y que sean sostenibles con el ambiente (Naeini *et al.*, 2010; Gajera *et al.*, 2013).

El control biológico de fitopatógenos se basa en la utilización de microorganismos antagonistas de la microbiota del suelo, capaces de disminuir la actividad del agente fitopatógeno, como parte del manejo integrado de enfermedades de plantas, lo que hace necesario el conocimiento de los microorganismos benéficos y sus mecanismos de acción (Martínez-Padrón *et al.*, 2017).

Para que un microorganismo sea efectivo como agente de control biológico, debe tener más de un mecanismo de acción contra los fitopatógenos (Cruz-Quiroz *et al.*, 2018). Entre los microorganismos con mayor uso en el control biológico de enfermedades destaca *Trichoderma*, que han demostrado un alto potencial de control contra fitopatógenos debido a sus mecanismos de acción, están catalogados entre los agentes de control biológico más eficientes por el amplio espectro antagonista que presentan, dando resultados exitosos en aplicaciones de campo e invernadero (Michel-Aceves *et al.*, 2012; Gajera *et al.*, 2013).

Estudios demuestran la efectividad de *Trichoderma* en el control biológico e. g. aislados de *T. harzianum* mostraron altos grados de parasitismo en *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolfsii* y *Fusarium oxysporum*, los aislados demostraron porcentajes de inhibición del crecimiento radial de los patógenos mayores al 50 % (Guédez *et al.*, 2012). En otro estudio

*Trichoderma* spp. causaron entre 88,75 y 100 % de inmovilidad y muerte de juveniles del segundo estadio de *Meloidogyne incognita* (Candelero *et al.*, 2015).

*Trichoderma* puede aplicarse desde semilla, de esta manera protegen a las plántulas en la fase post-emergente de patógenos fúngicos, así mismo, la aplicación directa al suelo ofrece protección mayor a los cultivos (Stefanova, 2016).

### **1.2.5 *Trichoderma* spp. y su efecto en la promoción de crecimiento vegetal**

*Trichoderma* spp. al colonizar las superficies de las raíces, causa cambios en el metabolismo de las plantas. Algunas cepas aumentan la disponibilidad de nutrientes y promueven el crecimiento (Vinale *et al.*, 2013). Lo que está asociado con la formación de sideróforos quelatantes de hierro y a la presencia de hormonas reguladoras de crecimiento. Las especies de *Trichoderma* establecen largos periodos de colonización en el interior de la epidermis y generan reacciones en las que se involucran la síntesis y acumulación de fitoalexinas, flavonoides y derivados fenólicos (Candelero *et al.*, 2015).

*Trichoderma* tiene la capacidad de estimular el desarrollo de tejidos meristemáticos primarios. Así mismo, movilizan y asimilan los nutrientes del suelo que en su forma original no son accesibles para las plantas como nitrógeno, fósforo, potasio y carbono orgánico, induce el incremento de las raíces y el posterior aumento de la biomasa, así como la tolerancia a diferentes condiciones de estrés (Martínez-Padrón *et al.*, 2017; Martínez *et al.*, 2013).

En un estudio, observaron una estimulación en el crecimiento de plantas de maíz tratadas con *T. virens*, esto se debió a la colonización en la rizosfera, indujo además un aumento en la tasa fotosintética, y en la captación de CO<sub>2</sub> (Vargas *et al.*, 2009). También, se mejoró el crecimiento de plántulas de chile habanero inoculadas con aislados nativos de *Trichoderma*, presentaron aumentos en la altura (55,57%), biomasa aérea (41,17 y 47,05%), volumen radical (84,61%) y ganancia de biomasa seca de raíz (62,50%) con respecto a los testigos (Candelero *et al.*, 2015). Y una importante promoción en el crecimiento de plantas de olivo

con la inoculación de *T. asperellum*, el efecto se atribuyó a la capacidad de colonizar la rizosfera y reducir la presencia de patógenos (Carrero-Carrón *et al.*, 2016).

Por otra parte, se concluyó que *T. harzianum* tienen afinidad por los exudados de semillas y raíces de *Phaseolus vulgaris* para transformarlos en sustancias promotoras del crecimiento, lo que causa un efecto positivo en la germinación, fenología y biomasa de esta leguminosa (Romero-García *et al.*, 2016).

