

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Trichoderma (Hypocreaceae: Hypocreales) Aislado de Zonas Semiáridas para el Biocontrol *in vitro* de *Colletotrichum acutatum* (Glomerellales: Glomerellaceae) SGO Asociado a Antracnosis en el Cultivo de Limón Persa (*Citrus x latifolia*) en Veracruz, México

Por:

TANIA GUERRA MANZANO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Febrero de 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Trichoderma (Hypocreaceae, Hypocreales) Aislado de Zonas Semiáridas para el
Biocontrol *in vitro* de *Colletotrichum acutatum* (Glomerellales, Glomerellaceae)
SGO Asociado a Antracnosis en el Cultivo de Limón Persa (*Citrus x latifolia*), en
Veracruz, México

Por:

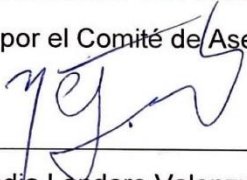
TANIA GUERRA MANZANO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dra. Nadia Landero Valenzuela

Asesor Principal



Dr. Luis Alfonso Aguilar Pérez

Coasesor



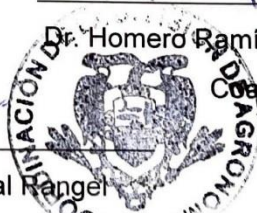
Dr. Homero Ramírez Rodríguez

Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel

Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Febrero de 2025

DERECHO DE AUTOR Y DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

Todo material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor de los Estados Unidos Mexicanos, y pertenece al autor principal quien es el responsable directo y jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente. Así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaramos que este trabajo no ha sido previamente presentado en ninguna otra institución educativa, organización, medio público o privado.

A t e n t a m e n t e.

Alma Terra Mater



Tania Guerra Manzano

Autor Principal



Dra. Nadia Landero Valenzuela

Asesor Principal

AGRADECIMIENTOS

Principalmente le agradezco a **Dios**, por darme fuerza, voluntad, paciencia y muchas virtudes más, por las cuales hoy he logrado llegar hasta donde estoy, y conseguir este título que sin él, no hubiera sido posible, además de todas las personas que me puso en el camino que me han ayudado de una forma inigualable en muchos sentidos.

Gracias a mi **Madre, Verónica**, la persona que me dio la vida y que cada día me ha alentado a seguir y conseguir mis sueños, me ha enseñado a nunca rendirme y siempre ir perseguir mis sueños y trabajar duro hasta conseguirlo.

Gracias a mi **Padre, Jerónimo** que, con sus palabras de aliento, sus increíbles consejos y sus cálidos abrazos, que me ha enseñado a siempre luchar por lo que se quiere, y sin su ayuda jamás hubiera llegado hasta donde estoy ahora.

Gracias a mi **hermana, Brianda**, ella que ha sido mi ejemplo a seguir, que a pesar de la distancia siempre estuvo conmigo y cuidó de mí como cuando éramos unas niñas y siempre estuvo pendiente de saber cómo me iba estando lejos de casa.

Gracias a mi **asesora Nadia Landero**, que ha sido clave importante de mi desarrollo profesional y sobre todo de este proyecto, que me impulsa a no rendirme por muy difícil que se tornara mi preparación, siempre dándome buenos consejos y ayudándome, que además de ser un increíble profesora e investigadora, es una excelente amiga y consejera.

Gracias a mis **amigos**, que se convirtieron en una segunda familia al llegar a esta universidad, que sin duda, de no haber sido por ellos y todos esos momentos de risas y felicidad, esta etapa hubiera sido muy diferente.

Diana: gracias por tu compañía, hermandad, cariño, lealtad, sinceridad, por tus ricas comidas, por nunca dejarme sola y a pesar de los malos ratos que hubo, nuestra amistad sigue firme.

Emilio: gracias por tu amistad tan bonita y real, por nunca dejarme sola y siempre preocuparte por mí, por siempre buscar la manera de hacerme sentir mejor, gracias por ser ese amigo incondicional y por demostrarme un amor y cariño tan sincero.

Alan: gracias por siempre saber hacerme reír, por ser mi pareja de baile siempre y pasarla muy bien a cualquier lado que fuéramos, por tus consejos y horas de pláticas de reflexión, por enseñarme a ser más aventurera.

Jafet: gracias por ver por mí y cuidarme como si fuese una hermana menor para ti, por siempre sin importar qué y/o quién, cuidarme y defenderme, por siempre tener con quien platicar y nunca sentirme sola.

Ricardo: gracias por ser un buen amigo, que siempre que necesité de alguien, ahí estuvieras, cuidarme cuando se necesitaba, por nunca dejarme en situaciones vulnerables, gracias por ver por mí como si fuera una hermana para ti.

Daniel: fuiste y eres un gran amigo que sin dudar me brindaste tu ayuda para lo que necesitara, gracias por ser un excelente amigo y compañero de carrera.

Christian: que a pesar de haber tenido nuestras diferencias, siempre supe que podía contar contigo si necesitaba un abrazo o unas palabras, te agradezco tu paciencia y ver siempre lo bueno para mí, gracias por ser un buen amigo aun cuando no nos conocíamos en persona.

Gracias a mi **Alma Terra Mater**, que me abrió sus puertas, me brindó siempre todo su apoyo y disposición para poder alcanzar mis metas, por su excelente nivel académico y preparación en cada uno de los profesores que nos brindaron clases y nos compartieron sus conocimientos, por alimentarme y darme la facilidad de transportarme a lugares que yo necesitara, sin duda la Narro me ha dejado los mejores recuerdos y experiencias, me ha preparado para salir al mundo laboral y saber la importancia del campo, por esto y muchas razones más, gracias.

DEDICATORIAS

Todo lo que he logrado, todo lo que he conseguido, por quien ahora soy una mujer profesionalista, egresada de una de las mejores universidades de agronomía a nivel nacional, es gracias a Dios y, a mis padres, que sin ellos no estaría siendo posible todo esto, es por eso y muchas razones más que siempre todo lo que consiga, va dedicado a ellos.

Esta es la mejor herencia que mis padres me pudieron dejar, el privilegio de estudiar la carrera que yo deseaba, en la universidad que quería, y que a pesar de estar muy lejos de casa, ellos no dudaron en apoyarme y darme la oportunidad de salir de casa a cumplir mis sueños y metas, fueron ellos quienes siempre me alentaron y jamás permitieron rendirme.

Los años que estuve fuera de casa, fueron años de esfuerzos y noches de desvelo, trabajo duro, noches tristes extrañándonos, pero hoy tenemos esa recompensa por todo lo que pasamos durante este trayecto, hoy sin duda todo ha valido la pena, les debo más que la vida a mis queridos padres, y esto es solo un poco de todo lo que me han dado, y sé que con mucho orgullo y amor, reciben este título, va dedicado con todo el amor para ustedes, queridos padres; Verónica y Jerónimo.

ÍNDICE

ÍNDICE CUADROS	i
ÍNDICE IMÁGENES	ii
ÍNDICE GRÁFICAS	iii
RESUMEN	iv
ABSTRAC.....	v
1. Introducción.....	1
2. Objetivo	2
2.1 Objetivo General	2
3. Hipótesis	3
4. Marco Teórico.....	3
4.1 Limón Persa (<i>Citrus x latifolia</i>)	3
4.1.1 Morfología.....	3
4.1.2 Taxonomía.....	6
4.1.3 Usos e Importancia	6
4.1.4 Producción de limón Persa en México.....	7
4.1.5 Contenido Nutritivo	9
4.1.6 Manejo Agronómico	10
4.1.7 Etapas de desarrollo	14
4.1.8 Condiciones Edafoclimáticas	15
4.1.9 Plagas y Enfermedades.....	18
4.2 <i>Trichoderma spp</i>	22
4.2.1 Género de importancia agrícola.....	22
4.2.2 Taxonomía.....	25
4.2.3 Características Morfológicas de <i>Trichoderma</i>	26
4.2.4 Ciclo de vida	27
4.2.5 <i>Trichoderma</i> como biocontrolador de hongos Fitopatógenos.....	28
4.2.6 Mecanismo de Acción de <i>Trichoderma</i>	28
4.2.7 Competencia.....	28
4.3 <i>Colletotrichum acutatum</i>	34
4.3.1 Taxonomía.....	34
4.3.2 Características morfológicas de <i>Colletotrichum acutatum</i>	34

4.3.3	Importancia de <i>Colletotrichum acutatum</i> en la agricultura	34
4.3.4	Importancia de <i>Colletotrichum acutatum</i> en cítricos	35
4.3.5	Ciclo de vida	35
4.3.6	Formas de control	36
5.	Materiales y Métodos	37
5.1	Localización del área de estudio	37
5.2	Material Fúngico.....	38
5.2.1	Aislamiento e identificación de <i>Colletotrichum acutatum</i>	38
5.3	Bioensayos <i>in vitro</i>	39
5.3.1	Mecanismos de acción de aislamiento de <i>Trichoderma</i>	39
5.4	Análisis estadísticos.....	41
6.	Resultados y Discusiones	41
6.1	Actividad antagónica por parasitismo <i>in vitro</i> de cepas de <i>Trichoderma</i> aisladas de zonas semiáridas y áridas	41
6.1.1	Colonización	41
6.1.2	Porcentaje de inhibición del crecimiento de <i>Colletotrichum</i>	44
6.2	Actividad antagónica por antibiosis (metabolitos volátiles y no volátiles)	46
6.2.1	Porcentaje de inhibición de crecimiento de <i>Colletotrichum</i> por metabolitos no volátiles.....	46
6.2.2	Porcentaje de inhibición de crecimiento radial de <i>Colletotrichum</i> por metabolitos volátiles	49
7.	Conclusiones.....	53
8.	Literatura citada	54
9.	Anexos	67

ÍNDICE CUADROS

Cuadro 1. Volumen de la exportación de limones a EUA durante 2009.....	8
Cuadro 2. Valor nutricional del limón (por 100 gramos).	9
Cuadro 3. Dosis de Fertilizantes para árboles en desarrollo y número de aplicaciones por año.	13
Cuadro 4. Tratamientos llevados a cabo.	39
Cuadro 5. Colonización de diferentes cepas de <i>Trichoderma</i> spp sobre <i>Colletotrichum acutatum</i> SGO aislado de flores de limón Persa.	41
Cuadro 6. Área bajo la curva de la colonización de diferentes cepas de <i>Trichoderma</i> sobre <i>Colletotrichum acutatum</i> aislado de tejido de flores de limón Persa.	43
Cuadro 7. Inhibición de diferentes cepas de <i>Trichoderma</i> spp sobre <i>C. acutatum</i> SGO aislado de flores de limón Persa.	44
Cuadro 8. Área bajo la curva de la inhibición de <i>Colletotrichum acutatum</i> aislado de tejido de flores de limón Persa, por <i>Trichoderma</i> spp.	46
Cuadro 9. Medias de crecimiento de <i>Colletotrichum acutatum</i> por metabolitos no volátiles de <i>Trichoderma</i>	47
Cuadro 10. Área bajo la curva del crecimiento de <i>Colletotrichum acutatum</i> bajo tratamientos a base de metabolitos no volátiles de diferentes cepas de <i>Trichoderma</i>	49
Cuadro 11. Medias de crecimiento micelial de <i>C. acutatum</i> bajo tratamientos a base de metabolitos volátiles de cepas de <i>Trichoderma</i> de zonas áridas y semiáridas. ...	50
Cuadro 12. Área bajo la curva del crecimiento de diferentes cepas de <i>Trichoderma</i> sobre <i>Colletotrichum acutatum</i> aislado de tejido de flores de limón Persa.	52

ÍNDICE IMÁGENES

Imagen 1. Árbol de Limón Persa (<i>Citrus x latifolia</i>) con una altura aproximada de entre 4.5 a 6 metros de altura y una copa redondeada. Imagen tomada de Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá por UEIA (2014).....	4
Imagen 2. Hojas de árbol de limón Persa de color verde oscuro, forma ovalada y miden entre 9 y 13 cm de largo, son anchas-lanceoladas con peciolo alado, con un aroma fuerte y propio de este árbol. Imagen tomada de Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá por UEIA (2014).....	4
Imagen 3. Corteza de árbol de limón Persa dura, lisa y de color amarillo pálido. Imagen tomada de Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá por UEIA (2014).....	5
Imagen 4. Flor de árbol de limón Persa, blancas, fragantes y con un diámetro de 2.5 cm, se agrupan en 5 a 10 flores en las puntas de las ramas nuevas. Imagen tomada de Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá por UEIA (2014).	5
Imagen 5. Fruto de árbol de limón Persa es una lima sin semillas, de forma ovalada y con una cáscara verde que se torna amarillenta al madurar con un sabor jugoso, ácido y fragante. Imagen tomada de Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá por UEIA (2014).....	6
Imagen 6. Fruto de limón Persa.....	15
Imagen 7. Ubicación geográfica del área de estudio, en Saltillo, Coahuila, México.....	38

ÍNDICE GRÁFICAS

- Gráfica 1.** Colonización por diferentes cepas de *Trichoderma* sobre *Colletotrichum acutatum* por lectura tomada..... **42**
- Gráfica 2.** Inhibición por diferentes cepas de *Trichoderma* sobre *Colletotrichum acutatum* por lectura tomada. Letras diferentes nosindican que si hay diferencias estadística entre tratamientos.. **45**
- Gráfica 3.** Crecimiento de *Colletotrichum acutatum* por lectura de datos bajo tratamientos a base de metabolitos no volátiles de diferentes cepas de *Trichoderma*. **48**
- Gráfica 4.** Representación gráfica de las resultados por lectura del crecimiento micelial de *C. acutatum* bajo tratamientos a base de metabolitos volátiles de diferentes cepas de *Trichoderma* aisladas de zonas áridas y semiáridas..... **51**

RESUMEN

En las regiones citrícolas de México, la antracnosis por *Colletotrichum acutatum* es una enfermedad endémica que cada año provoca pérdidas severas en la producción de limón Persa. La forma en que se controla este patógeno es a través del uso frecuente de fungicidas, los cuales tienen consecuencias sobre el ambiente, otros microorganismos y la salud humana. *Trichoderma* es un agente de control biológico que es una alternativa viable para el control de este patógeno debido a sus diferentes mecanismos de acción, sin las consecuencias de los fungicidas sintéticos. El objetivo de este trabajo es evaluar in vitro el efecto de cepas de *Trichoderma* aisladas de zonas semiáridas en el desarrollo de la enfermedad conocida como antracnosis asociada a *Colletotrichum acutatum* en un cultivo de limón Persa, en Veracruz, México. Se llevaron a cabo aislamientos de *Trichoderma* de suelos de región semiárida (Coahuila y Durango); el patógeno fue aislado de tejido vegetal de limón Persa. Se establecieron cinco tratamientos incluyendo al testigo absoluto, cada uno contó con cuatro repeticiones. Las variables evaluadas fueron colonización de *Trichoderma* sobre el patógeno, metabolitos volátiles y metabolitos no volátiles. Los resultados señalan que las dos cepas de Durango (*Trichoderma asperellum*) colonizaron en su totalidad al patógeno comparadas con las otras cepas de Coahuila. De igual manera las cepas que tuvieron un mayor efecto de los metabolitos no volátiles sobre el patógeno fueron las aisladas de Durango. Los metabolitos volátiles mostraron estimulación sobre el patógeno lo que hizo que el testigo tuviera crecimientos menores a *Colletotrichum acutatum*.

Palabras clave: *Trichoderma*, antracnosis, limón Persa, *Colletotrichum acutatum*.

ABSTRAC

In the citrus growing regions of Mexico, *Colletotrichum acutatum* anthracnose is an endemic disease that causes severe losses in the production of Persian lemons every year. The way in which this pathogen is controlled is through the frequent use of fungicides, which have consequences on the environment, other microorganisms and human health. *Trichoderma* is a biological control agent that is a viable alternative for the control of this pathogen due to its different mechanisms of action, without the consequences of synthetic fungicides. The objective of this work is to evaluate in vitro the effect of *Trichoderma* strains isolated from semiarid areas on the development of the disease known as anthracnose associated with *Colletotrichum acutatum* in a Persian lemon crop in Veracruz, Mexico. Isolations of *Trichoderma* were carried out from soils of semiarid region (Coahuila and Durango); the pathogen was isolated from plant tissue of Persian lemon. Five treatments were established including the absolute control, each with four replicates. The variables evaluated were *Trichoderma* colonization on the pathogen, volatile metabolites and non-volatile metabolites. The results indicate that the two strains from Durango (*Trichoderma asperellum*) colonized the pathogen in its totality compared to the other strains from Coahuila. Likewise, the strains that had a greater effect of the non-volatile metabolites on the pathogen were those isolated in the Coahuila region, and those that had a greater effect of the non-volatile metabolites on the pathogen were those isolated in the Coahuila region.

Key words: *Trichoderma*, anthracnose, Persian lemon, *Colletotrichum acutatum*.

1. Introducción

El limón ocupa dentro de los cítricos el segundo lugar en importancia, tanto por el consumo en fresco que alcanza los 19.23 kg per cápita (SIAP, 2023), como por el uso industrial. En las regiones citrícolas de México, la antracnosis por *Colletotrichum acutatum* es una enfermedad endémica que cada año provoca pérdidas severas en la producción de limón. Además, este cultivo es afectado por diversas enfermedades que reducen su potencial de producción, calidad de fruta y algunas veces causan la muerte de los árboles. Entre las más importantes se conocen la gomosis, muerte regresiva, mancha foliar y antracnosis (Garza et al 2001). De este grupo de enfermedades, no hay duda de que la más importante es la antracnosis, debido a que se presenta todos los años afectando los brotes vegetativos, flores y frutos pequeños. Las enfermedades conocidas como antracnosis de los cítricos son causadas por hongos del género *Colletotrichum* spp, consideradas un serio problema en regiones características de clima tropical y subtropical. La antracnosis afecta flores, brotes, y frutos de limón (*Citrus x latifolia*), en las regiones productoras de México (Ponce-De la Cruz, 2019). Esta enfermedad es causada por el hongo *Colletotrichum acutatum* el cual es un modelo biológico de interés por sus características de fácil aislamiento, rápida multiplicación, y cortos periodos de incubación (Santos, 2004).

Antracnosis de limón es una de las principales enfermedades que ocasionan daños importantes en la producción de fruta de varias especies de cítricos en México. Esta enfermedad causa la caída del fruto pequeño o de las flores. Las recomendaciones de manejo comprenden el uso adecuado de prácticas para reducir fuentes de inóculo y condiciones favorables para la enfermedad de cultivo se recomienda el manejo integrado incluyendo prácticas culturales, métodos orgánicos, biológicos y químicos. (Ponce-De la Cruz, 2019). En la agricultura orgánica se utilizan alternativas como los extractos vegetales porque garantizan el equilibrio de los ecosistemas y la inocuidad de los productos alimenticios (Orozco et al, 2010).

Los microorganismos benéficos como *Trichoderma* spp., son una alternativa sana y limpia para combatir plagas y enfermedades en las plantas. *Trichoderma* spp., tiene

varias ventajas como agente de control biológico, pues posee un rápido crecimiento y desarrollo. Aparte de esto, produce una gran cantidad de enzimas, inducibles con la presencia de hongos fitopatógenos. La aplicación de *Trichoderma* spp., al suelo tiene varias ventajas; ofrece un control eficaz de enfermedades de las plantas, posee un amplio rango de acción, se propaga en el suelo, aumentando su población y ejerciendo control duradero en el tiempo, sobre hongos fitopatógenos, entre otras más. (Chiriboga, 2015).