La aplicación de *Trichoderma* directo a las semillas también tiene efectos benéficos, en semillas de tomate *T. harzianum* aceleró la germinación, aumentó el vigor de las plántulas y resistieron al estrés por sequía, salinidad, frío y calor, e indujo la protección contra el daño oxidativo (Mastouri *et al.*, 2010).

### **1.2.6 Importancia del cultivo de tomate en Yucatán**

El tomate (*Solanum lycopersicum*) es una especie originaria de Sudamérica, sin embargo, su domesticación se dio en México (Vergani, 2002). Es una de las hortalizas más consumidas en el mundo y su producción se ha incrementado cerca de 300 % en las últimas cuatro décadas (Santana *et al.*, 2016).

En Yucatán, el tomate es una hortaliza con gran interés en la agricultura, debido a su importancia en la gastronomía local, lo que ha llevado al incremento de la superficie cultivada en el estado. El SIAP reportó para 2019 una superficie sembrada de 103.81 ha, sumando las cuatro principales regiones productoras, de las cuales se obtuvo una producción de 1,700.53 ton. Aunque la producción de este cultivo ha mejorado, el estado aún se encuentra por debajo de los principales estados productores de tomate en el país como son Sinaloa y Sonora.

El cultivo de tomate no está exento de ser atacado por plagas y enfermedades en sus diferentes etapas fisiológicas, donde se puede detectar síntomas por patógenos como *Pythium* sp., *Rhizoctonia* sp. y *Fusarium* sp., que causan enfermedades en la raíz y tallo, o algunos hongos foliares como *Alternaria* sp., *Corynespora* sp., *Colletotrichum* sp. entre otros, que ocasionan importantes pérdidas de producción (Guédez *et al.*, 2012).

Los principales métodos que se realizan para el control de las enfermedades fúngicas son a base de productos químicos; su uso ha traído como consecuencia la resistencia a los fungicidas, contaminación de los suelos, agua y alimentos, así como perjuicios a productores y consumidores (Albert, 2004).

En la actualidad, la importancia que genera el tema sobre protección al ambiente y sustentabilidad van de la mano, por lo que se necesita ampliar la investigación sobre la creación y uso de métodos biológicos para la protección de cultivos agrícolas (Guédez *et al.*, 2012).

### 1.3. HIPÓTESIS

*T. asperellum* Ta13-17 *in vitro* presenta competencia por espacio, micoparasitismo, actividad enzimática y produce metabolitos secundarios que afectan el crecimiento de hongos fitopatógenos aislados de tomate. También promueve el crecimiento y mejora la condición fitosanitaria en plantas de tomate cuando es inoculado en concentraciones mayores a  $1 \times 10^6$  conidios.mL<sup>-1</sup>.

### 1.4. OBJETIVOS

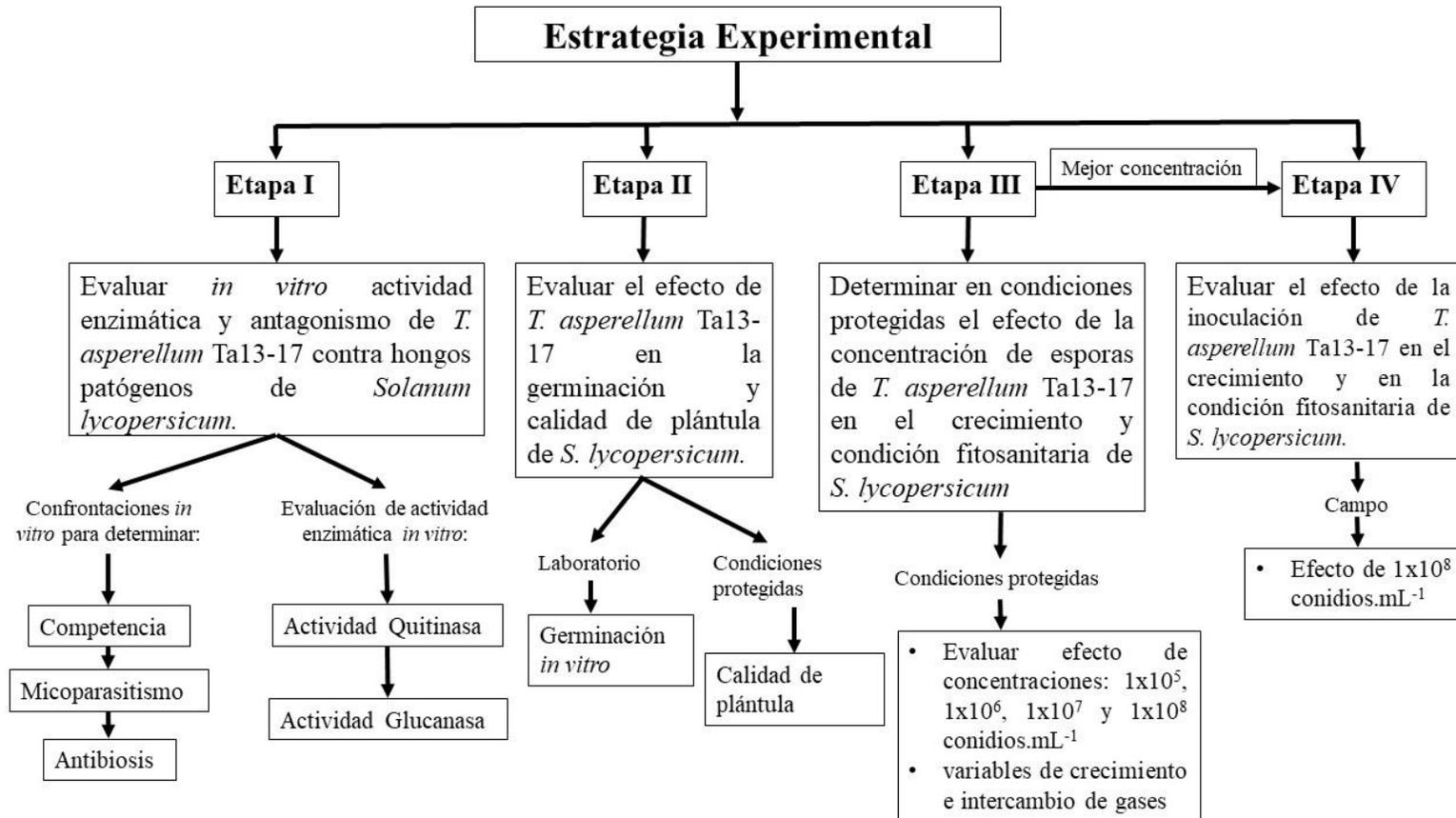
#### 1.4.1 General:

Evaluar las propiedades antagónicas: competencia, micoparasitismo y antibiosis, y el efecto de *Trichoderma asperellum* Ta13-17 en la promoción de crecimiento vegetal y la fitosanidad en plantas de *Solanum lycopersicum*.

#### 1.4.2 Específicos:

1. Evaluar *in vitro* el antagonismo y la actividad enzimática de *T. asperellum* Ta13-17 contra hongos patógenos de *Solanum lycopersicum*.
2. Evaluar el efecto de la concentración de esporas de *T. asperellum* Ta13-17 en la germinación y calidad de plántula de *S. lycopersicum*.
3. Determinar en condiciones protegidas la influencia de la concentración de esporas de *T. asperellum* Ta13-17 en el crecimiento y en el control de la mancha foliar (*Corynespora cassiicola*) en *S. lycopersicum*.
4. Evaluar en campo el efecto de la inoculación de *T. asperellum* Ta13-17 en el crecimiento y en el control de *Meloidogyne incognita*. y *Fusarium* sp. en *S. lycopersicum*.