Todos estos atributos se deben a los diferentes modos de acción que puede presentar este hongo, los cuales son: competencia, que se constituye de un mecanismo de antagonismo muy importante, el cual se define por el comportamiento sobre un mismo requerimiento (sustrato, nutrientes), siempre y cuando la utilización de este por uno de los organismos reduzca la cantidad o espacio disponible para los demás (Ahmad JS, 1987; Hjeljord L, 1998). Otro mecanismo es el micoparasitismo el cual es definido como una simbiosis antagónica entre organismos, en el que generalmente están implicadas enzimas extracelulares tales como quitinasas, celulasas, entre otras (J., et al. 1994). Antibiosis es la acción directa de antibióticos o metabolitos tóxicos producidos por un microorganismo sobre otro sensible a otros. Muchas cepas de *Trichoderma* producen metabolitos secundarios volátiles y no volátiles, algunos de los cuales inhiben el desarrollo de otros microorganismos con los que no hacen contacto físico. Tales sustancias inhibidoras son consideradas “antibióticos” (Hjeljord L, 1998).

2. Objetivo

2.1 Objetivo General

Evaluar *in vitro* el efecto de cepas de *Trichoderma* aisladas de zonas semiáridas en el desarrollo de la enfermedad conocida como antracnosis asociada a *Colletotrichum acutatum* en un cultivo de limón Persa, en Veracruz, México.

2.2 Objetivos Específicos

1. Aislamiento e identificación a nivel de género de *Trichoderma* con potencial para el manejo de *Colletotrichum acutatum* asociado a antracnosis en Limón Persa.

2. Evaluar la actividad antagónica por parasitismo *in vitro* de cepas aisladas de zonas semiáridas, para el control de *Colletotrichum acutatum* asociado a antracnosis en Limón Persa.
3. Evaluar la actividad antagónica por antibiosis (metabolitos volátiles y no volátiles) de cepas de *Trichoderma* aisladas de zonas semiáridas, para el control de *Colletotrichum acutatum* asociado a antracnosis en Limón Persa.

3. Hipótesis

La presencia de los mecanismos de acción de alguna de las cepas de *Trichoderma* aisladas de zona semiárida evaluadas en bioensayos *in vitro* tendrán un efecto en contra del desarrollo de *Colletotrichum acutatum* causante de antracnosis en flores en el cultivo de limón Persa en Veracruz, México.

4. Marco Teórico

4.1 Limón Persa (*Citrus x latifolia*)

4.1.1 Morfología

El árbol del limón Persa es moderadamente vigoroso, de mediano a grande donde puede alcanzar alturas de 4.5 a 6 metros, de ramas con pocas espinas cortas y puntiagudas. Las hojas son anchas-lanceoladas y con pecíolo alados; los brotes jóvenes son de color púrpura que después cambian a verde. Posee flores blancas y pequeñas. El fruto es ovalado y generalmente redondeado en la base. El fruto usualmente no tiene semilla. La cáscara del limón Persa es de color verde intenso hasta que madura y se torna a amarillo pálido, mientras que la pulpa tiene un color verdoso cuando madura (INTAGRI, Clima y suelo para el Cultivo de Limón Persa, 2018).



Imagen1. Árbol de Limón Persa (*Citrus x latifolia*) con una altura aproximada de entre 4.5 a 6 metros de altura y una copa redondeada. Imagen tomada de Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá por UEIA (2014).



Imagen 2. Hojas de árbol de limón Persa de color verde oscuro, forma ovalada y miden entre 9 y 13 cm de largo, son anchas-lanceoladas con peciolo alado, con un aroma fuerte y propio de este árbol. Imagen tomada de Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá por UEIA (2014).



Imagen 3. Corteza de árbol de limón Persa dura, lisa y de color amarillo pálido. Imagen tomada de Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá por UEIA (2014).



Imagen 4. Flor de árbol de limón Persa, blancas, fragantes y con un diámetro de 2.5 cm, se agrupan en 5 a 10 flores en las puntas de las ramas nuevas. Imagen tomada de Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá por UEIA (2014).



Imagen 5. Fruto de árbol de limón Persa es una lima sin semillas, de forma ovalada y con una cáscara verde que se torna amarillenta al madurar con un sabor jugoso, ácido y fragante. Imagen tomada de Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá por UEIA (2014).

4.1.2 Taxonomía

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Familia: Rutaceae

Orden: Sapindales

Género: Citrus

Especie: *Citrus x latifolia*

Nombre científico: *Citrus x latifolia*

(CONABIO).

4.1.3 Usos e Importancia

Se utiliza en fresco para usos culinarios, y su zumo en la industria de preparados alimenticios para elaborar jugos, jaleas, dulces, salsas, bebidas, entre otros. Además se pueden producir aceites esenciales o esencias, concentrados, pectina, ácido cítrico,

cáscara cristalizada, fermentos, entre otros aprovechamientos. (SIAP, 2016). Por su fuerte poder antibacterial y antiviral, el limón es un producto importante para la salud humana.

La importancia del limón persa radica en su valor nutricional, medicinal y en la cantidad de valiosos productos y subproductos que se obtienen en el proceso de industrialización. Este cultivo presenta muchas oportunidades de mercado tanto en el ámbito nacional como internacional (Vidal, 2015).

4.1.4 Producción de limón Persa en México

La producción de limón en México está representada por tres principales variedades cultivadas; estas son: limón Persa o sin semilla (*Citrus latifolia*), limón mexicano, verde o amargo (*Citrus aurantifolia*) y limón amarillo o italiano (*Citrus lemon*). El cultivo de limón incluyendo todas las variantes, representa una gran importancia para el consumo nacional y por ser uno de los frutos de mayor exportación. Actualmente los Estados con mayor producción son: Veracruz, Michoacán, Oaxaca y Colima, que en conjunto aportan el 75% de la producción nacional. Hoy en día, México ocupa el segundo lugar a nivel mundial en la producción de limón (Persa y mexicano, principalmente), donde el 70% del total se destina a mercado nacional y el resto al mercado de exportación, principalmente a los Estados Unidos de América. El mercado de exportación ha incentivado el crecimiento de la superficie de producción, especialmente de limón Persa, mientras que el mercado del limón mexicano se concentra en consumo nacional (INTAGRI, 2018). Los cítricos son el principal y más popular cultivo frutícola del mundo (Donkersley, Silva, Carvalho, & Al-Sadi, 2018; Sharma & Mahato, 2018), se cultivan en la mayoría de las regiones tropicales y subtropicales (Agustí, Mesejo, & Reig, 2014). Su producción aumenta cada año debido al incremento de la demanda de los consumidores (Sharma, Mahato, & Cho, 2017).

Una gran parte de la producción se destina al consumo interno debido a que el limón forma parte importante de la cocina mexicana; cada persona consume al año 14.3 kg. En los últimos años, el cultivo experimenta un incremento ligero en la producción, principalmente el limón Persa. Esta producción es favorecida por la exportación a

Estados Unidos que representa el 91.3%, así como la apertura de nuevos mercados como: Polonia, Arabia Saudita, Ucrania, Japón y Corea del Sur.

El limón Persa es más cotizado por el mercado de exportación debido a que es un fruto con mayor tamaño y cantidad de jugo, menor acidez, ausencia de semillas y con concentraciones altas de vitamina C y mayor vida de anaquel comparado con el limón mexicano.

El limón más exportado es el Persa: en 2009 conformó casi el 85% y en épocas recientes se mantiene como el principal tipo de limón para exportación.

Cuadro 1. Volumen de la exportación de limones a EUA durante 2009.

Cuadro 1. Volumen de la exportación de limones a EUA durante 2009.		
Fuente: Hernández y Olvera 2010.		
Especie	Volumen (t)	Porcentaje (%)
Limón mexicano	42,789.484	9.9
Limón persa	366,455.559	84.4
Limón italiano	24,765.739	5.7

México es el segundo productor mundial del limón y sus exportaciones se destinan hacia EUA, quien es el principal consumidor con el 91% de las exportaciones (609 mil toneladas) y el resto de importadores se conforma de países europeos y asiáticos que representan ventanas diversas de oportunidades aún sin explorar.

El limón Persa, en cuanto a superficie sembrada de este limón, se tienen en el país 90 mil hectáreas, de las cuales los tres Estados con mayor superficie (Veracruz, Oaxaca y Tabasco) abarcan casi el 75%. La producción generada de los tres estados principales de mayor superficie cubre casi el 80% del total (INTAGRI, 2018). En rendimientos, el Estado con el promedio más sobresaliente es Tamaulipas con 27.68 ton/ha en comparación con el promedio nacional de 14.89 ton/ha, por encima del promedio existen 19, 18 y 16 toneladas correspondientes a Yucatán, Quintana Roo y Jalisco. El valor de la producción se concentra en tres principales estados (Veracruz,

Oaxaca y Jalisco) y en conjunto aportan más del 80% del valor de producción del limón Persa. En cuanto al año 2021, la distribución del volumen de producción (ton) de limón Persa a nivel estatal, se tiene que las principales entidades productoras se encuentran, en primer lugar, Veracruz con el 53.38% de la producción, seguido de Oaxaca con el 13.46% de la producción, el estado de Jalisco con el 6.30%, Tabasco con el 5.83%, Yucatán con un 5.23% de la producción y otros con una producción obtenida del 15.80% (INTAGRI, 2018; SIAP, 2021).

La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2022), señaló que la producción de limón en 2021 totalizó dos millones 964 mil 621 toneladas, 4.0 por ciento más en comparación con el año previo (Rural, 2022).

4.1.5 Contenido Nutritivo

El limón es un auténtico tesoro nutricional y muy beneficioso para nuestra salud. Es una fruta curativa por excelencia, porque nos aporta vitaminas, elimina toxinas y es un poderoso bactericida, por lo que la OMS recomienda su consumo regular (Vanguardia, 2022) Tiene muy buen sabor y aroma, su contenido de ácidos es de 5-6%, el contenido de jugo es de 45-55% por volumen. Los frutos frescos se utilizan en bebidas y para adobar y adornar carnes. El jugo fresco se usa en bebidas y para sazonar carnes y pescados y otros tipos de alimentos. El jugo congelado se usa de manera similar. El aceite extraído del limón Persa se usa ampliamente en cosméticos y en la fabricación de saborizantes (Malo, CW, & JH, 2019).

Cuadro 2. Valor nutricional del limón (por 100 gramos).

Contenido Nutritivo	Valor (kcal o g)
Calorías	22 kcal
Grasa totales	0.2 g
Sodio	1 mg
Potasio	103 mg
Hidratos de carbono	7 g
Fibra	0.3 g
Azúcares	2.5 g

Proteínas	0.4 g
Agua	88.9 g
Carbohidratos	9 g
Calcio	6 mg
Magnesio	6 mg
Vitaminas	A, C, E

(Vanguardia, 2022).

4.1.6 Manejo Agronómico

Poda: existen 4 tipos de podas básicos que se deben efectuar, dependiendo de la edad del cultivo, éstas son:

Poda de plantación. Consiste en eliminar parte de las ramas, principalmente las más tiernas. Normalmente la planta debe tener una rama principal con una altura superior a 80 cm, la cual se cortará a unos 60-70 cm del suelo, bien sea en el vivero o en la parcela donde se vaya a plantar. También se eliminan los brotes tiernos que estén a menos de 40 cm del suelo (Asunta, 2017).

Poda de formación. Se efectúa para darle forma y resistencia mecánica al árbol. Se busca formar un esqueleto o armazón que resista mejor los vientos y el peso de las ramas en época de máxima producción. Esta poda consiste en despuntar la planta a unos 10 centímetros, para estimular la brotación lateral de las yemas; de las ramas que resulten se escogen tres o cuatro que estén bien distribuidas alrededor de la planta; la separación entre ellas debe ser de 4 a 8 centímetros. Cuando estas ramas alcanzan unos 20 centímetros de largo, se les despunta a unos 5 centímetros para seleccionar nuevamente dos o tres ramas de la nueva brotación. Se pretende que el árbol posea de 6 a 12 ramas bien distribuidas (Canela, 2020).

Poda en desarrollo. Esta poda debe ser pronta, para evitar el crecimiento excesivo del follaje y su retardada fructificación. Se limita a eliminar los “chupones” o hijos del patrón, que se puede hacer manualmente cuando sus brotes tiernos y pequeños; si no se eliminan estos “chupones” compiten por agua y nutrientes, retardando el desarrollo adecuado de la planta. Es necesario eliminar aquellas ramas desnutridas o “plumas” que se desarrollan en el centro del tronco y en las ramas. También, se eliminan ramas

que estén muy cerca o cruzadas, seleccionando la mejor desarrollada y con buena orientación (Canela, 2020).

Poda de Fructificación. Cuando la plantación es adulta, se requiere mejorar la sanidad de la copa y principalmente, recuperar el follaje perdido, lo cual está relacionado con la cantidad y tamaño del fruto. Mediante esta poda se pretende corregir los defectos originarios por el desarrollo vegetativo del árbol y mantener el sistema de poda elegido, además de regular la producción y favorecer la iluminación, con ello se pretende renovar los órganos de fructificación que estén agotados, y repartir mejor la fruta, mejorando su calidad. (Asunta, 2017). También mejora la penetración de luz, mejorando la calidad del fruto por su color (Canela, 2020).

Poda de Limpieza. Se efectúa después de la cosecha y sirve para eliminar las ramas secas, rotas, con ataque de gomosis aérea, melanosis, etc., las cuales provocan el inóculo de patógenos, caída de los frutos pequeños y la calidad externa de la fruta (Canela, 2020).

Control de malezas: el control de malezas es importante en las plantaciones de limón pérsico debido a los siguientes motivos:

Competencia y evapotranspiración del agua que se encuentra en el suelo.

Competencia de nutrientes presentes en el suelo y los que se aplican en las fertilizaciones.

Son hospederos de plagas y enfermedades.

Interfieren en las labores de podas, cosechas y controles fitosanitarios (Canela, 2020).

Los métodos para su control son:

Mecánico. Se puede realizar solamente en terrenos planos y ligeramente ondulados y con amplios distanciamientos de siembra, se utiliza un arado rastra o capeadoras. Existen implementos manuales mecánicos, los cuales se pueden utilizar para evitar el uso de químicos.

Químico. Es una buena opción debido a que controla ambos tipos de maleza. Pero es necesario conocer los tipos de malezas presentes, para saber qué tipo de herbicida usar y la forma adecuada de aplicación.

Riego. En nuestro país, los promedios de lluvia proporcionan más de 1,700 mm de agua, los cuales se concentran en los meses de mayo y octubre, incrementándose en esta época, la producción del limón, situación que incide negativamente en los precios de comercialización y por ende en la rentabilidad del cultivo (Canela, 2020).

Por lo anterior, en la producción de limón de los meses de noviembre hasta abril, (época seca), los precios aumentan considerablemente y es cuando el cultivo es realmente rentable. Para que se produzca la floración, se necesita un período de descanso o desarrollo reducido, lográndose cuando hay un período seco de por lo menos un mes. Mientras es mayor la falta de agua, mayor es la floración que se induce por las lluvias o el riego. Existe un rango aproximado de 21/2 a 4 meses desde que florece hasta que fructifica, según las características del lugar. Si se riega el limón en enero, los árboles florecerán y se logrará cosecha en mayo. Se debe de programar la época en la que esperamos cosechar el producto (Canela, 2020).

En el caso de los primeros, se pueden efectuar otras actividades como a fertirrigación, por medio de la cual aplicamos el fertilizante en raciones oportunas según las necesidades del cultivo y sin efectuar gastos de mano de obra. Según la textura del suelo, se debe implementar el sistema de riego, además tomando en cuenta la disponibilidad de agua y otras condiciones del terreno como la topografía. La fertilización es sumamente importante en el manejo del cultivo, puesto que es la forma como se proporciona la cantidad de nutrientes que la planta necesita para desarrollarse y producir.

El limón pérsico necesita de 15 elementos para su buen desarrollo, que son Carbono (C), Hidrógeno (H), Oxígeno (O), Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre (S), Zinc (Zn), Boro (B), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Cobre (Cu) y Molibdeno (Mo). Los primeros tres los obtiene del aire y del agua, y los restantes 12 del suelo por la raíz, los que pueden llegar a agotarse si no se consideran en un

adecuado sistema de fertilización. Los más importantes para su producción son Nitrógeno, Fósforo y Potasio. (Canela, 2020).

A partir de esta edad se consideran árboles adultos y debe mantenerse esta última fórmula de fertilización para años subsecuentes. En una sola aplicación hecha en el fondo de la cepa al momento de plantar (Curti-Díaz, S.A. 2000; Canela, 2020).

Cuadro 3. Dosis de Fertilizantes para árboles en desarrollo y número de aplicaciones por año.

Dosis de Fertilizantes para árboles en desarrollo y número de aplicaciones por año							
Edad del árbol en años	Gramos de N, P, K por árbol por aplicación			Número de aplicaciones	Gramos de N, P, K por árbol por año		
	N	P205	K20		N	P205	K20
1	20	20z	0	4	80	20z	0
2	30	5	8	4	120	20	32
3	35	8	10	4	140	32	40
4	50	10	20	4	200	40	80
5	125	40	60	4	500	160	240
6	225	75	110	4	900	300	440
7	260	90	130	4	104	360	520
8	300	100	150	4	1200	400	600
9	375	125	187.5	4	1500	500	750

México es uno de los principales productores y exportadores de limón Persa a nivel mundial, y el estado de Veracruz es el principal productor y exportador a nivel nacional. Las unidades de producción estudiadas tuvieron costos cercanos a los 15,600 pesos, sin renta de la tierra. Considerando una renta de 2,000 pesos por hectárea el costo total de producción es de 17,586.85 pesos. Los insumos que absorben la mayor parte de los gastos son la mano de obra (60.22%), los fertilizantes granulados (12.04%) y la gasolina (11.37%). Los tres insumos que tuvieron menor participación fueron los fertilizantes foliares, herbicidas y pesticidas, que registraron 1.42%, 2.18% y 1.40% respectivamente. Los resultados comentados reflejan que el 100% de los productores son rentables ya que presentan valores positivos de los indicadores de rentabilidad, el 60% logran rentabilidad inferior a la media y el 40% una rentabilidad igual o superior a la media, por lo que son más competitivos. Lo anterior tiene lógica económica, ya que

los productores no rentables generalmente tienden a abandonar la actividad y lo que permanecen son rentables (Cauich, 2014).

4.1.7 Etapas de desarrollo

El limón es un cítrico de gran valor en la agricultura de América Latina, apreciado por su versatilidad y propiedades nutricionales. Entender las etapas fenológicas del limón es crucial para los productores que buscan maximizar la calidad y cantidad de su cosecha.

Etapas 1. Germinación y Crecimiento inicial

Inicio del Desarrollo. La germinación del limón comienza con la siembra de semillas o la plantación de injertos. Es importante garantizar un buen drenaje y suelo fértil para el establecimiento de las plántulas.

Primeras fases de crecimiento. Las jóvenes plantas de limón requieren protección contra factores extremos como heladas o calor excesivo. La nutrición balanceada y un riego adecuado son fundamentales para un crecimiento saludable (Agricultura, 2024).

Etapas 2. Desarrollo Vegetativo

Formación de hojas y ramas. Durante esta etapa, la planta de limón desarrolla su estructura foliar y ramas. La poda puede ser necesaria para formar la estructura deseada del árbol y promover una mejor producción de frutos.

Nutrición y riego. Una nutrición equilibrada es clave, enfocándose en nitrógeno, fósforo, potasio y micronutrientes esenciales. El riego debe ser regular pero sin encharcamientos para evitar enfermedades de la raíz (Agricultura, 2024).

Etapas 3. Floración y polinización

Floración. La etapa de floración es crítica para la producción de limón. Las flores deben protegerse de condiciones adversas y es esencial una buena polinización para asegurar la formación de frutos.

Manejo durante la floración. La protección contra plagas y enfermedades es crucial. En algunos casos, puede ser necesario el uso de polinizadores para garantizar una adecuada polinización y formación de frutos (Agricultura, 2024).

Etapa 4. Fructificación y Maduración

Desarrollo del fruto. Tras la polinización, comienza el desarrollo del fruto. Es importante monitorear y controlar plagas y enfermedades, así como mantener un riego adecuado para el desarrollo óptimo de los limones.