## 1.5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL



## 1.6. LITERATURA CITADA

- Abello J., K. Segenet. 2006. Hongos endófitos: ventajas adaptativas que habitan en el interior de las plantas. *Corpoica Cienc. y Tecnol. Agropecu.* 7(2): 55 -57.
- Agamez R. E. Y., R. I. Zapata N., L. E. Oviedo Z., G. N. Barrera A. 2008. Fitopatología. Segunda edición. Limusa. Grupo Noriega Editores. México. 425-431.
- Albert L. A. 2004. Panorama de los plaguicidas en México. *Rev. Tox.* 2: 1-17.
- Bell, D., H. Well, C. Markham. 1982. "In vitro" antagonism of *Trichoderma* species against six fungal plant pathogens. *Phytopathology* 72: 379-382.
- Bissett, J., W. Gams, W. M. Jaklits, G. J. Samuels. 2015. Accepted *Trichoderma* names in the year 2015. IMA Fungus.
- Bogner, C. W., G. M. Kariuki, A. Elashry, G. Sichtermann, A. K. Buch, B. Mishra, M. Thines, F. M. W. Grundler and A. Schouten. 2016. Fungal root endophytes of tomato from Kenya and their nematode biocontrol potential. *Mycol Progress* 15(30): 2-17.
- Calvo-Araya J. A., G. Rivera-Coto, S. Orozco-Cayasso, R. Orozco-Rodríguez. 2012. aislamiento y evaluación *in vitro* de antagonistas de *Botrytis cinerea* en mora. *Agronomía mesoamericana* 23(2): 225-231.
- Candelero D. J., A. J. Cristóbal, R. A. Reyes, J. M. Tun S., M. Gamboa A., E. Ruiz S. 2015. *Trichoderma* spp. promotoras del crecimiento en plántulas de *Capsicum chinense* Jacq. y antagónicas contra *Meloidogyne incognita*. *FYTON* ISSN 84: 113-119.
- Cruz-Quiroz R., B. Sevastianos R., R. Rodríguez-Herrera, D. Hernández-Castillo, C. Aguilar. 2018. Growth inhibition of *Colletotrichum gloeosporioides* and *Phytophthora capsici* by native Mexican *Trichoderma* strains. *Karbala International Journal of Modern Science* 1-7 <https://doi.org/10.1016/j.kijoms.2018.03.002>.
- Carrero-Carrón I., J. L. Trapero-Casas, C. Olivares-García, E. Monte, R. Hermosa, R. M. Jiménez-Díaz. 2016. *Trichoderma asperellum* is effective for biocontrol of *Verticillium* wilt. in olive caused by the defoliating pathotype of *Verticillium dahliae*. *Crop Protection* 88: 45-52.
- Gajera, H., D. Rinkal, S. Patel, M. Kapopara, B. Golakiya. 2013. Molecular mechanism of *Trichoderma* as biocontrol agents against phytopathogen systema review. *J. Microbiol. Biotechnol.* 1: 133-142.
- García A. M. 1977. Patología vegetal. Ed. Limusa. México, D.F. pp.15-129.

- García-Espejo C. N., M. Mamani-Mamani, G. Chávez-Lizárraga, T. Álvarez-Aliaga. 2016. Evaluación de la actividad enzimática del *Trichoderma inhamatum* (BOL-12 QD) como posible biocontrolador. J. Selva Andina Res. Soc. 7(1): 20-32.
- González I., D. Infante, B. Peteira, B. Martínez, Y. Arias, N. González, I. Miranda. 2011. Caracterización bioquímica de aislamientos de *Trichoderma* spp. promisorios como agentes de control biológico. ii. expresión de actividad glucanasa. Rev. Prot. Veg. 26(1): 23-29.
- Guédez C., L. Cañizalez, C. Castillo, R. Olivar. 2012. Evaluación *in vitro* de aislamientos de *Trichoderma harzianum* para el control de *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolfsii* y *Fusarium oxysporum* en plantas de tomate. RSVM 32(1): 44-49
- He, A., J. Sun, X. Wang, L. Zou, B. Fu, J. Chen. 2019. Reprogrammed endophytic microbial community in maize stalk induced by *Trichoderma asperellum* biocontrol agent against *Fusarium* diseases and mycotoxin accumulation. Fungal Biology 123: 448-455. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2019.03.003>.
- Insuasty E., R. Acosta, G. Salazar, G. Betancourth. 2014. Evaluación de cepas de *Trichoderma* spp. para el manejo del amarillamiento de arveja causado por *Fusarium oxysporum*. Ciencia y Tecnología Agropecuaria. 15: 237-249.
- Jaimes S. Y., C. Moreno V., A. M. Cotes P. 2009. Inducción de resistencia sistémica contra *Fusarium oxysporum* en tomate por *Trichoderma koningiopsis* Th003. Acta biol. Colomb., (14)3: 111-120.
- Leon T. B., N. Ortiz C., N. Condori T., E. Chura Y. 2018. Cepas de *Trichoderma* con capacidad endofítica sobre el control del mildiu (*Peronospora variabilis* Gäum.) y mejora del rendimiento de quinua. Journal of High Andean Research 20(1): 19–30.
- Mastouri, F., T. Bjorkman and G. E. Harman. 2010. Seed treatment with *Trichoderma harzianum* alleviates biotic, abiotic and physiological stresses in germinating seeds and seedlings. Phytopathology 100: 1213–1221.
- Martínez B., D. Infante, Y. Reyes. 2013. *Trichoderma* spp. y su función en el control de plagas en los cultivos. Rev. Prot. Veg. 28: 1-11.
- Martínez-Padrón H. Y., E. O. Osorio-Hernández, B. Estrada-Drouaillet, J. A. López-Santillán, S.E. Varela-Fuentes, J.A. Torres-Castillo. 2017. control biológico de fitopatógenos mediante aislados de *Trichoderma* spp. Agroproductividad 10(3): 9-14.
- Mejía-Bautista M. Á., A. Reyes-Ramírez, J. Cristóbal-Alejo, J. M. Tun-Suárez, L. Borges-Gómez, J. R. Pacheco-Aguilar. 2016. *Bacillus* spp. en el Control de la Marchitez Causada por *Fusarium* spp. en *Capsicum chinense*. Rev. Mex. de Fitopatol. (34): 208-222.

- Michel-Aceves A. C., M. A. Otero-Sánchez, R. D. Martínez-Rojero, R. Ariza-Flores, A. Barrios-Ayala, y A. Rebolledo-Martínez. 2012. Control biológico *in vitro* de enfermedades fúngicas en tomate *Lycopersicon esculentum* Mill. AIA. 12: 43-54.
- Mohd, J. J., N. D. Ahmad, T. B. Ahmad, A. Hussain, M. Ahmad. 2013. Commercial biocontrol agents and their mechanism of action in the management of plant pathogens. Bot. Gaz. Int. J. Plant Sci 1: 39-57.
- Mukherjee, P. K., B. A. Horwitz, A. Herrera-Estrella, M. Schmoll, C. M. Kenerley. 2013. *Trichoderma* Research in the Genome Era. Annu. Rev. Phytopathol. 51: 105–29.
- Naeini, A., T. Ziglari, H. Shokri, A. R. Khosravi. 2010. Assessment of growth-inhibiting effect of some plant essential oils on different *Fusarium* isolates. Journal of Med. Mycol. 20: 174–178.
- Osorio-Hernández E., J. Hernández-Morales, V. Conde-Martínez, A. C. Michel-Aceves, J. Cibrián-Tovar, H. Vaquera-Huerta. 2011. Biocontrol of *Phytophthora parasitica* and *Fusarium* spp. by *Trichoderma* spp. in *Hibiscus sabdariffa* plants under field and greenhouse conditions. African Journal of Agricultural Research 9: 1398-1345.
- Pineda-Insuasti, J. A., E. N. Benavides-Sotelo, A. S. Duarte-Trujillo, A. A. Burgos-Rada, C. P. Soto-Arroyave, C. A. Pineda-Soto, F. J. Fierro-Ramos, E. S. Mora-Muñoz, S. E. Álvarez-Ramos. 2017. Producción de biopreparados de *Trichoderma* spp: una revisión. ICIDCA Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 51(1): 47-52.
- Reyes A., J. Alejo C., E. Ruiz S., J. Suárez. 2012. Inhibición del crecimiento *in vitro* de *Fusarium* sp. aislado de chile habanero (*Capsicum chinensis*) con hongos antagonistas. Fitosanidad. (16)3: 161-165.
- Rivera-Méndez, W., M. Obregón, M. E. Morán D., R. Hermosa, E. Monte. 2020. *Trichoderma asperellum* biocontrol activity and induction of systemic defenses against *Sclerotium cepivorum* in onion plants under tropical climate conditions. Biological Control 141: 104-145. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104145>.
- Romero-García V. E., V. R. García-Ortiz, J. J. Hernández-Escareño, J. M. Sánchez-Yáñez. 2016. Respuesta de *Phaseolus vulgaris* a microorganismos promotores de crecimiento vegetal. Scientia Agropecuaria, 7(3): 313-319.
- Salas-Marina, M. A., M. Isordia-Jasso, M. A. Islas-Osuna, P. Delgado-Sánchez<sup>†</sup>, J. F. Jiménez-Bremont, M. Rodríguez-Kessler<sup>†</sup>, M. T. Rosales-Saavedra, A. Herrera-Estrella and S. Casas-Flores. 2015. The Epl1 and Sm1 proteins from *Trichoderma atroviride* and *Trichoderma virens* differentially modulate systemic disease resistance against different life style pathogens in *Solanum lycopersicum*. Frontiers in Plant Science, 6(77): 1-14. doi: 10.3389/fpls.2015.00077.