Maduración. La maduración del limón es un proceso gradual. El riego y la nutrición deben ajustarse para facilitar la maduración y mejorar la calidad del fruto (Agricultura, 2024).

Etapa 5. Cosecha y Post-Cosecha

Cosecha. La cosecha de limones debe realizarse cuidadosamente para seleccionar frutos en el punto óptimo de madurez. Es vital evitar daños mecánicos durante la recolección (Agricultura, 2024).

Manejo Post-Cosecha. Los limones requieren un manejo cuidadoso post-cosecha, incluyendo almacenamiento y transporte adecuados para preservar su calidad y vida útil (Agricultura, 2024).

4.1.8 Condiciones Edafoclimáticas

Requerimientos de clima para el Limón Persa. Entre los elementos del clima que influyen en el crecimiento, desarrollo y producción del limón Persa se encuentran: temperatura, radiación solar, precipitación, viento.



Imagen 6. Fruto de limón Persa.

Temperatura. El rango de temperatura para el crecimiento óptimo de limón Persa va de 25 a 31°C. La temperatura influye en el desarrollo del cultivo a tal grado que varía el tiempo de la floración hasta la maduración del fruto según la condición de temperaturas de cada región, mientras que en climas cálidos el tiempo se acorta, en climas más frescos se alarga. La temperatura mínima para el cultivo es de 18°C y la máxima es de 38°C. Cabe destacar que el limón pérsico es un cultivo sensible a las bajas temperaturas, siendo fundamental conocer las temperaturas mínimas del sitio donde se desea establecer el cultivo. Las bajas temperaturas provocan paralización en el crecimiento del árbol y en etapas de fructificación inducen caídas de frutos, lo que repercute fuertemente en el ingreso del productor (INTAGRI, 2018).

Radiación solar. La cantidad de luz disponible es vital para el desarrollo del limón Persa y este elemento del clima está íntimamente relacionado con la tasa de crecimiento del árbol, así como la calidad de la fruta, especialmente el sabor y color de la fruta. También, la cantidad de luz que recibe la planta es importante para la formación de yemas florales (INTAGRI, 2018).

Precipitación. La disponibilidad de agua es imprescindible en el desarrollo de cualquier vegetal, tal es el caso del limón Persa que demanda un suministro razonable de este líquido para llevar a cabo sus diferentes procesos fisiológicos y metabólicos. Regiones con precipitaciones del orden de los 400 a 1,200 mm anuales son óptimas para el limón Persa. El déficit hídrico inhibe la floración y fructificación, además la planta al pasar por un estado de estrés hídrico estimula la maduración temprana del fruto, así como la producción de frutos de menor tamaño y con bajo contenido de jugo. En sitios donde la precipitación es mayor o no esté bien distribuido en el año, es necesario implementar sistemas de riego para suministrar la demanda hídrica de la planta (INTAGRI, 2018).

Viento. Los árboles de limón Persa tienen abundante área foliar, por lo que no se recomienda establecer huertas de limón en donde la velocidad del viento es mayor a 20 km/h, ya que puede provocar la caída de hojas y flores, así como roce de frutos con ramas, afectando la calidad de los frutos y su aceptación en el mercado. En áreas

donde los vientos son fuertes deben establecerse cortinas rompe vientos para contrarrestar el efecto adverso de este fenómeno natural (INTAGRI, 2018).

Luz. La luz solar es imprescindible para el desarrollo de los árboles frutales, por lo que se recomienda plantarlos en áreas donde reciban la mayor cantidad de luz posible, por lo que debe evitarse la siembra en laderas orientadas hacia el oeste o hacia el norte. La luz es necesaria ya que determina una gran parte la calidad de la fruta, especialmente sabor y color (Pita Vazquez, 2019).

Altitud. Alturas que varíen de 50 a 1,500 metros, este es un factor que interviene directamente en la apariencia física del fruto; a mayor altitud la consistencia es rugosa y la coloración verde intensa, mientras que a menor altitud la consistencia es lisa y la coloración menos intensa (verde claro) (Pita Vazquez, 2019).

Humedad relativa. La elevada humedad del ambiente le es favorable, en cambio sufre cuando esa humedad relativa es marcadamente baja (Pita Vazquez, 2019).

Requerimientos de suelo para el Limón Persa El suelo es uno de los recursos más importantes para el desarrollo del limón Persa, ya que sus propiedades influyen fuertemente en el cultivo. El suelo es el medio donde las plantas se anclan, toman los nutrientes y agua, por lo que antes de establecer un cultivo es importante diagnosticar su fertilidad física, química y biológica.

pH. El limón Persa como la mayoría de las limas crece mejor en un suelo con pH de 6.0 a 7.5. Las huertas establecidas en suelos calcáreos con pH elevado pueden provocar severas deficiencias de micronutrientes en los árboles, principalmente deficiencias de manganesos (Mn) y Zinc (Zn) (INTAGRI, 2018).

Textura. Se desarrolla de mejor manera en suelos con textura franco arenoso, aunque también suelos franco arcillosos son adecuados para la planta. Los suelos deben tener un buen drenaje para una buena producción y crecimiento de la fruta. Suelos con pobre drenaje favorecen la incidencia de enfermedades como gomosis (INTAGRI, 2018).

Profundidad. Al ser una planta perenne demanda suelos profundos para desarrollar su sistema radicular de anclaje y de absorción. Suelos con más de 60 cm de profundidad son óptimos para el establecimiento de limón Persa (INTAGRI, 2018).

4.1.9 Plagas y Enfermedades

Plagas. El cultivo de limón Persa se ve afectado por trips, psílidos (*Diaphorina citri*), araña roja y otros ácaros, cochinillas y escamas y hormigas; y pueden causarle daños importantes.

Trips. Son una plaga común en los cultivos de limón Persa y varias especies son una gran amenaza. Entre estas especies se encuentran el trips del chile (*Scirtothrips dorsalis*), el trips occidental de las flores (*Frankliniella occidentalis*) y el trips de las flores (*Frankliniella insulares*). Son pequeños insectos que se alimentan de las hojas, flores y frutos, causando daño en el follaje y afectando la salud general de la planta. El *Scirtothrips dorsalis*, también conocido como trips del chile, es mayormente problemático, ya que puede causar daños importantes en los cultivos de limón Persa al alimentarse de las hojas jóvenes y los frutos. El trips occidental de las flores (*F. occidentalis*) y el trips de las flores (*F. insulares*) son plagas muy extendidas que infestan los cultivos de limón Persa. Las infestaciones de trips pueden provocar una reducción de la calidad de la fruta, retraso del crecimiento y distorsión de las hojas (Koppert Copyright, 2024).

Psílidos. Los psílidos son una preocupación importante en los cultivos de limón Persa, siendo una especie prominente *D. citri*, también conocido como psílido asiático de los cítricos. *D. citri* es una plaga notoria que es una grave amenaza para el limón Persa. Estos pequeños insectos se alimentan de la savia de sus hojas y tallos, causando daños y debilitando la salud general del árbol. Sin embargo, la mayor preocupación asociada al psílido asiático de los cítricos (*D. citri*) es un papel como vector de una enfermedad llamada Huanglongbing (HLB), también conocida como enverdecimiento de los cítricos. El HLB es una enfermedad bacteriana que afecta a los cítricos, incluida el limón Persa, y que puede causar graves daños a la fruta, con la consiguiente reducción de la producción y la calidad. El control de las poblaciones del psílido asiático de los cítricos es crucial para gestionar la propagación del HLB y proteger los cultivos de limón Persa de los efectos devastadores de esta enfermedad (Koppert Copirynth, 2024).

Araña roja, ácaro blanco y ácaro arador. Los ácaros plaga son una amenaza significativa para los cultivos de limón Persa, con varias especies que causan daños y reducen la productividad de los árboles. Una de las especies de ácaros más comunes que afectan a los cultivos de limón Persa es el *Tetranychus urticae*, también conocido como araña roja de dos manchas. Estos diminutos arácnidos se alimentan del follaje de los árboles, causando punteado y decoloración de las hojas, lo que puede reducir la fotosíntesis y el vigor general del árbol. Otra especie de ácaro problemático es el *Polyphagotarsonemus latus*, comúnmente conocido como ácaro blanco. Estos ácaros son extremadamente pequeños y difíciles de detectar a simple vista, pero sus daños son evidentes ya que ocasionan un cambio de coloración en los frutos. *Phyllocoptruta oleivora*, conocido como ácaro arador, negrilla o ácaro de la roya de los cítricos, es otra especie de ácaro plaga que infesta los cultivos de limón Persa. Estos ácaros causan lesiones de color óxido en las hojas y frutos, afectando su calidad y valor de mercado (Koppert Copiryght, 2024).

Cochinillas y escamas. Una de las especies más conocidas es *Planococcus citri*, comúnmente conocida como cochinilla de los cítricos. Estos diminutos insectos están cubiertos de una sustancia cerosa, parecida al algodón, que les proporciona protección y dificultad su control. Las cochinillas de los cítricos se alimentan de la savia, succionan los nutrientes vitales y debilitan a los árboles. Su actividad alimentaria puede provocar el retraso del crecimiento, el amarillamiento de las hojas e incluso su caída prematura. Su presencia en los frutos afecta su calidad. Además, las cochinillas excretan melaza, una sustancia pegajosa que atrae a las hormigas y favorece el crecimiento de la fumagina, lo que compromete aún más la salud del limón Persa (Koppert Copirygth, 2024). A esta cochinilla le encanta el verano, es decir, las temperaturas altas y el ambiente seco (Celuz Agro, 2017).

Pulgones. Los áfidos, comúnmente llamados pulgones, forman un grupo único y muy grande de insectos. Los pulgones pueden transmitir organismos patógenos, particularmente virus como el de la tristeza de los cítricos (CTV) que ocasiona pérdidas en la producción y en cepas agresivas puede causar la muerte de los árboles del limón Persa (Koppert Copiryght, 2024). Estos aparecen cuando hay una humedad ambiental

alta y las temperaturas se mantienen sobre los 15°C. Son insectos pequeños de menos de 0.5cm de largo, que se posan en los capullos florales y en las yemas. De esta forma el árbol no puede desarrollar nuevas hojas, y los frutos terminan desarrollando deformaciones lo cual provoca que no se pueda consumir (Celuz Agro, 2017).

Hormigas. Ciertos tipos de hormigas pueden convertirse en plagas en los cultivos de limón Persa. Estas hormigas se sienten atraídas por la melaza dulce que segregan los insectos que se alimentan de savia, como las cochinillas y las diaphorinas. Por tal motivo, protegen a estas plagas de depredadores y parasitoides, permitiendo que sus poblaciones aumenten. Esta relación mutualista entre hormigas e insectos que se alimentan de savia puede provocar nidos cerca de los árboles, perturbando potencialmente el sistema radicular y afectando a la salud general del limón Persa. En nuevas plantaciones llegan a ocasionar defoliación en árboles jóvenes (Koppert Copyright, 2024).

Minador. El limón Persa puede verse atacado por un insecto minador, que afecta sobre todo a las hojas jóvenes. Este insecto forma galerías a medida que se alimenta. Como consecuencia de ellos, aparecerán manchas marrones y las hojas se terminarán enrollando hasta que terminen de marchitarse y caer (Celuz Agro, 2017).

Mosca blanca. Esta especie pertenece a los Homópteros, estos insectos absorben la savia de las hojas y segregan cantidades de mielecilla en las que crece el hongo llamada Fumagina (Celuz Agro, 2017).

Enfermedades. El cultivo de limón Persa es susceptible a sufrir diversas enfermedades vegetales que pueden afectar a la salud y la productividad de los cultivos.

Virus de la tristeza de los cítricos. Una enfermedad común en limón Persa es el virus de la tristeza de los cítricos (CTV), que es transmitido por los áfidos y causa retraso en el crecimiento, disminución del rendimiento y el desarrollo de síntomas graves en las plantas infectadas (Koppert Copyright, 2024). Las plantas afectadas representan muchos síntomas, por lo que su diagnóstico es difícil; las hojas son amarillentas, presentan varios síntomas de deficiencias y finalmente caen. Esta

enfermedad obstruye los vasos que conducen alimentos, ocasionando la muerte de las raíces (Celuz Agro, 2017).

Podredumbre radicular por *Phytophthora*. La podredumbre radicular por *Phytophthora*, causada por el patógeno *Phytophthora spp.*, afecta las raíces del árbol del limón Persa, provocando el marchitamiento, el deterioro de las raíces y, en última instancia, la muerte del árbol (Koppert Copyright, 2024). Se observa en áreas muertas de la corteza del árbol con exudaciones de goma, secamiento y agrietamiento vertical, localizado en el tronco y se extiende de forma ascendente (Nanoxen, 2022).

Marchitez por *Fusarium*. El marchitamiento por *Fusarium oxysporum*, provoca amarillamiento, marchitamiento y decoloración vascular, lo que lleva al declive y muerte de los árboles de limón Persa (Koppert Copyright, 2024).

Mancha de la hoja y Pudrición negra del fruto. La causa de esta enfermedad se atribuye a *Citrus gloesporoides*, pero estudios posteriores demostraron que la causante es *Alternaria citri*. Esta produce manchas necróticas que destruyen los tejidos de las hojas. Cuando ataca los frutos, la infección comienza en el extremo floral, al ser cortados, los frutos infectados presentan una porción seca, negra, en descomposición, y en casos avanzados se extiende hasta el corazón del fruto (Celuz agro, 2017).

El ahogamiento o Damping off. Causado por tres patógenos del suelo; *Rhizoctonia solani*, *Pythium sp.* y *Phytophthora spp.*, los cuales se presentan cuando existen condiciones de drenaje deficiente, exceso de humedad, de sombra y de alta población de plantas, e ataque severo suele aparecer en etapa de plántula y causar la muerte rápida de la misma (Nanoxen, 2022).

Antracnosis (*Colletotrichum gloesporoides*). Esta enfermedad afecta brotes, flores y frutos, provocando un aspecto de polvillo abundante en brotes, los cuales se marchitan y mueren a partir de las puntas, así mismo, los racimos florales pueden dañarse en su totalidad, los frutos pueden ser afectados hasta agrietarse con una lesión corchosa y caer o quedar adheridos a la rama (Nanoxen, 2022).

Wood Pocket. Es una condición genética especialmente importante en el cultivo de limón Persa en México, desarrollando los síntomas más severos en temperaturas

cálidas y caracterizándose por presentar moteados en el follaje del árbol, rajaduras en la madera y agrietamiento de la corteza del árbol con aspecto de bolsas, por otro lado, en los frutos se observa un manchado sectorial. De manera general esta condición ocasionada el decaimiento del árbol y su muerte en un periodo corto de tiempo (Nanoxen, 2022).

Moho del fruto. Causado por diferentes especies del hongo *Penicillium*. La infección de los frutos ocurre a través de heridas en la cáscara causadas durante la cosecha, transporte, empaque y/o almacenamiento, es una de las principales causas de pérdida de fruta y almacén (Nanoxen, 2022).

Enverdecimiento o Huanglongbing. Enfermedad causada por la bacteria *Liberobacter asiaticum* y es altamente destructiva. Su nombre se debe al color verde que conserva la fruta al llegar a su madurez fisiológica. En las hojas hay un amarillamiento de las venas primarias y secundarias. La clorosis es parecida a deficiencia de zinc. Los frutos son pequeños, sin semillas, de calidad pobre, sabor agrio y frecuentemente algunos más pesados que otros, hay deformación del fruto y los árboles infectados tienden a producir brotaciones y floraciones fuera de temporada (Celuz Agro, 2017). Asimismo, su transmisión se apoya mediante un vector, el psílido asiático de los cítricos (*Diaphorina citri*) y mediante injertos con yemas infectadas y/o movilización de material vegetativo, por lo que existe riesgo constante de dispersión (Nanoxen, 2022).

Fumagina (*Capnodium citri*). Se encuentra distribuida en las regiones citrícolas comerciales de México, se presenta en superficie de hojas, tallos y frutos; en ataques severos causa la reducción de la capacidad fotosintética de las hojas y, por otro lado, los frutos dañados pueden detener su desarrollo. En frutos, hojas y tallos se observan manchas de color negro, similares al tizne (Nanoxen, 2022).

4.2 *Trichoderma spp*

4.2.1 Género de importancia agrícola

Las especies de *Trichoderma* predominan en ecosistemas terrestres (bosques o suelos agrícolas), tienen bajo requerimiento nutrimental pero relativamente amplio rango de temperatura (25-30°C) para su crecimiento (Sandle, 2014). Además, poseen

alta adaptabilidad a condiciones ecológicas y pueden crecer de manera saprófita, interactúan con animales y plantas (Zeilinger, 2016), y se desarrollan en diversos sustratos, lo cual facilita su producción masiva para uso en la agricultura.

Diversas especies de este género están asociadas con la rizósfera de plantas o pueden relacionarse de manera endofítica, por lo que pueden promover el crecimiento y desarrollo de las plantas, mediante la producción de auxinas y giberelinas; también pueden producir ácidos orgánicos (glucónico, furámico y cítrico) que pueden disminuir el pH del suelo y propiciar la solubilización de fosfatos, magnesio, hierro y manganeso, los cuales son vitales para el metabolismo vegetal (Torres-De la Cruz, 2015). Además este género fúngico es importante para las plantas, al contribuir en el control de hongos fitopatógenos, ya que poseen propiedades micoparasíticas y antibióticas, por lo que algunas especies han sido catalogadas como excelentes agentes de control biológico de hongos causantes de enfermedades en diferentes plantas (Argumedo-Delira, 2009).

Este hongo toma nutrientes de los hongos que parasita y de materiales orgánicos, ayudando a su descomposición, por lo cual las incorporaciones de materia orgánica y compostas favorecen su proliferación (Ramos, 2008).

Las propiedades antagónicas de *Trichoderma* hacia hongos patógenos se basan en la activación de múltiples mecanismos que incluyen la competencia por nutrientes y espacio, el micoparasitismo, la antibiosis, la promoción del crecimiento vegetal, e inducción de respuestas de defensa vegetal (de Aguiar, 2014), (Sandle, 2014), (Vargas-Hoyos, 2015). Durante el proceso de micoparasitismo, *Trichoderma* secreta enzimas que hidrolizan la pared celular de los hongos que parasita, siendo las más conocidas las proteasas, las quitinasas y las glucanasas (Marcello, 2010; García-Espejo, 2016), y provocan la retracción de la membrana plasmática y la desorganización del citoplasma. También inhiben la geminación de esporas y la elongación del tubo germinativo (Romero-Cortes, 2016).

Trichoderma es un hongo saprófita de distribución mundial, comúnmente encontrando en el suelo, materiales celulósicos y también como parásito de otros hongos (Schuster, 2010). Algunos autores reportan que los metabolitos secundarios producidos por

Trichoderma tienen acciones antifúngica así como de micoparasitismo, inducción de respuestas de defensa y resistencia en plantas hospedantes los cuales son mecanismos que actúan sinérgicamente (Sempere Ferre, 2010). La capacidad de *Trichoderma* para controlar diferentes patógenos de plantas también se debe a la producción y secreción de enzimas hidrolíticas, y a su rápida adaptación a ambientes adversos. Aunque ocurre un sinergismo entre los diferentes mecanismos utilizados por *Trichoderma*, el micoparasitismo es considerado el principal mecanismo de biocontrol (Kubicek, 2001; Gruber, 2014; Troian, 2014).

En gran medida, la agricultura en la era moderna depende del uso de agroquímicos y fertilizantes para el manejo de las enfermedades de las plantas y para mejorar la productividad de los cultivos (Bakhat, 2018). Los agroquímicos son capaces de minimizar las amenazas de enfermedades y mejorar los rendimientos de los cultivos, sin embargo, al mismo tiempo representa amenazas graves para la salud humana y la biosustentabilidad de los ecosistemas. Esto ha generado un creciente interés en el control biológico, que lo podemos definir como la supresión de la enfermedad mediante la aplicación de un agente de biocontrol (ABC), generalmente, un hongo, una bacteria o un virus. El uso de ABC surgió como una alternativa prometedora y, en ocasiones, como una forma complementaria de reducir el uso de agroquímicos (Correa, 2011; Prajapati, 2020).

Dado que los hongos de control biológico del género *Trichoderma* han desarrollado la capacidad de interactuar simultáneamente con plantas y patógenos fúngicos, pueden usarse como microorganismos modelo para estudiar interacciones complejas. Existen varios elicitores que estimulan la respuesta inmune de las plantas y el micoparasitismo ocasionado por *Trichoderma*; es decir, la inhibición del crecimiento de un hongo fitopatógeno por otro hongo antagonista. Este mecanismo es el más relevante dentro del control biológico mediado por *Trichoderma*. Incluso, se considera que interacciona con factores bióticos y abióticos (Mayo, 2015; Kashyap, 2017), tal como ocurre en el caso del silicio. Estudios recientes han demostrado que el gel de sílice en combinación con *Trichoderma* activa mecanismo de protección en plantas contra factores bióticos (insectos, hongos y bacterias), potenciando la efectividad del control biológico y

proporcionando una estrategia integral sostenible y amigable con el ambiente, como una alternativa para la disminución del uso de pesticidas, (Mukherjee, 2012; Wang M. G., 2017; Bakhat, 2018; Parrilli, 2019).

Al considerar las interacciones de las diferentes especies de *Trichoderma* con las plantas, se ha comprobado que estas pueden estimular el crecimiento y rendimiento y promover una mayor disponibilidad de elementos biogénicos (nitrógeno, fósforo); de esta manera, lograr mejorar la movilización de nutrientes del suelo y de materia orgánica, aumentando la intensidad de captación, transporte de minerales y producción de vitaminas (Harman, 2004; Lisiecka, 2014; Dilnashin, 2020). En este mecanismo, las enzimas extracelulares degradan la pared celular de los hongos patógenos (Viterbo, 2002; Troian, 2014; Bech, 2015), especialmente quitinasas, lipasas, proteasas y glucanasas (Mohamed, 2010; Monteiro, 2010; Do Vale, 2012).

Trichoderma es ampliamente utilizado como biofertilizante en casi todos los cultivos, con o sin enmiendas. Se informó que *Trichoderma* que usó en la producción de vegetales y era más efectivo en el tomate: sin embargo, también se registró una respuesta positiva en otros cultivos como el cacahuate, el algodón, el trigo, el tabaco, la caña de azúcar, el plátano, los chiles, la papa, la soja, los cítricos, la coliflor, la cebolla y el girasol (Thapa, 2020).

Se han estudiado diversas cepas de *Trichoderma* por su potencial de antagonismo y micoparasitismo contra fitopatógenos, su capacidad para mejorar el crecimiento vegetal en condiciones de estrés y para incrementar el contenido de pigmentos en las plantas y su habilidad para potenciar la microbiota y la actividad enzimática del suelo (Chávez-Díaz, 2020).

4.2.2 Taxonomía

Dominio: Eukaryota

Reino: Fungi

División: Mycota

Subdivisión: Eumycota

Clase: Hyphomycetes

Orden: Moniliales

Familia: Moniliaceae

Género: *Trichoderma*

(Villegas, 2008).

4.2.3 Características Morfológicas de *Trichoderma*

Trichoderma (Ascomycota: Hypocreales) es un hongo cosmopolita que incluye a más de 100 especies presentes en diferentes zonas climáticas y se encuentra colonizando a una amplia gama de nichos, incluidas plantas vivas y muertas, suelo, sedimento, materia orgánica, tejido animal, entre otros. (Wang & Zhuang, 2020).

Trichoderma spp., poseen un metabolismo versátil que les da capacidad de controlar a diversos fitopatógenos debido principalmente a la producción de enzimas hidrolíticas, competencia por espacio y nutrientes, inducción de resistencia en el hospedero, antibiosis, micoparasitismo, entre otros (Gamarra MAF, 2017; Zhou Y, 2020). Dentro de las especies de *Trichoderma* más importantes como agentes de biocontrol hacia fitopatógenos se encuentran: *T. reesei*, *T. koningii*, *T. asperellum*, *T. viride*, *T. harzianum*, *T. aureoviride*, entre otros (Brito RAS, 2020; Alfiky A, 2021).

Alrededor del mundo, se desarrollan actividades agrícolas bajo climas desérticos con limitadas precipitaciones durante el año y temperaturas extremas con más de 40°C. Los suelos en las zonas semiáridas son comúnmente alcalinos con pobre materia orgánica (Yang H, 2019; Elnashar A, 2021), por lo tanto, las plantas agrícolas que crecen sobre estas condiciones necesitan de la aplicación de bioproductos que permitan lograr una mayor productividad y calidad de la cosecha, de tal manera que el estudio de *Trichoderma* spp., nativos de zonas desérticas son un importante recursos para la sostenibilidad de los cultivos agrícolas (Torres-De la Cruz M, 2015; JP., 2018).

En México, existen escasos estudios relacionados a la obtención de aislados nativos de aislamiento, identificación y caracterización de especies de *Trichoderma* como biocontroladores de zonas semiáridas hacia hongos fitopatógenos.

Trichoderma spp., tiene diversas ventajas como agente de control biológico, pues posee un rápido crecimiento y desarrollo. Aparte de esto produce una gran cantidad de enzimas, inducibles con la presencia de hongos fitopatógenos. Puede desarrollarse en una amplia gama de sustratos, lo cual facilita su producción masiva para uso en la agricultura. Su gran tolerancia a condiciones ambientales extremas y a hábitats donde los hongos causan enfermedades, le permiten ser un eficiente bio-agente de control. De igual forma, puede sobrevivir en medios con contenidos significativos de agrodefensivos y otros químicos. Aparte, su gran variabilidad se constituye en un reservorio de posibilidades de control biológico, bajo diferentes sistemas de producción y cultivo (Chiriboga P, Gómez, & Garcés, 2015).

4.2.4 Ciclo de vida

En el estadio temprano de *Trichoderma* el color del micelio es blanco y eventualmente desarrolla un color verde oscuro después de la esporulación. Las colonias de *Trichoderma* crecen y maduran rápidamente a los cinco días de incubación en medio de cultivo agar de dextrosa y papa (PDA) a 25°C. Las especies de este género generalmente prefieren un pH ácido de 4.5-5 y, además se desarrolla en áreas con un excesivo contenido de humedad y un estancamiento parasexual, mutación y otros procesos contribuyen a la variación entre los núcleos en un solo organismo (talo). Así, los hongos son altamente adaptables y evolucionan rápidamente. Hay una gran diversidad en genotipos y fenotipos de cepas silvestres (Rifai, 1969; Stamets y Chilton, 1983; Przybylowicz y Donogue, 1988; Vijay y Sohi, 1989; Pandey y Tewari, 1990).

El ciclo de vida de *Trichoderma* inicia cuando el organismo crece y se ramifica como una hifa fúngica típica que mide 5-10 μ de diámetro. La esporulación asexual ocurre cuando las esporas de 3-5 μ de diámetro son liberadas en un gran número. También se forman clamidosporas intercaladas, de forma individual, aunque a veces dos o más clamidosporas se pueden fusionar (Rifai, 1969; Seaby, 1987; Doyle; 1991, Seaby; 1996).

El tamaño de los conidióforos es de 62.5-69 x 3-4.7 μ m. los conidióforos son de color verde, presentan diversas ramificaciones perpendiculares, en algunos casos se observa la formación de ramas laterales en grupos de dos o tres, ubicadas en un

ángulo amplio. El sistema de ramificación tiene una apariencia piramidal. (Fig. 1-a, b). Las fiálides son largas y delgadas, solitarias a lo largo del eje, asimétricas, con un tamaño de 6.3-15 x 2.7-3.4 μm ., son verticilos terminales de hasta 4 conidios de un tamaño aproximado de 3.8-4 x 3-1-3.7 μm , con forma citriforme y subglobosos (Fig. 1-c, d). Sus clamidosporas son intercalares y formadas por el micelio sumergido, subglobosas, de pared dentada, color verde suave y un tamaño de 12.5-10 μm (Bissett, 1991; Hoog, 2000).

4.2.5 *Trichoderma* como biocontrolador de hongos Fitopatógenos

Es un hongo anaeróbico habitante natural del suelo, caracterizado por un comportamiento saprófito o parásito. Entre las especies más destacadas están *T. harzianum*, *T. viride*, *T. koningii*, y *T. hamatum*. El éxito de las cepas de *Trichoderma* como agentes de control biológico se debe a su alta capacidad reproductiva, habilidad para sobrevivir bajo condiciones ambientales desfavorables, eficiencia en la utilización de nutrientes, capacidad para modificar la rizósfera, fuerte agresividad contra hongos fitopatógenos y eficiencia en promoción del crecimiento en plantas e inducción de mecanismos de defensa.(S.C, 2001-2021).

4.2.6 Mecanismo de Acción de *Trichoderma*

En la acción biocontroladora de *Trichoderma* se han descrito diferentes mecanismos de acción que regulan el desarrollo de los hongos fitopatógenos. Entre estos, los principales son la competencia por espacio y nutrientes, el micoparasitismo y la antibiosis, los que tienen una acción directa frente al hongo fitopatógeno (N. L. , 2001).

Además se conoce que *Trichoderma* presenta otros mecanismos, cuya acción biorreguladora es de forma directa; entre estos se pueden mencionar los que elicitán o inducen mecanismos de defensa fisiológico y bioquímico como es la activación en la planta de compuestos relacionados con la resistencia (GE., 2004) con la detoxificación de toxinas excretadas por patógenos y la desactivación de enzimas de estos durante el proceso de infección, la solubilización de elementos nutritivos, que en su forma original no son accesibles para las plantas (G., 2003).

4.2.6.1 Competencia

La competencia constituye un mecanismo de antagonismo muy importante. Se define como el comportamiento desigual de dos o más organismos ante un mismo

requerimiento (sustrato, nutrientes), siempre y cuando a utilización de este por uno de los organismos reduzca la cantidad o espacio disponible para los demás. Este tipo de antagonismo se ve favorecido por las características del agente control biológico como plasticidad ecológica, velocidad de crecimiento y desarrollo, y por otro lado por factores externos como tipo de suelo, pH, temperatura, humedad, entre otros (Ahmad JS, 1987; Hjeljord L, 1998).

La presencia de forma natural de *Trichoderma* en diferentes suelos (agrícolas, forestales, en barbechos), se considera una evidencia de la plasticidad ecológica de este hongo y de su habilidad como excelente competidor por espacio y recursos nutricionales, aunque la competencia depende de la especie (GJ., 1996). *Trichoderma* está biológicamente adaptado para una colonización agresiva de los sustratos y en condiciones adversas para sobrevivir, fundamentalmente, en forma de clamidosporas. La alta velocidad de crecimiento, abundante esporulación y la amplia gama de sustratos sobre lo que puede crecer, debido a la riqueza de enzimas que posee, hacen que sea muy eficiente como saprófito y aún más como agente de control biológico (Hjeljord L, 1998; N. P. , 2004).

La competencia por nutrientes puede ser por nitrógeno, carbohidratos no estructurales (azúcares y polisacáridos como almidón, celulosa, quitina, laminarina, y pectinas, entre otros) (Eveleigh DE, 1986; Stefanova M, 1999), y microelementos. Esta forma de competencia en los suelos o sustratos ricos en nutrientes no tiene importancia desde el punto de vista práctico.

La competencia por sustrato o espacio depende de si el mismo está libre de patógenos (sustrato estéril) o si hay una micobiota natural. En el primer caso, la velocidad de crecimiento del antagonista no determina la colonización efectiva de los nichos, sino la aplicación uniforme del mismo en todo el sustrato. Sin embargo, en el segundo caso la velocidad de crecimiento, conjuntamente con otros de los mecanismos de acción del antagonista, es determinante en el biocontrol del patógeno y colonización del sustrato (Infante, Martínez, González, & Reyes, 2009).

4.2.6.2 Micoparasitismo

El micoparasitismo es definido como una simbiosis antagónica entre organismos, en el que generalmente están implicadas enzimas extracelulares tales como quitinasas, celulasas, y que se corresponden con la composición y estructura de las paredes celulares de los hongos parasitados (Melgarejo P, 1989; Lorito M, 1990; J., 1994; CJ., 1996).

Las especies de *Trichoderma* durante el proceso de micoparasitismo crecen quimiotrópicamente hacia el hospedante, se adhieren a las hifas del mismo, se enrollan en ellas frecuentemente y las penetran en ocasiones. La degradación de las paredes celulares del hospedante se observa en los estados tardíos del proceso parasítico (Carsolio Carolina, 1999) que conlleva al debilitamiento casi total del fitopatógeno.

El micoparasitismo como mecanismo de acción antagónica en *Trichoderma* spp. Ha sido ampliamente estudiado, Chet et al. 1998; N. P. , 2004). No obstante, existen aspectos en el mismo que no están totalmente esclarecidos. Este es un proceso complejo que para su estudio se ha separado en cuatro etapas. El desarrollo de cada etapa depende de los hongos involucrados, de la acción biotrófica o necrotrófica del antagonista y de las condiciones ambientales (Chet I B. S., 1998). Chet y Bemhamou, explican detalladamente cada una de estas etapas, para el caso de las especies de *Trichoderma*.

Crecimiento quimiotrófico: el quimiotropismo positivo es el crecimiento directo hacia un estímulo químico (Chet I I. J., 1994). En la etapa de la localización del hospedante, se ha demostrado que *Trichoderma* puede detectarlo a distancia y sus hifas crecen en dirección del patógeno como respuesta a un estímulo químico.

Reconocimiento: Se ha demostrado que un número considerable de cepas de *Trichoderma* y de especies de hongos fitopatógenos son efectivas sólo contra patógenos específicos. El conocimiento de esta especificidad condujo a la idea de que el reconocimiento molecular entre *Trichoderma* y el hospedante es el evento esencial que precede al proceso antagonista (Chet I B. S., 1998).

El reconocimiento se realiza a través de interacciones lectinas-carbohidratos. Las lectinas son proteínas enlazadas a azúcares o glicoproteínas, las cuales aglutinan

células y están involucradas en las interacciones entre los componentes de la superficie de las células y su ambiente extracelular, dicho esto por Barondes (1981) (Chet I B. S., 1998). La producción de lectinas se ha investigado en *R. solani* y *S. rolfsii*. En todos los casos se encontraron evidencias directas, de que las lectinas están involucradas en el micoparasitismo (Chet I I. J., 1994; N. P. , 2004).

Adhesión y enrollamiento: Cuando la respuesta de reconocimiento es positiva, las hifas de *Trichoderma* se adhieren a las del hospedante mediante la formación de estructuras parecidas a ganchos y apresorios, se enrollan alrededor de estas, todo esto está mediado por procesos enzimáticos (N. P. , 2004). Según Chet y Elad, 1983; Martínez B F. L., 1994), la adherencia de las hifas de *Trichoderma* ocurre gracias a la asociación de un azúcar de la pared del antagonista con una lectina presente en la pared del patógeno.

Actividad lítica: En esta etapa ocurre la producción de enzimas líticas extracelulares, fundamentalmente quitinasas, glucanasas y proteasas, que degradan las paredes celulares del hospedante y posibilitan la penetración de las hifas del antagonista (Haram S, 1996). Por los puntos de contacto donde se produce la lisis y aparecen los orificios, penetra la hifa del micoparásito en las del hongo hospedante.

Las especies de *Trichoderma* tienen un elevado potencial parasítico, con una actividad metabólica muy particular, que les permite parasitar eficientemente las estructuras fúngicas de los hongos (Sandoval Ileana, 2002).

Trichoderma excreta muchos metabolitos dentro de ellos enzimas (celulasas, glucanasas, lipasas, proteasas y quitinasas) que participan en la lisis de la pared celular de las hifas del hospedante, facilitando la inserción de estructuras especializadas y de hifas de *Trichoderma*, que absorben nutrientes del interior del hongo fitopatógeno Misaghi (1984), (Eveleigh DE, 1986; Adams, 1990; J., 1994), plantearon que el micoparasitismo finalmente termina con la pérdida del contenido citoplasmático de la célula del hospedante. El citoplasma restante está principalmente rodeando las hifas invasoras, mostrando síntomas de disgregación, lo que disminuye la actividad patogénica del mismo.

Desde el punto de vista práctico las enzimas se tienen en cuenta como criterio en la selección de aislamientos. Elad et al, (Elad Y, 1983), encontraron que los aislamientos de *Trichoderma* eficaces en el control de patógenos vegetales eran capaces de producir glucanasas, quitinasas y proteasas, por lo que recomienda que los aislamientos de *Trichoderma* spp., pueden ser seleccionados como agentes de control biológico en base a su capacidad de producir α -1,3-D glucanasa y quitinasa en presencia de glucano y quitina, respectivamente.

Diferentes autores han informado para *Trichoderma* diferentes tipos de interacción hifal como parasitismo, considerándolos una potencialidad para su uso como biorreguladores de hongos del suelo (Bernal A, 2004; FJ., 1997), encontró enrollamiento y penetración de hifas de *Trichoderma* en hifas de *F. oxysporum* f. sp. *Cubense*.

4.2.6.3 Antibiosis (volátiles y no volátiles)

La antibiosis es la acción directa de antibióticos o metabolitos tóxicos producidos por un microorganismo sobre todo sensible a estos. Algunos autores opinan que la antibiosis no debe ser el principal mecanismo de acción de un antagonista, ya que existe el riesgo de aparición de cepas del patógeno resistentes al antibiótico (Vero SM, 1999).

Muchas cepas de *Trichoderma* producen metabolitos secundarios volátiles y no volátiles, algunos de los cuales inhiben el desarrollo de otros microorganismos con los que no hacen contacto físico. Tales sustancias inhibitoras son consideradas “antibióticos” (Hjeljord L, 1998).

Al inicio se estimó que la actividad inhibitora de aislamientos de *Trichoderma* sobre otros hongos se debía solo a compuestos no volátiles. En investigaciones posteriores Webster y Lomas, 1964; J., 1994), determinaron que *Trichoderma* sp. Produce dos antibióticos más: gliotoxina y viridina. Más tarde Oliver y Germain (T., 1998), informaron que *T. harzianum* Rifai produce numerosos antibióticos como son: trichodermina, suzukacilina, alameticina, dermadina, trichotecenos y trichorzianina.

Posteriormente, Denis y Webster, (Dennis L, 1971), detectaron que la actividad antibiótica de algunos aislamientos se debía también a la producción de compuestos

volátiles, y notaron que los aislamientos más activos poseían un fuerte olor a coco, posiblemente relacionado con la actividad antagonista. Los antibióticos volátiles tienen un efecto esencialmente fungistático, debilitando al patógeno y lo hacen más sensible a los antibióticos no volátiles, lo que se conoce como un “hiperparasitismo” de origen enzimático (Martínez B F. L., 1994).

Stefanova (Stefanova M, 1999), informó la presencia de metabolitos no volátiles con actividad antifúngica en cuatro aislamientos de *Trichoderma* y concluyeron que los mismos reducen el crecimiento micelial de *Phytophthora nicotianae* Breda de Haan y *R. solani* en medios de cultivo envenenado con filtrados líquidos donde se habían cultivado las cepas antagónicas. Plantean además, que al parece estos causan a nivel celular: vacuolización, granulación, coagulación, desintegración y lisis. Por otro método, Rivero (Deyanira., 2008), evaluaron el efecto de antibiosis de dos aislados de *Trichoderma* en cultivo dual con *A. padwickii*, *B. oryzae*, *C. lunata* y *Phoma* sp., obteniendo inhibición significativa del crecimiento radial de estos patógenos.