- Samaniego-Gómez B. Y., A. Reyes-Ramírez, O. Moreno-Valenzuela, J. M. Tun-Suárez. 2017. Resistencia sistémica inducida contra virus fitopatógenos mediada por la inoculación con la rizobacteria *Bacillus* spp. *Rev. Prot. Veg.* 32(1): 10-22.
- Sánchez-Fernández R. E., B. L. Sánchez-Ortiz, M. Y. Sandoval-Espinosa, Á. Ulloa-Benítez, B. Armendáriz-Guillén, M. C. García-Méndez y M. L. Macías-Rubalcava. 2013. Hongos endófitos: fuente potencial de metabolitos secundarios bioactivos con utilidad en agricultura y medicina. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* 16(2): 132-146.
- Santana B. Y., A. Del Busto, F. Y. González, G. I. Aguiar, D. S. Carrodegua, F. P. Páez, L. Díaz. 2016. Efecto de *Trichoderma harzianum* Rifai y FitoMas-E® como bioestimulantes de la germinación y crecimiento de plántulas de tomate. *Centro Agrícola*, 43 (3): 5-12
- Stefanova M., I. Sandoval, M. L. Martínez, I. Heredia, D. Ariosa M., R. Arévalo. 2016. Control de hongos fitopatógenos del suelo en semilleros de tabaco con *Trichoderma harzianum*. *Fitosanidad*, 8(2): 35-38.
- Sandoval M. C. y I. Noelting Z. 2011. Producción de conidios de *Trichoderma harzianum* rifai en dos medios de multiplicación. *Fitosanidad* 15(4): 215-221.
- Vargas, W. A., J. C. Mandawe, C. M Kenerley. 2009. Plant-derived sucrose is a key element in the symbiotic association between *Trichoderma virens* and maize plants. *Plant Physiology* 151: 792–808.
- Vergani R. J. 2002. *Lycopersicon esculentum*: Una breve historia del tomate. Copyright Ediciones de Horticultura. 158: 1-9.
- Vinale, F., M. Nigro, K. Sivasithamparam, G. Flematti, E. L. Ghisalberti, M. Ruocco, M. Lorito. 2013. Harzianic acid: a novel siderophore from *Trichoderma harzianum*. *FEMS Microbiol Lett*, 347(2): 123-129. doi:10.1111/1574-6968.12231.
- Zin N. A., Badaluddin N. A. 2020. Biological functions of *Trichoderma* spp. for agriculture applications. *Annals of Agricultural Sciences* 65: 168–17 <https://doi.org/10.1016/j.aos.2020.09.003>.

## II. CAPÍTULO 2. Antagonismo *in vitro* de *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckf. & Nirenberg (Ta13-17) contra hongos patógenos de *Solanum lycopersicum* L.

Artículo publicado en: Revista de Protección Vegetal

Disponible en: <http://revistas.censa.edu.cu/index.php/RPV/article/view/1154>

Sandy Esther Celis-Perera, Felicia Amalia Moo-Koh, Arturo Reyes-Ramírez,  
José María Tun Suárez, Jairo Cristóbal-Alejo

Tecnológico Nacional de México/ I.T. Conkal, Av. Tecnológico s/n 97345, Conkal, Yucatán,  
México.