Alunas de las enzimas no solo intervienen en el proceso de penetración y lisis, sino que actúan también como antibióticos, tal es el caso de la enzima endoquitinasa (Ech42) que causa hidrólisis en las paredes de *B. cinérea*, y además inhibe la germinación de conidios y el crecimiento de tubos germinativos de varios hongos (Carsolio, 1999).

No obstante, la máxima eficacia pudiera lograrse con el sistema enzimático completo (Lorito M, 1990), inclusive la selección tiene que ser más integral, donde intervengan diferentes modos de acción. Por ejemplo, Martínez (Martínez B R. Y., 2008), observaron al evaluar 59 aislamientos de *Trichoderma* competencia por el sustrato, micoparasitismo y antibiosis. En casi todos los aislamientos determinaron al menos un tiempo de interacción hifal bien definida, y algunos de ellos presentaron hasta cuatro tipos de interacción sobre *R. solani*. Esto favorece el control por un lado y disminuye la posibilidad de que surja resistencia en el patógeno al antagonista (Vero SM, 1999).

4.2.6.4 Inducción de resistencia

Se ha demostrado que la rotación de cultivos, el mejoramiento de variedades resistentes y la aplicación de plaguicidas son insuficientes para controlar algunas

enfermedades importantes en cultivos (Choudhary, Prakash, & Johri, 2007). La inducción de resistencia surge como una herramienta para agregar en este escenario. La noción de que las plantas pueden defenderse activamente y tener su resistencia inducida contra fitopatógenos se conoce desde hace más de 100 años (Hammerschmid, 2007). Según Choudhary, la inducción de resistencia es un “estado fisiológico de aumento de la capacidad de defensa”, activado por estímulo específicos, a través del cual se potencia la defensa innata de la planta frente a desafíos bióticos (Pascholati & Dalio, 2018).

4.3 *Colletotrichum acutatum*

4.3.1 Taxonomía

Reino: Fungi

División: Eumycota

Phyllum: *Ascomycota*

Subdivisión: Deuteromycotina

Clase: *Hypocreomycetidae*

Familia: *Glomerellaceae*

Género: *Colletotrichum*

(Augusto, 2019).

4.3.2 Características morfológicas de *Colletotrichum acutatum*

Ésta se debe establecer según el cultivo. En general se definen colonias de *C. acutatum* como colonias con una menor tasa de crecimiento, de color blanco o naranja claro y algunas cromogénicas.

La variabilidad en la morfología de las colonias provenientes de todos los cultivos analizados fue alta y en muchos casos el mismo aislamiento cambió su morfología al pasarlo a un medio de cultivo nuevo o al envejecer (Barquero Quirós, 2013).

4.3.3 Importancia de *Colletotrichum acutatum* en la agricultura

Colletotrichum acutatum es una enfermedad que se manifiesta en los pétalos de las flores en forma de manchas de color marrón, sobre las cuales crecen las

fructificaciones del hongo en forma de acérvulos de color anaranjado, muy vivos. Normalmente, esta enfermedad causa lesiones solamente en flores abiertas, pero, si las condiciones son muy favorables, también pueden afectar las flores en botón e incluso en cabeza de alfiler. Después del ataque, los pétalos se secan y se quedan pegados a la inflorescencia. Los frutos se caen, el pedúnculo y el cáliz se quedan adheridos al tallo. Estas estructuras se llaman comúnmente; botones o estrellas. La antracnosis es la púnica enfermedad que produce estos botones y, por tanto, estos son muy útiles para diagnosticar el problema. Cuando hay un ataque severo de la enfermedad, las hojas alrededor de la inflorescencia están deformadas, torcidas y con las nervaduras agrandadas (Invesa, 2024).

Colletotrichum acutatum es una enfermedad de importancia económica en la producción de cítricos en el trópico y subtropico a nivel mundial, ya que afecta directamente a las flores y produce la caída de frutos, y por ende su calidad y su comercialización. *C. acutatum* es responsable de reducir el rendimiento de la producción en un 49% y se han reportado pérdidas de más del 70% de la producción. En zonas con epidemias severas durante la floración pueden perder hasta el 100% de la producción.

4.3.4 Importancia de *Colletotrichum acutatum* en cítricos

La enfermedad conocida como antracnosis es causada por el hongo *Colletotrichum* spp., esta se presenta de manera constante en cultivos de cítricos, es considerada una de las enfermedades más importantes, ya que afecta diferentes partes vegetativas en la planta, como son: ramas jóvenes, hojas, flores y frutos (James et al., 2014; Mayorquín et al., 2019). La antracnosis es una enfermedad que se encuentra presente en los cultivos de cítricos en el mundo. En México se encuentra presente en los estados productores de cítricos, y estos llegan a verse afectados en un 100% en la producción cuando las condiciones del ambiente son favorables para el patógeno, afectando distintas partes vegetativas en diferentes etapas fenológicas (Timmer et al., 2015; De Silva et al., 2017; Rojo et al., 2017; Mayorquín et al., 2019)

4.3.5 Ciclo de vida

La temperatura óptima de crecimiento y esporulación de *Colletotrichum* es de 26°C-32°C (23). Son extremadamente sensibles a la humedad relativa, requiriendo

condiciones entre 99% y 100%. El ciclo de vida de las especies de *Colletotrichum* comprende una fase sexual y asexual. En términos generales la sexual proporciona la variabilidad genética, y el estadio asexual es el responsable de la dispersión del hongo. El género *Colletotrichum* abarca numerosas especies, y el criterio de clasificación está basado en la planta hospedera y sus características (Beltrán Cifuentes, 2006).

4.3.6 Formas de control

El control de enfermedades producidas por *Colletotrichum* depende principalmente de prácticas culturales tales como el uso de semillas libres de enfermedad, rotación de cultivos, variedades vegetales resistentes, remoción de ramas muertas y frutos infectados; tratamiento físico (ejemplo: tratamiento hidrotérmico, ozono y atmósferas modificadas en frutos); control químico (fungicidas) biológico (extractos de plantas, microorganismos antagonistas). (S., 2011; Landero-Valenzuela N, 2016).

Biológico. El control biológico de antracnosis ha sido reportado en manzanas (Janisiewicz, Leverentz, Conway, Saftner, & Reed, 2003) papaya (Gamagae & Sivakumar, 2004), aguacate (Korsten, De Jager, De Villiers, Lourens, & Kotzé, 1995) y mango (Carrillo, y otros, 2005) La mayor parte de los experimentos de control biológicos en enfermedades poscosecha se han realizado aplicando los antagonistas en condiciones controladas de humedad y temperatura.

Pocos trabajos se han realizado con aplicación de microorganismos en condiciones de campo, en donde la efectividad de los antagonistas es afectada por otros factores, como cambios de temperatura, humedad, luz ultravioleta e interacción con otros microorganismos. (Ippolito, 2000) Afirma que la aplicación en campo de los agentes de control biológico puede propiciar la colonización de la superficie del fruto y prevenir el establecimiento de infecciones latentes en los frutos de la huerta productora.

Bioracional. Son definidos como sustancias producidas por microorganismos, plantas o minerales, que se descomponen en pocas horas después de aplicarlos y son específicos para el organismo que se desea controlar (O'Farrill, 2008).

Respecto al uso de plantas con propiedades antimicrobiales (Lara, y otros, 2014), encontraron que los glucosinolatos aislados de floretes de brócoli a concentraciones de 1.54 y 0.92 $\mu\text{g}/\mu\text{L}^{-1}$ inhibieron en su totalidad la germinación de esporas de

Colletotrichum gloesporoides aislado de mango. Extracto de raíces de *Gliricida sepium* contra *C. gloesporoides* fue aprobado reduciendo la severidad de la antracnosis 94% sobre frutos de papaya Hawaiana en poscosecha, mientras que el testigo químico la redujo 84% (Loaiza, 2000). Otro extracto que se ha utilizado para el control de *C. gloesporoides* en papaya en poscosecha es de semilla de este mismo fruto, solo y mezclado con quitosano, inhibiendo este último el crecimiento micelial de *C. gloesporoides* a concentraciones de 2.5 y 3%. Los resultados *in vivo* demostraron que a una concentración de 1.5% de quitosano, la severidad fue de 1% (Bautista-Baños, Hernández-López, & Bosquez-Molina, 2003).

Otro de los bioracionales a utilizar son los aceites esenciales de diversas especies de plantas con propiedades antimicrobiales, estos afectan el desarrollo de hongos tanto *in vitro* como *in vivo* de productos hortícolas (Molina, Ronquillo, Bautista, R., & Verde, 2010).

5. Materiales y Métodos

5.1 Localización del área de estudio

El experimento se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en el Departamento de Horticultura, con la latitud y longitud de 25.35581126329863, -101.03525159884416. Con 1,600 msnm, con un clima templado semiseco, en laderas altas y cumbres, más allá de los 2,000 msnm, su precipitación anual, cercana a los 500 mm, logra una mayor eficiencia en cuanto a humedad, con temperaturas medias anuales entre 16 y 18°C, lo que favorece la presencia de dichos tipos de vegetación natural.



Imagen 7. Ubicación geográfica del área de estudio, en Saltillo, Coahuila, México

5.2 Material Fúngico

5.2.1 Aislamiento e identificación de *Colletotrichum acutatum*

Se colectaron muestras de tejido (hojas, ramas, flores y frutos) aleatoriamente de limón Persa con presencia de síntomas de antracnosis. Para el aislamiento de los hongos, los fragmentos de tejido fueron desinfectados con hipoclorito de sodio al 2% durante 2 min, lavados 3 veces con agua destilada estéril y secados a temperatura ambiente. Los fragmentos de tejido vegetal fueron depositados en medio Agar Dextrosa y Papa (Bioxon, PDA, 39 g L⁻¹ de agua), con cuatro fragmentos por caja de Petri e incubados a 28°C (Oliveria et al., 2005). Los aislamientos obtenidos se purificaron mediante cultivos monospóricos en medio PDA.

5.2.2 Aislamiento e identificación de las cepas de *Trichoderma*

Aislamiento de zonas áridas. Los antagonistas se aislaron de muestras de suelo de una región semiárida en Coahuila, Saltillo, tomadas al azar a una profundidad de 30 cm. De cada muestra de suelo se agregó 1 g en 9 mL de agua destilada estéril, que posteriormente se diluyó hasta 10⁵. De cada dilución se tomó una alícuota de 15 µL que se sembró en medio PDA (Bioxon, Papa Dextrosa Agar, 39 g L⁻¹ de agua) y se incubó a 28°C durante 2 días. Posteriormente se observó el crecimiento de *Trichoderma* en las cajas de Petri, y se purificó sembrando en nuevas cajas de Petri con PDA. Finalmente se llevó a cabo una selección de cepas más agresivas,

enfrentándolas directamente a *C. acutatum* en cajas de Petri con medio de cultivo PDA.

Las cepas de *Trichoderma asperellum* (CD-AR-2024A° y CD-AR-2024+) fueron proporcionadas por el INIFAP Campus Experimental Valle del Guadiana. Las cuales fueron aisladas de suelos de esa región, en el estado de Durango.

5.3 Bioensayos *in vitro*

El diseño experimental fue completo al azar, se consideraron cuatro repeticiones, cada caja de Petri fue una repetición. El número de tratamientos estuvo sujeto al número de cepas con mayor antagonismo.

Cuadro 4. Tratamientos llevados a cabo.

No. De Tratamientos	Tratamiento	Repeticiones
T1	CD-AR-2024A°	4
T2	CD-AR-2024+	4
T3	CCH-SH-2024	4
T4	CCH-SS-2024	4
Testigo	Testigo absoluto	4

CD-AR-2024^{a°}= Cepa de *Trichoderma* aislada de suelo de zona árida de Durango, México. CD-AR-2024+= Cepa de *Trichoderma* aislada de zona árida del estado de Durango, México. CCH-SH-2024= Cepa de *Trichoderma* aislada de suelo de zona semiárida en Saltillo, Coahuila, cultivo de chile en suelo húmedo. CCH-SS-2024= Cepa de *Trichoderma* aislada de suelo de zona semiárida en Saltillo, Coahuila, (UAAAN), suelo seco donde se encontraba establecido un cultivo de chile.

5.3.1 Mecanismos de acción de aislamiento de *Trichoderma*

Competencia por espacio. Para evaluar la capacidad antagónica o antagonismo de aislamientos de zonas semiáridas de *Trichoderma* spp., se utilizó la técnica de Cherif y Benhamou (1990), y cada tratamiento se depositó en un extremo de cajas Petri con PDA, un disco de 5 mm de diámetro con micelio activo de colonias fungosas de 8 días de edad de *Colletotrichum acutatum*, se dejó desarrollar durante 3 días por su

crecimiento lento. Posteriormente, en el otro extremo de la caja se depositaron discos de 5 mm de *Trichoderma* spp. luego se incubaron a $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ por 5-6 días en oscuridad y luego, 4 días con luz de día en una incubadora. Se midió cada 24 h el crecimiento radial del micelio de la colonia de los hongos (Landeró, 2023).

Para poner en evidencia si *T. longibrachiatum* tiene la habilidad de producir las enzimas hidrolíticas implicadas en la degradación de la pared celular de fitopatógenos, se evaluó la producción de proteasas, β -1, 3-glucanasas y de quitinasas en medios de cultivos líquidos. Se muestreó 5 ml de cada matraz cada 24 h por 4 días (Sánchez, González, Córdova, & Samuels).

Antibiosis. Para evaluar la inhibición de las cepas de hongos fitopatógenos por el efecto de metabolitos solubles producidos por las cepas nativas y no nativas de *Trichoderma*, se utilizó la metodología sugerida por Dennis y Webster (1971). La cual consistió en utilizar celofán como medio filtrante de metabolitos al medio de cultivo (PDA), para ello se colocó celofán estéril (uso de UV) sobre el medio de cultivo, en el centro se dispuso un disco de 5 mm de hongo *Trichoderma* con 10 días de incubación, se ingresó a incubadora a 28°C por un lapso de 2 a 3 días (12 horas luz y 12 horas de oscuridad), pasado el tiempo se retiró el celofán que se colocó con cuidado, para evitar que las esporas se mezclen con PDA, una vez que se retiró el celofán se colocó en el centro del medio de cultivo un disco de 5 mm de hongo fitopatógeno, se llevó a incubar a 28°C , se realizaron mediciones diámetro de *Trichoderma*. Cada tratamiento tuvo 4 repeticiones. (Landeró, 2023).

Metabolitos Volátiles. Para evaluar la inhibición de las cepas de hongos fitopatógenos por el efecto de metabolitos volátiles producidos por las cepas nativas y no nativas de *Trichoderma*, se utilizó la metodología sugerida por Dennis & Webster (1971). Para esta técnica se utilizaron dos placas de Petri con medio de cultivo (sin las tapas) una sobre la otra (medio de cultivo queda al interior), se sella con película plástica para evitar la contaminación. Para evaluar el porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PICR) de los hongos fitopatógenos se utilizó la fórmula de Ezziyyani (2004) $\text{PICR} = (R1-R2)/R1*100$, donde: R1=radio mayor (patógeno testigo; R2=radio menor (patógeno en enfrentamiento) (Landeró, 2023).

5.4 Análisis estadísticos

El diseño fue completamente al azar, con cuatro repeticiones. Para el análisis estadístico, se comprobó que los datos fueran normales a través de la prueba de Shapiro Wilk. Todos los datos fueron analizados a través del programa SAS versión 9.0 (SAS, 1987), las medias fueron comparadas empleando la prueba Tukey ($p < 0.05$); para el análisis de los datos se hicieron ANOVAS.

6. Resultados y Discusiones

6.1 Actividad antagónica por parasitismo *in vitro* de cepas de *Trichoderma* aisladas de zonas semiáridas y áridas

6.1.1 Colonización

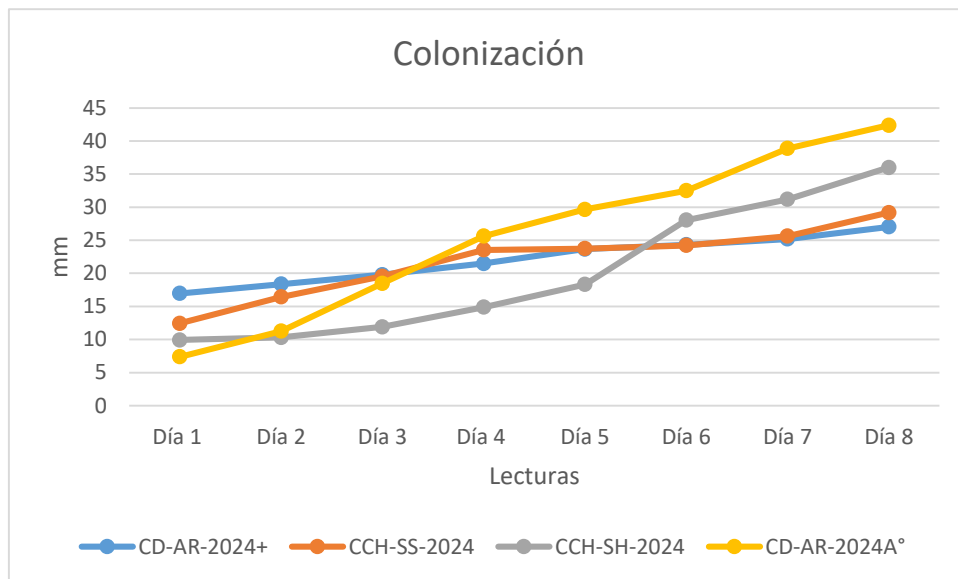
La colonización de *Trichoderma* sobre *C. acutatum* a través del periodo de evaluación fue diferente de acuerdo al día y tratamientos evaluados. La cepa que mostró la mayor colonización sobre el patógeno fue CD-AR-2024A° con una máxima de 42.38 mm en el último día de evaluación (Cuadro 5), lo que equivale al total del crecimiento del patógeno en la caja de Petri. Estos resultados son similares a los reportados por Aybar y colaboradores (2024), quienes confrontaron diversas especies de *Trichoderma* con *Colletotrichum gloeosporioides* aislado de maracuyá, y encontraron que todas las cepas del hongo benéfico sobrecrecieron al patógeno, estos resultados demuestran que el género *Trichoderma* tiene una alta capacidad para parasitar a *Colletotrichum*.

Cuadro 5. Colonización de diferentes cepas de *Trichoderma* spp sobre *Colletotrichum acutatum* SGO aislado de flores de limón Persa.

Tratamiento	Medias de Colonización (mm)			
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
CD-AR-2024+	16.97 a	18.36 a	19.8 a	21.49 a
CCH-SS-2024	12.44 abc	16.44 ab	19.55 a	23.54 a
CCH-SH-2024	9.94 bc	10.31 b	11.90 a	14.88 a
CD-AR-2024A°	7.40 c	11.25 b	18.48 a	25.63 a
P	0.001	0.004	0.171	0.082

Tratamiento	Medias de Colonización (mm)			
	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
CD-AR-2024+	23.67 ab	24.33 a	25.19 b	27.03 b
CCH-SS-2024	23.74 ab	24.21 a	25.62 b	29.17 ab
CCH-SH-2024	18.32 b	28.03 a	36.01 ab	31.17 ab
CD-AR-2024A°	29.67 ab	32.50 a	38.88 a	42.38 a
P	0.018	0.047	0.011	0.001

Letras iguales indican que no hay diferencia estadística entre tratamientos ($P=0.05$). CD-AR-.2024A°= Cepa de *Trichoderma* aislada de suelo de zona árida de Durango, México. CCH-SS-2024= Cepa de *Trichoderma* aislada de suelo de zona semiárida en Saltillo, Coahuila (UAAAN), suelo seco donde se encontraba establecido un cultivo de chile. CCH-SH2024= Cepa de *Trichoderma* aislada de suelo de zona semiárida en Saltillo, Coahuila, cultivo de chile con suelo húmedo. CD-AR-2024+= Cepa de *Trichoderma* aislada de zona árida en el Estado de Durango, México. Para mayor comprensión los datos se integraron en mm y no en porcentaje.



Gráfica 1. Colonización por diferentes cepas de *Trichoderma* sobre *Colletotrichum acutatum* por lectura tomada. Letras iguales indican que no hay diferencia estadística entre tratamientos ($P=0.05$). CD-AR-.2024A°= Cepa de *Trichoderma* aislada de suelo de zona árida de Durango, México. CCH-SS-2024= Cepa de *Trichoderma* aislada de suelo de zona semiárida en Saltillo, Coahuila (UAAAN), suelo seco donde se encontraba establecido un cultivo de chile. CCH-SH2024= Cepa de *Trichoderma* aislada de suelo de zona semiárida en Saltillo, Coahuila, cultivo de chile con suelo húmedo. CD-AR-2024+= Cepa de *Trichoderma* aislada de zona árida en el Estado de Durango, México.

Las diferencias estadísticas durante la mayoría de los días evaluados indica la diversidad en el potencial de colonización de cada una de las cepas evaluadas. Todos los tratamientos en diferente grado mostraron el mecanismo de antagonismo de competencia por espacio, destacando CD-AR-2024A° y CD-AR-2024+ por su colonización total.

Cuadro 6. Área bajo la curva de la colonización de diferentes cepas de *Trichoderma* sobre *Colletotrichum acutatum* aislado de tejido de flores de limón Persa.

ÁREA BAJO LA CURVA	
Tratamientos	Valores del área bajo la curva por tratamiento
CD-AR-2024A°	181.2850 a
CD-AR-2024+	154.7800 a
CCH-SS-2024	153.9050 a
CCH-SH-2024	139.9983 a
P	0.0648

Letras iguales indican que no hay diferencia estadística entre tratamientos ($P=0.05$). CD-AR-.2024A°= Cepa de *Trichoderma asperellum* aislada de suelo de zona árida de Durango, México. CCH-SS-2024= Cepa de *Trichoderma* aislada de suelo de zona semiárida en Saltillo, Coahuila (UAAAN), suelo seco donde se encontraba establecido un cultivo de chile. CCH-SH2024= Cepa de *Trichoderma* aislada de suelo de zona semiárida en Saltillo, Coahuila, cultivo de chile con suelo húmedo. CD-AR-2024+= Cepa de *Trichoderma asperellum* aislada de zona árida en el Estado de Durango, México.

El área bajo la curva demuestra que la cepa CD-AR-2024 A° tiene tendencia hacia una mayor colonización sobre el hongo patógeno (Cuadro 6). El menor crecimiento sobre el patógeno lo muestra la cepa CCH-SH-2024. Aún cuando durante cinco días se presentó diferencia estadística entre las diferentes cepas, el ABC (área bajo la curva) no denota diferencia estadística.

6.1.2 Porcentaje de inhibición del crecimiento de *Colletotrichum*

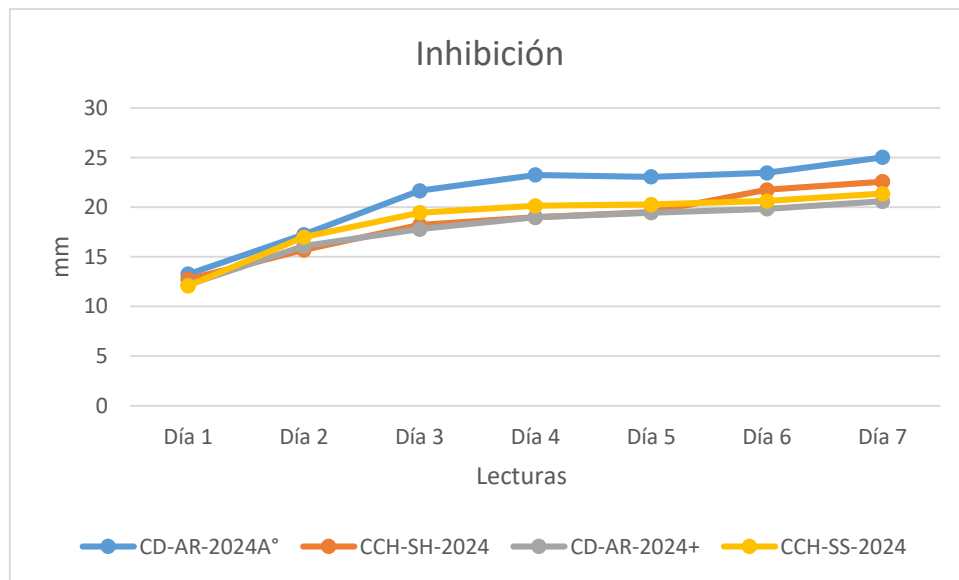
La inhibición de *Trichoderma* sobre *C. acutatum* a través del tiempo de evaluación demostró diferencias en casi todos los días y tratamientos evaluados, en los primeros tres días no hubo diferencia, lo que indica que *Trichoderma* no ejerció inhibición sobre el patógeno, a medida que el tiempo fue pasando este comportamiento cambió, observándose diferente inhibición de acuerdo a la cepa evaluada. La cepa que mostró una mayor inhibición fue CD-AR-2024+ con hasta el 43.71% el sexto día de evaluación (Cuadro 7). En cambio, de forma contraria la cepa que inhibió menos a *C. acutatum* fue CD-AR-2024A° con menos del 34% el sexto día, el resto de las cepas tuvieron comportamientos similares de crecimiento entre ellas durante todo el experimento (Cuadro 7). Resultados contrarios fueron obtenidos por Peláez et al. (2016), quienes encontraron que *T. asperellum* sobre *C. gloeosporioides* tuvo una inhibición hasta del 91%, esto indica la gran diversidad genética presentada dentro de la misma especie, ya que CD-AR-2024A° y CD-AR-2024+ han sido identificadas molecularmente como *T. asperellum*. En otro estudio, la inhibición de *Colletotrichum* spp. fue más del 80% (Infante y Martínez, 2020), coincidiendo con lo encontrado por Peláez et al. (2016).

Cuadro 7. Inhibición de diferentes cepas de *Trichoderma* spp sobre *C. acutatum* SGO aislado de flores de limón Persa.

Tratamiento	Medidas de Inhibición			
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
CD-AR-2024A°	11.56 a	16.29 a	21.67 a	23.48 b
CCH-SH-2024	15.03 a	23.81 a	29.88 a	37.55 a
CD-AR-2024+	18.78 a	21.91 a	31.48 a	37.50 a
CCH-SS-2024	19.45 a	17.56 a	25.08 a	33.72 ab
P	0.949	0.592	0.148	0.016

Tratamiento	Medidas de Inhibición		
	Día 5	Día 6	Día 7
CD-AR-2024A°	32.53 b	33.45 b	29.31 c
CCH-SH-2024	42.96 a	38.27 b	36.25 b
CD-AR-2024+	43.09 a	43.71 a	41.82 a
CCH-SS-2024	40.70 a	41.50 a	39.64 b
P	0.003	0.004	0.004

Letras diferentes indican que si hubo diferencia estadística entre los tratamientos realizados ($P=0.05$). CD-AR-2024+= Cepa de *Trichoderma asperellum* aislada de zona árida en el Estado de Durango, México. CCH-SS-2024= Cepa de *Trichoderma* aislada de suelo de zona semiárida en Saltillo, Coahuila (UAAAN), suelo seco donde se encontraba establecido un cultivo de chile. CCH-SH-2024= Cepa de *Trichoderma* aislada de suelo de zona semiárida en Saltillo, Coahuila, cultivo de chile con suelo húmedo. CD-AR-2024A°= Cepa de *Trichoderma asperellum* aislada de suelo de zona árida de Durango, México.



Gráfica 2. Inhibición por diferentes cepas de *Trichoderma* sobre *Colletotrichum acutatum* por lectura tomada. Letras diferentes nos indican que si hay diferencias estadística entre tratamientos. CD-AR-2024+= Cepa de *Trichoderma asperellum* aislada de zona árida en el Estado de Durango, México. CCH-SS-2024= Cepa de *Trichoderma* aislada de suelo de zona semiárida en Saltillo, Coahuila (UAAAN), suelo seco donde se encontraba establecido un cultivo de chile. CCH-SH-2024= Cepa de *Trichoderma* aislada de suelo de zona semiárida en Saltillo, Coahuila, cultivo de chile con suelo húmedo. CD-AR-2024A°= Cepa de *Trichoderma asperellum* aislada de suelo de zona árida de Durango, México.

Las diferencias estadísticas presentadas durante siete días, indican la diferencia en el potencial de inhibición de cada una de las cepas evaluadas. Cada uno de los

tratamientos en diferente porcentaje mostraron un mecanismo de inhibición por competencia de espacio, siendo destacada la cepa CD-AR-2024+, por su rápida y mayor inhibición en dicho experimento.

Cuadro 8. Área bajo la curva de la inhibición de *Colletotrichum acutatum* aislado de tejido de flores de limón Persa, por *Trichoderma* spp.

ÁREA BAJO LA CURVA	
Tratamientos	Valores del área bajo la curva por tratamiento
CD-AR-2024+	127.8662 a
CCH-SS-2024	114.235 a
CCH-SH-2024	111.8313 ab
CD-AR-2024°	108.5888 b
P	0.0289

Letras diferentes nos indican que hay diferencia estadística entre tratamientos (P=0.05). CD-AR-2024= Cepa de *Trichoderma* aislada de zona árida en el Estado de Durango, México. CCH-SS-2024= Cepa de *Trichoderma* aislada de suelo de zona semiárida en Saltillo, Coahuila (UAAAN), suelo seco donde se encontraba establecido un cultivo de chile. CCH-SH-2024= Cepa de *Trichoderma* aislada de suelo de zona semiárida en Saltillo, Coahuila, cultivo de chile con suelo húmedo. CD-AR-2024A°= Cepa de *Trichoderma* aislada de suelo de zona árida de Durango, México.

El área bajo la curva muestra que la cepa CD-AR-2024+ tiene inclinación a una mayor inhibición sobre el hongo patógeno (Cuadro 8), manifestándose la diferencia estadística con otros tratamientos. La cepa que mostró la menor inhibición de *Colletotrichum* fue la cepa CD-AR-2024°. Después de evaluar en área bajo la curva de cada tratamiento (ABC) se confirman los resultados obtenidos en el Cuadro 8.

6.2 Actividad antagónica por antibiosis (metabolitos volátiles y no volátiles)

6.2.1 Porcentaje de inhibición de crecimiento de *Colletotrichum* por metabolitos no volátiles

El crecimiento del patógeno debido a la presencia de metabolitos no volátiles de *Trichoderma* sobre *C. acutatum* a través de los días evaluados demostró diferencia estadística entre tratamientos. Para esta variable, las cepas con las que se observó el

mayor efecto sobre el patógeno fueron CD-AR-2024+ y CD-AR-2024A° (Cuadro 9), presentando diferencias estadísticas principalmente con el testigo. Contrario a este resultado, las cepas que mostraron el menor efecto sobre *Colletotrichum* debido a los metabolitos no volátiles fueron CCH-SS-2024 y CCH-SH-2024, cabe destacar que ambas cepas fueron aislada de suelos obtenidos de los alrededores de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, y aunque la región es semi árida, la región de origen de las cepas con el mayor crecimiento es aún más árida, lo cual puede contribuir a un comportamiento diferente en la síntesis de metabolitos secundarios por parte de *Trichoderma*. Se ha encontrado que los metabolitos no volátiles de *Trichoderma* sobre *Rhizoctonia solani* solo han tenido un control de apenas el 9.4%; sin embargo, cuando se evaluó a *Trichoderma asperellum* en el mismo estudio, los resultados de control fueron mayores (Hernández, 2016). Hay que señalar que en esta variable la cepa CD-AR-2024A° tuvo resultados similares a CD-AR-2024+; sin embargo, en la variable de Inhibición descrita en la sección anterior fue la que menor efecto mostró, lo cual indica que su crecimiento sobre el patógeno es lento, pero sintetiza metabolitos secundarios más efectivos. Aún más notable es el hecho de que la cepa CD-AR-2024+ además de tener un crecimiento rápido comparado con las otras cepas evaluadas, también sintetiza metabolitos efectivos en contra de *Colletotrichum acutatum* (Cuadro 8 y Cuadro 9).

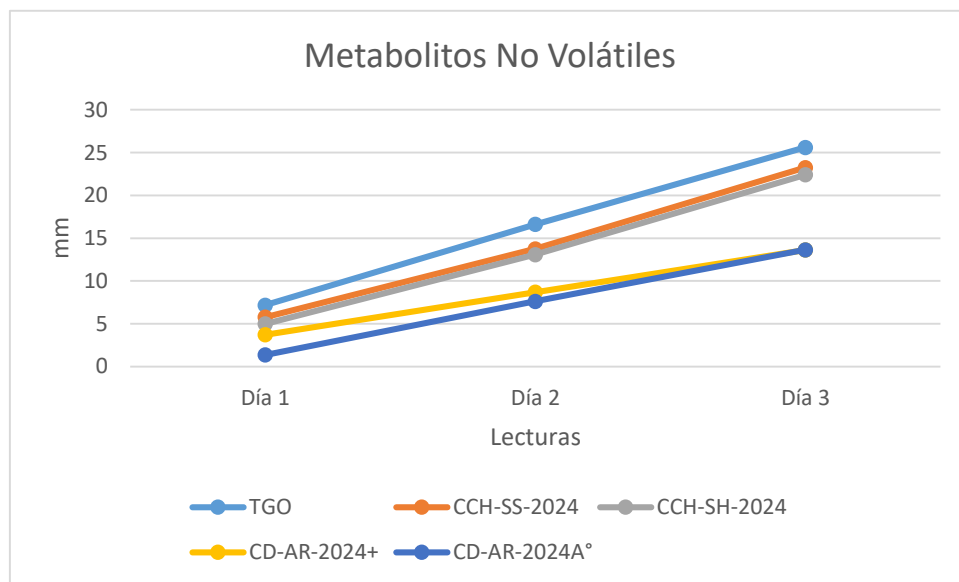
Cuadro 9. Medias de crecimiento de *Colletotrichum acutatum* por metabolitos no volátiles de *Trichoderma*.

Tratamiento	Medias de crecimiento (mm)		
	Día 1	Día 2	Día 3
TGO	7.17 a	16.63 a	25.62 a
CCH-SS-2024	5.77 ab	13.76 a	23.27 a
CCH-SH-2024	4.99 ab	13.09 ab	22.41 a
CD-AR-2024+	3.72 bc	8.7 bc	13.62 b
CD-AR-2024A°	1.37 c	7.62 c	13.65 b
P	0.00000999	0.000224	0.000000444

Letras diferentes indican que si hay diferencia estadística entre tratamientos (P=0.05). CD-AR-2024+= Cepa de *Trichoderma asperellum* aislada de zona árida en el Estado

de Durango, México. CCH-SS-2024= Cepa de *Trichoderma* aislada de suelo de zona semiárida en Saltillo, Coahuila (UAAAN), suelo seco donde se encontraba establecido un cultivo de chile. CCH-SH-2024= Cepa de *Trichoderma* aislada de suelo de zona semiárida en Saltillo, Coahuila, cultivo de chile con suelo húmedo. CD-AR-2024A°= Cepa de *Trichoderma asperellum* aislada de suelo de zona árida de Durango, México.

Las diferencias estadísticas durante tres días evaluados indica la diversidad en el potencial de control por metabolitos no volátiles de cada una de las cepas evaluadas. Todos los tratamientos en diferente grado mostraron el mecanismo de acción por medio de metabolitos no volátiles, destacando las cepas CD-AR-2024+ y CD-AR-2024° ambas aisladas de suelos de región árida del Estado de Durango.



Gráfica 3. Crecimiento de *Colletotrichum acutatum* por lectura de datos bajo tratamientos a base de metabolitos no volátiles de diferentes cepas de *Trichoderma*. CD-AR-2024+= Cepa de *Trichoderma* aislada de zona árida en el Estado de Durango, México. CCH-SS-2024= Cepa de *Trichoderma* aislada de suelo de zona semiárida en Saltillo, Coahuila (UAAAN), suelo seco donde se encontraba establecido un cultivo de chile. CCH-SH-2024= Cepa de *Trichoderma* aislada de suelo de zona semiárida en Saltillo, Coahuila, cultivo de chile con suelo húmedo. CD-AR-2024A°= Cepa de *Trichoderma* aislada de suelo de zona árida de Durango, México.

La gráfica 3 nos muestra que a través del tiempo el testigo presentó el mayor crecimiento, en comparación con los tratamientos evaluados. En el día tres los tratamientos a base de metabolitos no volátiles de las cepas de Durango igualaron su efecto sobre *C. acutatum*. CD-AR-2024+ iba teniendo un menor efecto sobre *C. acutatum* comparada con la cepa CD-AR-2024A°, sin embargo, en el último día los metabolitos no volátiles de ambas cepas mostraron el mismo efecto sobre el patógeno.

Cuadro 10. Área bajo la curva del crecimiento de *Colletotrichum acutatum* bajo tratamientos a base de metabolitos no volátiles de diferentes cepas de *Trichoderma*.

ÁREA BAJO LA CURVA	
Tratamientos	Valores del área bajo la curva por tratamiento
TGO	12052.300 a
CCH-SS-2024	10320.375 a
CCH-SH-2024	9777.133 a
CD-AR-2024+	6341.267 b
CD-AR-2024A°	5520.017 b
P	0.00000212

Letras diferentes indican que si hay diferencia estadística entre tratamientos ($P=0.05$). CD-AR-2024= Cepa de *Trichoderma* aislada de zona árida en el Estado de Durango, México. CCH-SS-2024= Cepa de *Trichoderma* aislada de suelo de zona semiárida en Saltillo, Coahuila (UAAAN), suelo seco donde se encontraba establecido un cultivo de chile. CCH-SH-2024= Cepa de *Trichoderma* aislada de suelo de zona semiárida en Saltillo, Coahuila, cultivo de chile con suelo húmedo. CD-AR-2024A°= Cepa de *Trichoderma* aislada de suelo de zona árida de Durango, México.

En cuanto al área bajo la curva en el presente estudio se comprueba y confirma que los metabolitos no volátiles de las cepas aisladas del estado de Durango son más efectivos que los metabolitos de cepas aisladas de zonas aledañas a la UAAAN (Saltillo, Coahuila).

6.2.2 Porcentaje de inhibición de crecimiento radial de *Colletotrichum* por metabolitos volátiles

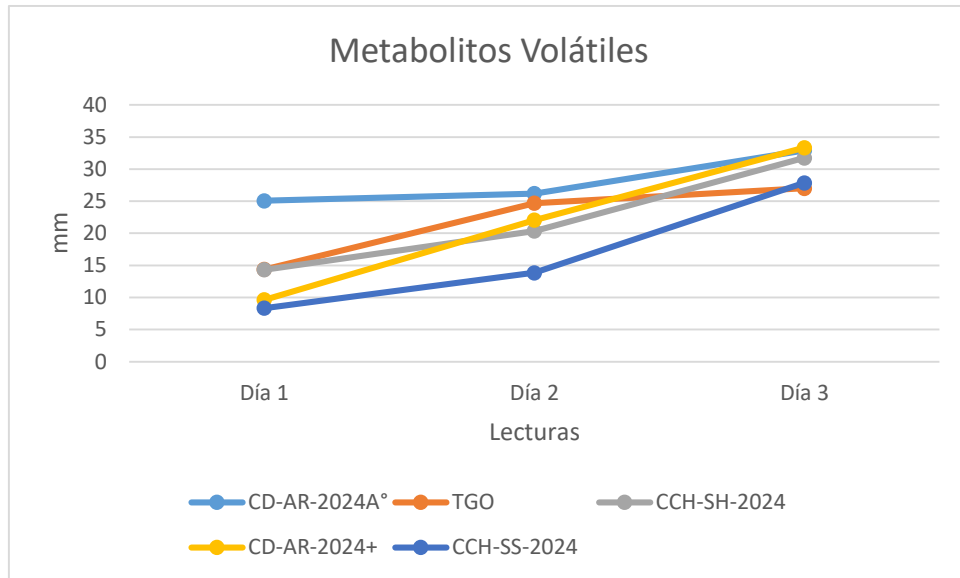
Durante el experimento con metabolitos volátiles de *Trichoderma* sobre *C. acutatum* en el periodo de evaluación, no hubo diferencia estadística de acuerdo al día y

tratamientos evaluados, lo cual indica que las cepas evaluadas no presentaron metabolitos volátiles o que fueran efectivos en contra del patógeno, ya que el testigo mostró resultados similares en comparación con todos los tratamientos. Al respecto Hernández (2016) encontraron que cuando evaluaron los metabolitos volátiles de 31 cepas de *Trichoderma* en contra de *Rhizoctonia solani* el control fue del 7.81% al 51.56%, aún con estos resultados, ellos mencionan que no hubo diferencia estadística entre las diferentes cepas de *Trichoderma* sobre el patógeno, similar a lo encontrado en la presente investigación, en la cual se presentó disminución del crecimiento del patógeno bajo el tratamiento a base de las cepas de CD-AR-2024+ y CCH-SS-2024, sin mostrar diferencia estadística con el testigo sin tratar (Cuadro 11, Gráfica 4). Esta última cepa no había figurado en cuanto al control por ningún otro mecanismo de acción, por lo que valdría la pena un mayor estudio sobre su síntesis de metabolitos volátiles y su efecto en el control de patógenos.