Autor: [scelis1190@gmail.com](mailto:scelis1190@gmail.com)

Autor por correspondencia: [jairoca54@hotmail.com](mailto:jairoca54@hotmail.com)

**2.1 RESUMEN:** *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckf. & Nirenberg (Ta13-17) es un habitante natural del suelo que presenta cualidades como controlador biológico de patógenos fúngicos. Posee mecanismos con efecto antagónico, como son la competencia por espacio y nutrientes, la producción de metabolitos secundarios y enzimas líticas relacionadas con antibiosis y micoparasitismo, respectivamente. El objetivo del estudio fue determinar, *in vitro*, la capacidad de biocontrol de la cepa nativa *T. asperellum* Samuels, Lieckf. & Nirenberg (Ta13-17) contra hongos patógenos aislados de *Solanum lycopersicum* L. Se enfrentó a *T. asperellum* contra cinco hongos fitopatógenos aislados de tomate, en placas Petri con medio PDA en cultivo Dual. Se calcularon el porcentaje de inhibición del crecimiento micelial (ICM) y el grado de micoparasitismo. Para calcular la antibiosis, se preparó cultivo PDA en combinación con filtrado líquido de *T. asperellum*. Se sembró un disco de micelio de cada fitopatógeno y se determinaron ICM, inhibición de esporulación y germinación de conidios. Adicionalmente, se evaluó la producción de quitinasas y glucanasas de *T. asperellum* en medio mínimo. El diseño experimental fue completamente al azar. Los tratamientos en cada experimento se compararon mediante análisis de varianza seguido de la prueba de Tukey para  $p < 0,05$ . Los datos se procesaron en el paquete estadístico InfoStat. La cepa exhibió actividad enzimática de quitinasas y glucanasas desde el tercer día posterior a la siembra e inhibió el crecimiento de los hongos fitopatógenos en, al menos, 55 %. Se produjo 100 % de micoparasitismo en *C. lunata* (ITC22) y *A. alternata* (ITC23) al onceavo día; mientras que, en el resto de los fitopatógenos, se tuvo al menos 92,05 %. Las pruebas de antibiosis mostraron 100 % ICM para *F. equiseti* (ITC32) y 100 % de inhibición de

esporulación y germinación de conidios en *C. cassicola* (ITC22), *A. alternata* (ITC23) y *F. equiseti* (ITC32).

**Palabras clave:** actividad enzimática, antibiosis, competencia, control biológico, fitopatógenos, micoparasitismo.



**IV. CAPÍTULO 4. *Trichoderma asperellum* Ta13-17 in the growth of *Solanum lycopersicum* and biocontrol of *Corynespora cassiicola***

***Trichoderma asperellum* Ta13-17 en el crecimiento de *Solanum lycopersicum* y biocontrol de *Corynespora cassiicola***

**Artículo publicado:** Revista Mexicana de Fitopatología

**DOI:** <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2207-1>

Autor: [scelis1190@gmail.com](mailto:scelis1190@gmail.com)

Autor por correspondencia: [jairoca54@hotmail.com](mailto:jairoca54@hotmail.com)

**Sandy Esther Celis Perera**, <sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México/ I. T. Conkal. Av. Tecnológico s/n C.P. 97345, Conkal, Yucatán México; **Jairo Cristóbal Alejo**\*, Tecnológico Nacional de México/ I. T. Conkal. Av. Tecnológico s/n C.P. 97345, Conkal Yucatán, México; **Arturo Reyes Ramírez**, Tecnológico Nacional de México/ I. T. Conkal. Av. Tecnológico s/n C.P. 97345, Conkal Yucatán, México; **Rene Garruña Hernández**, Tecnológico Nacional de México/ I. T. Conkal. Av. Tecnológico s/n C.P. 97345, Conkal Yucatán, México; **José María Tun Suarez**, Tecnológico Nacional de México/ I. T. Conkal. Av. Tecnológico s/n C.P. 97345, Conkal Yucatán, México; **Marcela Gamboa Angulo**, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Calle 43 x 32 y 34, Chuburná de Hidalgo; C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. \*Autor de correspondencia Email: [jairoca54@hotmail.com](mailto:jairoca54@hotmail.com).