Cuadro 11. Medias de crecimiento micelial de *C. acutatum* bajo tratamientos a base de metabolitos volátiles de cepas de *Trichoderma* de zonas áridas y semiáridas.

Tratamiento	Medias de crecimiento micelial de <i>C. acutatum</i> por metabolitos volátiles de <i>Trichoderma</i>		
	Día 1	Día 2	Día 3
CD-AR-2024A°	25.07 a	26.20 a	32.92 a
TGO	14.37 a	24.69 a	27.03 a
CCH-SH-2024	14.33 a	20.35 a	31.76 a
CD-AR-2024+	9.63 a	22.06 a	33.36 a
CCH-SS-2024	8.35 a	13.85 a	27.87 a
P	0.179	0.633	0.481

Letras diferentes nos indican que si hay diferencia estadística entre tratamientos (P=0.05). CD-AR-2024= Cepa de *Trichoderma* aislada de zona árida en el Estado de Durango, México. CCH-SS-2024= Cepa de *Trichoderma* aislada de suelo de zona semiárida en Saltillo, Coahuila (UAAAN), suelo seco donde se encontraba establecido un cultivo de chile. CCH-SH-2024= Cepa de *Trichoderma* aislada de suelo de zona semiárida en Saltillo, Coahuila, cultivo de chile con suelo húmedo. CD-AR-2024A°= Cepa de *Trichoderma* aislada de suelo de zona árida de Durango, México.



Gráfica 4. Representación gráfica de los resultados por lectura del crecimiento micelial de *C. acutatum* bajo tratamientos a base de metabolitos volátiles de diferentes cepas de *Trichoderma* aisladas de zonas áridas y semiáridas. Letras diferentes nos indican que si hay diferencia estadística entre tratamientos ($P=0.05$). CD-AR-2024= Cepa de *Trichoderma* aislada de zona árida en el Estado de Durango, México. CCH-SS-2024= Cepa de *Trichoderma* aislada de suelo de zona semiárida en Saltillo, Coahuila (UAAAN), suelo seco donde se encontraba establecido un cultivo de chile. CCH-SH-2024= Cepa de *Trichoderma* aislada de suelo de zona semiárida en Saltillo, Coahuila, cultivo de chile con suelo húmedo. CD-AR-2024A°= Cepa de *Trichoderma* aislada de suelo de zona árida de Durango, México.

Se destaca que *C. acutatum* mostró un mayor crecimiento con el tratamiento de metabolitos volátiles de la cepa CD-AR-2024A° (Cuadro 11), lo cual manifiesta una estimulación por la presencia de los metabolitos volátiles, esto ha sido estudiado, mostrando que algunos patógenos presentan sistemas de detoxificación, a través de la síntesis de enzimas específicas que degradan a ciertos compuestos de otros organismos vegetales o de microorganismos al entrar en contacto con el patógeno, permitiéndole al patógeno estimular su crecimiento como una forma de perpetuar la especie.

Cuadro 12. Área bajo la curva del crecimiento de diferentes cepas de *Trichoderma* sobre *Colletotrichum acutatum* aislado de tejido de flores de limón Persa.

ÁREA BAJO LA CURVA	
Tratamientos	Valores del área bajo la curva por tratamiento
CD-AR-2024A°	20177.56 b
TGO	16594.43 a
CD-AR-2024+	15997.88 b
CCH-SH-2024	15864.32 a
CCH-SS-2024	11688.09 a
P	0.464

Letras diferentes nos indican que si hay diferencia estadística entre tratamientos ($P=0.05$). CD-AR-2024+= Cepa de *Trichoderma* aislada de zona árida en el Estado de Durango, México. CCH-SS-2024= Cepa de *Trichoderma* aislada de suelo de zona semiárida en Saltillo, Coahuila (UAAAN), suelo seco donde se encontraba establecido un cultivo de chile. CCH-SH-2024= Cepa de *Trichoderma* aislada de suelo de zona semiárida en Saltillo, Coahuila, cultivo de chile con suelo húmedo. CD-AR-2024A°= Cepa de *Trichoderma* aislada de suelo de zona árida de Durango, México.

7. Conclusiones

En esta investigación realizada con el objetivo de conocer los mecanismos de acción del hongo *Trichoderma* spp. sobre *Colletotrichum acutatum*, el cual ocasiona la caída de las flores en árboles de limón Persa, ocasionando pérdidas graves se pudo dar cuenta de que:

1. Para la variable colonización los tratamientos que mostraron la mayor colonización de acuerdo al área bajo la curva fueron CD-AR-2024A° y CD-AR-2024+ ambas cepas aisladas de la zona árida del Estado de Durango, pertenecen a la especie *Trichoderma asperellum*. Alcanzando una colonización total de *Colletotrichum acutatum*. Sin embargo no hubo diferencias estadísticas entre las diferentes cepas.
2. En cuanto al porcentaje de inhibición se encontró que a través del tiempo que se llevaron a cabo las evaluaciones se presentaron diferencias estadísticas en diferentes lecturas tomadas. CD-AR-2024+ presentó el mayor porcentaje de inhibición junto con CCH-SS-2024, corroborando este resultado el área bajo la curva calculada.
3. Metabolitos no volátiles fue otra de las variables evaluadas, para la cual se encontró que las cepas que más inhibieron el crecimiento de *Colletotrichum acutatum* fueron nuevamente CD-AR-2024+ y CD-AR-2024A° de acuerdo al área bajo la curva, aunque cabe señalar que este comportamiento se presentó durante todas las lecturas tomadas.
4. Al respecto de la variable evaluada de metabolitos volátiles de *Trichoderma* sobre el crecimiento micelial de *Colletotrichum acutatum*, no se encontró diferencia estadística entre los diferentes tratamientos. Las tendencias de los valores mostraron que el menor valor fue para el testigo, lo que podría indicar una estimulación de los tratamientos hacia el patógeno. Aunque se recalca la falta de diferencia estadística.

8. Literatura citada

- Agustí, M.; Mesejo, C.; Reig, C. and Martínez-Fuentes, A. 2014. Citrus production. In: Dixon, G. R. y Aldous, D. E. (Eds.). Horticulture: plants for people and paces. Vol. 1. Springer. Production Horticulture. 159-196 pp.
- Ahmad JS, Baker R. 1987. Rhizosphere Competence of *Trichoderma harzianum*. *Phytopathol.* 182-189
- Alfiky A, and Weisskopf L. 2021. Deciphering *Trichoderma*-plant-pathogen interactions for better development of biocontrol applications. *Journal of Fungi* 7(1): 61. <https://doi.org/10.3390/jof7010061>.
- Argumedo-Delira, R., A. Alarcón, R. Ferrera-Cerrato, y J.J. Peña-Cabriales. 2009. El género fúngico *Trichoderma* y su relación con contaminantes orgánicos e inorgánicos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 25(4):257-269.
- Ayvar-Serna, S., Díaz-Nájera, J.F., Valdez-Hernández, E.F., Delgado-Núñez, E.J., Mena-Bahena, A. 2023. Antagonismo de cepas nativas y foráneas de *Trichoderma* spp., contra *Colletotrichum gloeosporioides* causante de antracnosis en maracuyá. *Ciencias Agrícolas y Veterinarias*, 15:2, 110-16. https://www.google.com/search?q=cultivos+duales+trichoderma+colletotrichum&rlz=1C1CHBD_esMX825MX825&oq=cultivos+duales+trichoderma+colletotrichum&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOTIHCAEQIRigAdIBCTIxMDk5ajBqOagCALACAQ&sourceid=chrome&ie=UTF-8
- Bakhat, HF, Bibi, N., Zia, Z., Abbas, S., Hammad, HM, Fahad, S., ... y Saeed, S. 2018. El silicio mitiga el estrés biótico en las plantas de cultivo: una revisión. *Crop Protection* , 104 , 21-34.
- Barquero Quirós, M., Peres, N. A., & Arauz, L. F. 2013. Presencia de *Colletotrichum acutatum* y *Colletotrichum gloeosporioides* en helecho hoja de cuero, limón criollo, papaya, carambola y mango en Costa Rica y Florida (Estados Unidos). *Agronomía Costarricense*, 37(1), 23-38.

- Bautista-Baños, S.; Hernández-López, M.; Bosquez-Molina, E. and Wilson, C. L. 2003. Effect of chitosan and plant extracts on growth of *Colletotrichum gloeosporioides* anthracnose level and quality of papaya fruit. *Crop Protection*. 22:1087-1092.
- Bech, L., Busk, P. K., & Lange, L. 2015. Cell wall degrading enzymes in *Trichoderma asperellum* grown on wheat bran. *Fungal Genomics & Biology*, 4(1), 1000116.
- Beltrán Cifuentes, MC y García Jaramillo, DJ. 2006. *Colletotrichum gloeosporioides* fitopatógeno asociado a la nutrición humana. *Investigaciones Andina*, 8 (13),73-80.[fecha de Consulta 3 de enero de 2025]. ISSN: 0124-8146. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=239017515006>
- Benhamou, N., and Chet, I. 1997. Cellular and molecular mechanisms involved in the interaction between *Trichoderma harzianum* and *Pythium ultimum*. *Appl. Environ. Microbiol.* 63:2095-2099.
- Brito RAS, Cavalcante GP, Stock VM, Colman AA, dos Santos DP, Sermarini RA and Maffia LA. 2020. *Trichoderma* species show biocontrol potential against Ceratocystis wilt in mango plants. *European Journal of Plant Pathology* 158(3): 781-788. <https://doi.org/10.1007/s10658-020-02095-6>.
- Carrillo, F. J. A.; García, E. R. S.; Muy, R. M. D.; Sañudo, B. A.; Márquez, Z., I.; Allende, M. R.; de la Garza, R. Z.; Patiño, V. M. y Galindo, F. E. 2005. Control biológico de antracnosis [*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc.] y su efecto en la calidad poscosecha del mango (*Mangifera indica* L.) en Sinaloa, México. *Rev. Mex. Fitopatol.* 23:24-32.
- Carsolio Carolina, Benhamou N, Haran S, Cortés C, Gutierrez Ana, Chet I, Herrera-Estrella A. 1999. Role of the *Trichoderma harzianum* endochitinase gene, ech42, in mycoparasitism. *Appl Environ Microbiol*; 65:929-935.
- Cauich, I. C., Fernández, V. G. P., Ascencio, F. J., Rodríguez, L. E. S., & García, J. G. R. 2014. Análisis de los costos de producción del limón persa en el municipio de Tlapacoyan, Veracruz. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 2(1), 10-18.

- Celuz Agro. Limón, Plagas y Enfermedades. <https://celuzag.mx/2018/11/30/limon-plagas-y-enfermedades/>. Citado el día 17 de diciembre del 2024.
- Chávez-Díaz, I. F., Zelaya Molina, L. X., Cruz Cárdenas, C. I., Rojas Anaya, E., Ruíz Ramírez, S., & Santos Villalobos, S. D. L. 2020. Consideraciones sobre el uso de biofertilizantes como alternativa agro-biotecnológica sostenible para la seguridad alimentaria en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(6), 1423-1436.
- Chet I, Benhamou SH. 1998. Mycoparasitism and lectin enzymes. In: *Trichoderma & Gliocladium: Enzymes, biological control and commercial applications*. Harman GE, Kubice CP. (Eds.). Volumen 2. p.153-152. Taylor & Francis Ltd., London, UK.
- Chet I, Inbar J.1994. Biological control of fungal pathogens. *Applied Biochemistry and Biotechnology*; 48:37-43.
- Chiriboga P, Hernán; Gómez, B, Graciela; Garcés, E, Karla, 2015. *Trichoderma spp.* para el control biológico de enfermedades. Protocolos para formulación y aplicación del Bio-Insumo. Pag. 3. <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/2647/BVE17038725e.pdf;jsessionid=B468AC49C59071C61D9EE98ABD437CDF?sequence=1>
- Chiriboga, H., Gómez, G., & Garcés, K. 2015. *Trichoderma spp.* para el control biológico de enfermedades. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Paraguay.
- CHOUDHARY, D. K.; PRAKASH, A.; JOHRI, B. N. 2007. Induced systemic resistance (ISR) in plants: mechanism of action. *Indian Journal of Microbiology*, v. 47, n. 4, p. 289-297.
- Correa FJ. 1997. Principales enfermedades del arroz. MIP en arroz. Manejo integrado de plagas. Artrópodos, enfermedades y malezas. Fundación Polar Venezuela, FEDEARROZ Colombia, FLAR, CIAT, Caracas, Venezuela. 123-141 pp.

- Correa, OS, & Soria, MA. 2011. Potencial de los bacilos para el biocontrol y su aprovechamiento en la agricultura sostenible. Bacterias promotoras del crecimiento y la salud de las plantas , 197-209.
- de Aguiar, R.A., M.G. da Cunha, and M.L. Junior. 2014. Management of white mold in processing tomatoes by *Trichoderma* spp. and chemical fungicides applied by drip irrigation. *Biological Control* 74:1-5.
- Dennis L, Webster J. 1971. Antagonistic properties of species groups of *Trichoderma*. III Hyphal interaction. *Trans Br Mycol Soc*; 57:363-369.
- Díaz J. 1994. Algunos aspectos biológicos de *Trichoderma* y su posible uso como biocontrol. Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Agraria de La Habana.
- Dilnashin, H., Birla, H., Hoat, TX, Singh, HB, Singh, SP y Keswani, C. 2020. Aplicaciones de microorganismos importantes para la agricultura en la producción sostenible de cultivos. En Aspectos moleculares de los microbios beneficiosos para las plantas en la agricultura (pp. 403-415). Prensa académica.
- Do Vale, L. H., Gómez-Mendoza, D. P., Kim, M. S., Pandey, A., Ricart, C. A., Edivaldo, X. F. F., & Sousa, M. V. 2012. Secretome analysis of the fungus *Trichoderma harzianum* grown on cellulose. *Proteomics*, 12(17), 2716-2728.
- Donkersley, P.; Silva, F. W. S.; Carvalho, C. M.; Al-Sadi, A. M. and Elliot, S. L. 2018. Biological, environmental and socioeconomic threats to citrus lime production. *J. Plant Dis. Protec.* 125(4):339-356. <https://doi.org/10.1007/s41348-018-0160-x>.
- Elad Y, Chet I, Boyle P, Hennies Y. 1983. Parasitism of *Trichoderma* sp. on *Rhizoctonia solani* and *Sclerotium rolfsii* scanning electron microscopy and fluorescence microscopy. *Phytopathol*; 73:78.
- Elnashar A, Abbas M, Sobhy H and Shahba M. 2021. Crop water requirements and suitability assessment in arid environments: A new approach. *Agronomy* 11(2): 260. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020260>.

- Eveleigh DE, Demain AL, Solomon N. 1986. *Trichoderma*. Biology of industrial microorganisms. Biotech Ser. (Ed). Cap.16: 489-500.
- Gamagae, S. U.; Sivakumar, D. and Wijesundera, R. L. C. 2004. Evaluation of postharvest application of sodium bicarbonate incorporated wax formulation and *Candia oleophila* for the control of antracnose of papaya. Crop Protection. 23:575-579.
- Gamarra MAF, Ojeda MM and Maldonado GAE. 2017. Identificación molecular y tasa de crecimiento de cepas nativas de *Trichoderma* spp. aisladas de la Región Norte del Paraguay. Investigación Agraria 19(2): 127-132. <https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2017.diciembre.127-132>.
- García-Espejo, C.N., M.M. Mamani-Mamani, G.A. Chávez-Lizárraga, y M.T. Álvarez-Aliaga. 2016. Evaluación de la actividad enzimática del *Trichoderma inhamatum* (BOL-12 QD) como posible biocontrolador. Journal of the Selva Andina Research Society 7(1):20-32.
- Gobierno de México, 2022. Producción de limón en México, en ascenso, ventana estacional es impactada por mayor demanda y contingencias climatológicas. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. [https://www.gob.mx/agricultura/prensa/produccion-de-limon-en-ascenso-ventana-estacional-es-impactada-por-mayor-demanda-y-contingencias-climatologicas](https://www.gob.mx/agricultura/prensa/produccion-de-limon-en-mexico-en-ascenso-ventana-estacional-es-impactada-por-mayor-demanda-y-contingencias-climatologicas)
- Gruber, S., y Zeilinger, S. 2014. El factor de transcripción Ste12 media el papel regulador de la quinasa MAP Tmk1 en el micoparasitismo y la fusión hifal vegetativa en el hongo filamentoso *Trichoderma atroviride*. PloS one , 9 (10), e111636.
- HAMMERSCHMIDT, R. 2007. Introduction: definitions and some history. In: WALTERS, D.; NEWTON, A.; LYON, G. (Ed.). Induced resistance for plant defence. 1st ed. Oxford: Blackwell Publishing. p. 1-7.