**4.1 Resumen.** *Corynespora cassiicola* es un patógeno que causa lesiones en diferentes órganos en el cultivo de jitomate. Para su control se utiliza fungicidas sintéticos que requieren más de una aplicación. *Trichoderma* spp. es un hongo saprófito, altamente interactivo en la rizosfera conocido por sus modos de acción como agente de control biológico contra enfermedades en plantas y promotor del crecimiento vegetal. Se evaluó el efecto en las variables fisiológicas y de crecimiento en plantas de *Solanum lycopersicum* inoculadas con las concentraciones de esporas  $1 \times 10^0$ ,  $1 \times 10^5$ ,  $1 \times 10^6$ ,  $1 \times 10^7$  y  $1 \times 10^8$  de *Trichoderma asperellum* Ta-13-17 y Fithan® (como testigo comercial) como agente de biocontrol de *C.*

*cassicola* en condiciones protegidas. Los tratamientos  $1 \times 10^6$ ,  $1 \times 10^8$  y Fithan® obtuvieron las tasas fotosintéticas más altas con 20.7, 20.6 y 19.6  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  respectivamente. El tratamiento  $1 \times 10^8$  conidios  $\text{mL}^{-1}$  obtuvo las medias más altas en las variables de fotosíntesis 20.6  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , rendimiento 1347.02 g por planta y presentaron menor porcentaje de severidad final, menor velocidad en la distribución de la enfermedad y menor acumulación de área bajo la curva del progreso de la enfermedad.

**Palabras clave:** Antagonista, control biológico, fotosíntesis, severidad.

1 **V. CAPÍTULO 5. Efecto de *Trichoderma asperellum* Ta13-17 en el crecimiento y en el**  
2 **control de *Meloidogyne incognita* y *Fusarium* sp. en *Solanum lycopersicum*.**

3  
4 **Artículo en borrador:**

5 Autor: [scelis1190@gmail.com](mailto:scelis1190@gmail.com)

6 Autor por correspondencia: [jairoca54@hotmail.com](mailto:jairoca54@hotmail.com)  
7

8 **5.1 RESUMEN**

9 El cultivo de tomate es el segundo con mayor importancia económica en Yucatán. Es  
10 afectado por nematodos del género *Meloidogyne* y su presencia facilita la infección de otros  
11 fitopatógenos, como *Fusarium* spp. para su control se utilizan compuestos de síntesis química  
12 que ocasiona daños al ambiente. Actualmente se emplean estrategias con enfoque ecológico  
13 como el uso de microorganismos como *Trichoderma* spp. Se evaluó el efecto de *Trichoderma*  
14 *asperellum* Ta13-17 en el crecimiento de plantas de tomate establecidas en campo y el control  
15 de *Meloidogyne incognita*. y *Fusarium* sp. bajo un diseño de bloques completos al azar con  
16 arreglo factorial de 3x3. El efecto combinado fue mayor en las plantas con 100 % de  
17 fertilización química y  $1 \times 10^8$  conidios.mL<sup>-1</sup> de *T. asperellum* Ta13-17, las plantas  
18 presentaron la mayor altura con 152.2 cm, diámetro de tallo con 6.1 mm y peso seco parcial  
19 con 249.1 g. El rendimiento fue mayor en los tratamientos que tuvieron 100 % de fertilización  
20 química sin embargo, estadísticamente fueron iguales a la interacción de 50 % de fertilización  
21 química y *T. asperellum* Ta13-17 con 4.20 kg por planta. *T. asperellum* Ta13-17 redujo los  
22 síntomas de clorosis y manchas necróticas en las hojas por que causo menor formación de  
23 agallas por causa de *M. incognita* y menor severidad de marchitez por *Fusarium* sp. *T.*  
24 *asperellum* Ta13-17 ejerció un efecto positivo en el crecimiento de plantas de tomate aun  
25 cuando se redujo la fertilización química al 50 % sin afectar el rendimiento en el cultivo  
26

27 **Palabras clave:** biocontrol, fertilización química, promoción de crecimiento, severidad,  
28 tomate.  
29