- Haram S, Schickler HL, Chet I. 1996. Molecular mechanisms of lictin enzymes involved in the biocontrol activity of *Trichoderma harzianum*. *Microbiology*; 142:2321-2331.
- Harman G. 2003. *Trichoderma harzianum*, *T. viridis*, *T. koningii*, *T. hamatum* (Deuteromycetes: Moniliales) (Consultado: 2 feb 2007).
- Harman GE. 2004. Mythos and dogmas of biocontrol. Changes in perceptions derive from research on *Trichoderma harzianum* T22. *Plant Dis*; 84:377-393.
- Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I., & Lorito, M. 2004. *Trichoderma* species—opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature reviews microbiology*, 2(1), 43-56.
- Hernández, E. O., Castillo, F. D. H., Herrera, R. R., Fuentes, S. E. V., Drouaillet, B. E., & Santillán, J. A. L. 2016. Actividad antagónica de *Trichoderma* spp. sobre *Rhizoctonia solani* in vitro. *Investigación y Ciencia: de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, (67), 5-11.
- Hjeljord L, Tronsmo A. 1998. *Trichoderma* and *Gliocladium* in biological control: an overview. In: *Trichoderma & Gliocladium: Enzymes, biological control and commercial applications*. Harman GE, Kubice CP. (Eds). Volumen 2. p.131-151. Taylor & Francis.
- INTAGRI. 2018. La Producción de Limón en México. Serie Frutales Núm. 41. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p.
- Invesa. Antracnosis en los cítricos. <https://www.invesa.com/product/antracnosis-de-los-citricos/>. Consultado el día 22 de noviembre del 2024.
- Ippolito, A. and Nigro, F. 2000. Impact of preharvest application of biological control agent on postharvest diseases of fresh fruit and vegetables. *Crop Protection*. 19:610-619.
- Janisiewicz, W. J.; Leverentz, B.; Conway, W. S.; Saftner, R. A.; Reed, A. N. and Camp, M. J. 2003. Control of bitter rot and blue mold of apple integrating heat and

- antagonistic treatments on 1-MCP treated fruits stored under controlled atmosphere conditions. *Postharvest Biol. Technol.* 20:129-143.
- Kashyap, P. L., Rai, P., Srivastava, A. K., & Kumar, S. 2017. *Trichoderma* for climate resilient agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 33, 1-18.
- Koppert Copyright. Monitoreo de Plagas y Enfermedades. <https://www.koppert.mx/cultivos/frutas/lima/#enfermedades>. Consultado el día 17 de diciembre del 2024.
- Korsten, L.; De Jager, G. S.; De Villiers, E. E.; Lourens, A.; Kotzé, J. M. and Wehner, F. C. 1995. Evaluation of bacterial epiphytes isolated from avocado leaf and fruits surfaces for biocontrol of avocado postharvest diseases. *79:1149-1156*.
- Kubicek, C. P., Mach, R. L., Peterbauer, C. K., & Lorito, M. 2001. *Trichoderma*: from genes to biocontrol. *Journal of Plant Pathology*, 11-23.
- La Asunta, Manual para el Productor. Poda de Cítricos. 2017. Naciones Unidas. Oficina contra la Droga y el Delito (UNODC); págs. 17-20
- La Vanguardia. Limón: descubre sus propiedades, beneficios y valor nutricional. <https://www.lavanguardia.com/comer/materia-prima/20211228/5027/limon-propiedades-beneficios-valor-nutricional.html> consultado el día 17 de diciembre del 2024.
- Landero-Valenzuela N, Lara-Viveros FM, Andrade-Hoyos P, Aguilar-Pérez LA y Aguado RGJ. 2016. Alternativas para el control de *Colletotrichum* spp. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7:1189-1198. Disponible en línea: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263146723018>
- Lara, V. F. M.; Nieto, A. D.; Nava, D. C.; Gutiérrez, A. G.; Ayala, G. J. O.; Aguilar, P. L. A. y Martínez, T. D. 2014. Efecto del glucorafano aislado de floretes de brócoli sobre la germinación de esporas de *Colletotrichum gloeosporioides*. *Rev. Fitotec. Mex.* 37:141-147.

- Lisiecka, J., Sobieralski, K., y Siwulski, M. 2014. *Trichoderma* spp.: aplicación y perspectivas de uso en la agricultura y la industria orgánicas. Revista de investigación en protección de plantas.
- Loaiza, J. E. and Rivera, G. 2000. Potencial biocida de extractos de *Gliricida psepium* contra patógenos del cultivo de la papaya. Agron. Costarric. 1:29-36.
- Lorenzo N. 2001. Prospección de hongos antagonistas en la provincia de Cienfuegos. Efectividad y posibilidades de reproducción de las cepas nativas de *Trichoderma* spp. Tesis en opción al título de Master en Protección Vegetal Universidad Agraria de La Habana.
- Lorito M, Harman G, Prieto A Di, Hayes C. 1990. Extracellular chitinolytic enzymes produced by *T. harzianum*, purification, characterization and molecular cloning. Phytopathol; 82(10):10-77.
- Marcello, C.M., A.S. Steindorff, S.P. Silva, R.N. Silva, L.A.M. Bataus, and C.J. Ulhoa. 2010. Expression analysis of the exo-p-1,3-glucanase from the mycoparasitic fungus *Trichoderma asperellum*. Microbiological Research 165:75-81.
- Martínez B, Fernández L, Solano T. 1994. Antagonismo de cepas de *Trichoderma* frente a hongos fitopatógenos de la caña de azúcar, tomate y tabaco. Cultivos Tropicales; 15(3):54.
- Martínez B, Reyes Yusimy, Infante Danay, González E, Baños Heyker, Cruz A. 2008. Selección de aislamientos de *Trichoderma* spp. candidatos a biofungicidas para el control de *Rhizoctonia* sp. en arroz. Rev Protección Veg; 23(2):118-125.
- Martínez J T. 2 de julio de 1998. Uso de *Trichoderma* para el Control Biológico de Organismos Patógenos de Plantas. En Memorias del Simposium sobre Agricultura Orgánica y de baja residualidad. Cuautémoc, Chih. México; 25-27p.
- Mayo, S., Gutierrez, S., Malmierca, MG, Lorenzana, A., Campelo, MP, Hermosa, R., & Casquero, PA. 2015. Influencia de *Rhizoctonia solani* y *Trichoderma* spp. en el crecimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y en la inducción de genes relacionados con la defensa de las plantas. Frontiers in Plant Science , 6 , 685.

- Melgarejo P, Sagasta E. 1989. Influence of *Penicillium frequentans* and two of its antibiotics on production of stromata by *Monilinia laxa* in culture. *Can. J. Bot.* 67:83-87.
- Michaud JP. 2018. Challenges to conservation biological control on the high plains: 150 years of evolutionary rescue. *Biological Control* 125: 65-73. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.07.001>.
- Mohamed, HAA, Wafaa, MH y Attallah, AG. 2010. Mejoramiento genético de *Trichoderma viride* para sobreproducir diferentes enzimas hidrolíticas y su potencial de biocontrol contra enfermedades como la pudrición de la raíz y el moho blanco en plantas de frijol.
- Molina, B. E.; Ronquillo, E. J.; Bautista, B. S.; J. R.; Verde, C. J. R. and Morales, L. J. 2010. Inhibitory effect of essential oils against *Colletotrichum gloeosporioides* and *Rhizopus stolonifer* in stored papaya fruit and their possible application in coatings. *Postharvest Biol. Technol.* 57:132-137.
- Monteiro, VN, Nascimento Silva, R., Steindorff, AS, Costa, FT, Noronha, EF, Ricart, CAO,... & Ulhoa, CJ. 2010. Nuevos conocimientos sobre el antagonismo de *Trichoderma harzianum* de patógenos vegetales fúngicos mediante análisis de proteínas secretadas. *Microbiología actual*, 61, 298-305.
- Mukherjee, M., Mukherjee, PK, Horwitz, BA, Zachow, C., Berg, G. y Zeilinger, S. 2012. Interacciones entre *Trichoderma*, plantas y patógenos: avances en la genética del control biológico. *Indian journal of microbiology* , 52 , 522-529.
- Nanoxen. Enfermedades que afectan el cultivo de limón en México. <https://www.nanoxen.mx/blog/enfermedades-que-afectan-el-cultivo-de-lim-n-en-m-xico/124>. Consultado el día 18 de diciembre del 2024.
- O'Farrill, N. H. S. A. 2008. Insecticidas biorracionales. <http://academic.uprm.edu/ofarrill/HTMLobj-323/biorational.pdf>.
- Parrilli, M., Sommaggio, D., Tassini, C., Di Marco, S., Osti, F., Ferrari, R., ... & Burgio, G. 2019. El papel de *Trichoderma* spp. y el gel de sílice en los mecanismos de

defensa de las plantas y la respuesta de los insectos en el viñedo. Boletín de investigación entomológica, 109 (6), 771-780.

PASCHOLATI, S. F.; DALIO, R. J. D. 2018. Fisiología do parasitismo: como as plantas se defendem dos patógenos. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIM FILHO, A. (Ed.). Manual de Fitopatologia. 5. ed. Ouro Fino: Ceres. p. 424-450

Pérez N. 2004. Manejo Ecológico de plagas. CEDAR: La Habana. Cuba. 296 pp.

Phoulivong S. 2011. *Colletotrichum*, naming, control, resistance, biocontrol of weeds and current challenges. Current Research in Environmental & Applied Mycology 1:53-75. Disponible en línea: <http://www.creamjournal.org/volume-1/issue-1.html>

Prajapati, S., Kumar, N., Kumar, S. y Maurya, S. 2020. Control biológico: un enfoque sostenible para el manejo de enfermedades de las plantas: una revisión. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 9 (2), 1514-1523.

Ramos, E.Y.A., R.I.Z. Navarro, L.E.O. Zumaqué, y J.L.B. Violeth. 2008. Evaluación de sustratos y procesos de fermentación sólida para la producción de esporas de *Trichoderma* sp. Revista Colombiana de Biotecnología X (2):23-34.

Rivero Deyanira. 2008. Identificación y control in vitro con quitosana y *Trichoderma* spp. de hongos que causan el manchado del grano en arroz (*Oryza sativa* L.). Rev Protección Veg; 23(1): 67.

Romero Arenas, O., Huerta Lara, M., Damián Huato, M. A., Domínguez Hernández, F. y Arellano Victoria, D. A. 2009. Características de *Trichoderma harzianum*, como agente limitante en el cultivo de hongos comestibles. Revista Colombiana de Biotecnología, 11(2), 143–151. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/11759>

Romero-Cortes, T., P.A. López-Pérez, M. Ramírez-Lepe, y J.A. Cuervo-Parra. 2016. Modelado cinético del micoparasitismo por *Trichoderma harzianum* contra *Cladosporium cladosporioides* aislado de frutos de

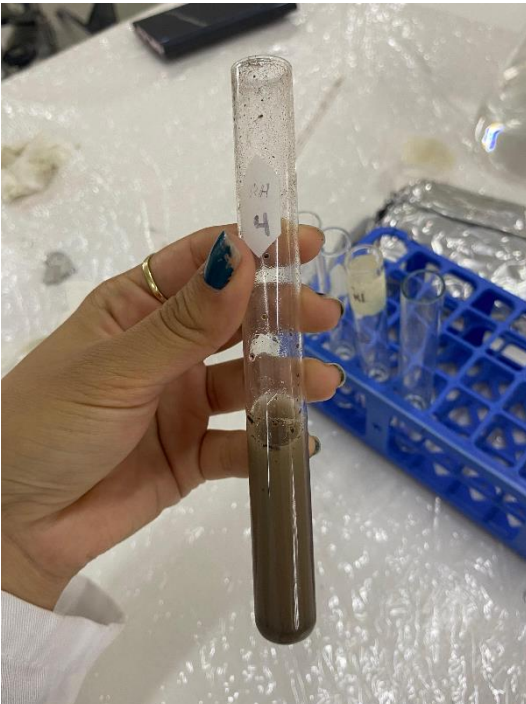
- cacao (*Theobroma cacao*). Chilean Journal of Agricultural and Animal Science, ex Agro-Ciencia 31(3):32-45.
- Samuels GJ. 1996. *Trichoderma*: a review of biology and systematic of the genus. Mycol Res; 100(8):923- 935.
- Sánchez, Vladimir; González, Orfil; Córdova, Jesús; Samuels, Gary J. *Trichoderma Longibrachiatum*: un micoparásito de *Thielaviopsis Paradoxa*. https://smbb.mx/congresos%20smbb/morelia07/TRABAJOS/Area_II/Carteles/CII-33.pdf. 1. Consultado el día 03 de enero del 2025.
- Sandle, T. 2014. *Trichoderma*. p. 644-646. En C.A. Batt y M.-L. Tortorello (eds.) Encyclopedia of Food Microbiology, London, UK.
- Sandoval Ileana, López M. 2002. Antagonismo de *Trichoderma harzianum* A-34 hacia *Macrophomina phaseoli* y otros patógenos fúngicos del frijol. Fitosanidad; 4(3-4):69-72.
- Santos, M. O., Sánchez, G. M., González, S. G., Larios, J. F., & Timmer, L. W. 2004. Crecimiento y Cambios Morfológicos de *Colletotrichum acutatum* Simmonds, Agente Causal de la Antracnosis del Limón Mexicano (*Citrus aurantifolia* Christm. Swingle) Incubado en Diferentes Medios... Revista mexicana de fitopatología, 22(3), 423-428.
- Schuster, A., & Schmoll, M. 2010. Biología y biotecnología de *Trichoderma*. Microbiología y biotecnología aplicadas, 87, 787-799.
- Sempere Ferre, F., & Santamarina, MP. 2010. Eficacia de *Trichoderma harzianum* en la supresión de *Fusarium culmorum*. Canales de microbiología, 60, 335-340.
- Sharma, K.; Mahato, N. and Lee, Y. R. 2018. Extraction, characterization and biological activity of citrus flavonoids. Reviews in Chem. Eng. 35(2):265-284. <https://doi.org/10.1515/revce-2017-0027>.
- Sharma, K.; Mahato, N.; Cho, M. H. and Lee, Y. R. 2017. Converting citrus wastes into value-added products: Economic and environmently friendly approaches. Nutrition. 34:29-46. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2016.09.006>.

- Stefanova M, Leiva A, Larriganaga L, Coronado MF. 1999. Actividad metabólica de cepas de *Trichoderma* spp. para el control de hongos fitopatógenos del suelo. *Revista Facultad de Agronomía*; 16:509-516.
- Thapa, S., Rai, N., Limbu, A. K., & Joshi, A. 2020. Impact of *Trichoderma* sp. in agriculture: a mini-review.
- Torres-De la Cruz M, Ortiz-García CF, Bautista-Muñoz C, Ramírez-Pool JA, Ávalos-Contreras N and Cappello-García S. 2015. Diversidad de *Trichoderma* en el agroecosistema cacao del estado de Tabasco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 86: 947-961. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2015.07.012>
- Torres-De la Cruz, M., C.F. Ortiz-García, C. Bautista-Muñoz, J.A. Ramírez-Pool, N. Ávalos-Contreras, S. Cappello-García, et al. 2015. Diversidad de *Trichoderma* en el agroecosistema cacao del estado de Tabasco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 86:947-961.
- Troian, RF, Steindorff, AS, Ramada, MHS, Arruda, W., y Ulhoa, CJ. 2014. Estudios de micoparasitismo de *Trichoderma harzianum* contra *Sclerotinia sclerotiorum*: evaluación del antagonismo y la expresión de genes de enzimas que degradan la pared celular. *Biotechnology letters* , 36 , 2095-2101.
- Ulloa CJ. 1996. Enzimas micolíticas produzidas pelo agente de biocontrole *Trichoderma harzianum*. En: *Actas del V de Simposio de control biológico. Anais: Conferencias y Palestras. Foz de Iguacu-Parana-Brasil*; 234-238.
- Vargas-Hoyos, H.A, y E. Gilchrist-Ramelli. 2015. Producción de enzimas hidrolíticas y actividad antagónica de *Trichoderma asperellum* sobre dos cepas de *Fusarium* aisladas de cultivos de tomate (*Solanum lycopersicum*). *Revista Mexicana de Micología* 42:9-16.
- Vero SM, Mondino P. 1999. Control biológico postcosecha en Uruguay. *Horticultura Internacional*; 7:1-10.

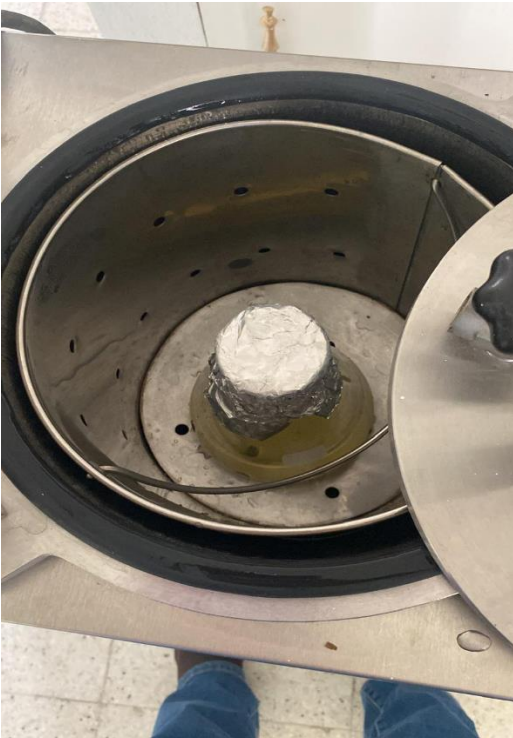
- Viterbo, A., Ramot, O., Chernin, L., y Chet, I. 2002. Importancia de las enzimas líticas de *Trichoderma* spp. en el biocontrol de hongos patógenos de plantas. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 81, 549-556.
- Wang, M., Gao, L., Dong, S., Sun, Y., Shen, Q., & Guo, S. 2017. Role of silicon on plant–pathogen interactions. *Frontiers in plant science*, 8, 701.
- Yang H, Chen Y and Zhang F. 2019. Evaluation of comprehensive improvement for mild and moderate soil salinization in arid zone. *Plos One* 14(11): e0224790. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224790>.
- Zeilinger, S., S. Gruber, R. Bansal, and P.K. Mukherjee. 2016. Secondary metabolism in - chemistry meets genomics. *Fungal Biology Reviews* 30(2):74-90
- Zhou Y, Wang Y, Chen K, Wu Y, Hu J, Wei Y, Li J, Yang H, Ryder M and Denton MD. 2020. Near-complete genomes of two *Trichoderma* species: A resource for biological control of plant pathogens. *Molecular Plant Microbe Interactions* 33(8): 1036-1039. <https://doi.org/10.1094/MPMI-03-20-0076-A>.

9. Anexos

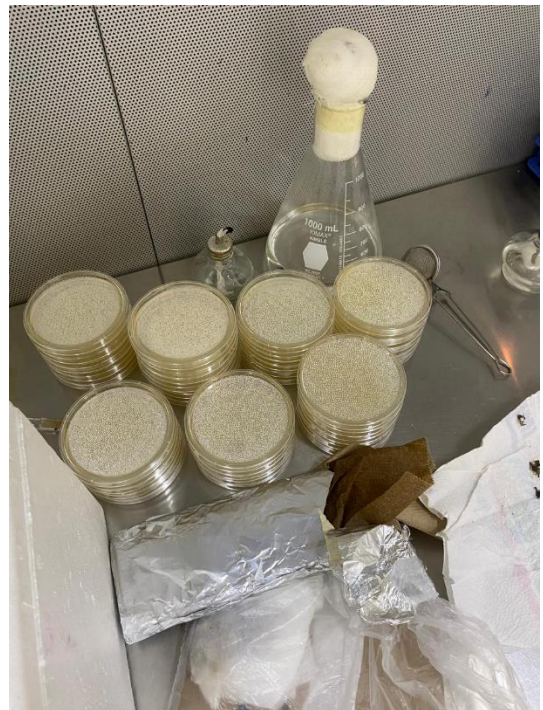
1. Aislamiento de *Trichoderma* spp. de suelo semiárido ubicado en el Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.



2. Preparación de medio de cultivo PDA para aislar a *Trichoderma* spp. y obtener un cultivo libre de bacterias u otros hongos que vinieran el suelo.



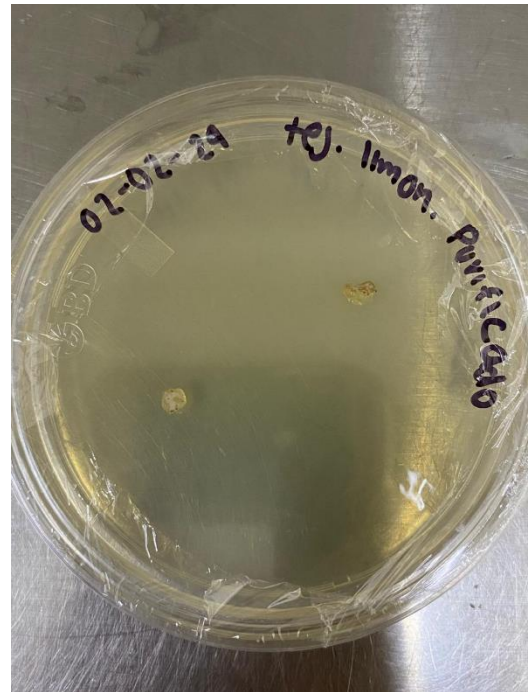
3. Preparación de medio de cultivo (PDA) para aislar a *Colletotrichum acutatum* extraído de flores de Limón Persa de la huerta de Veracruz, México.



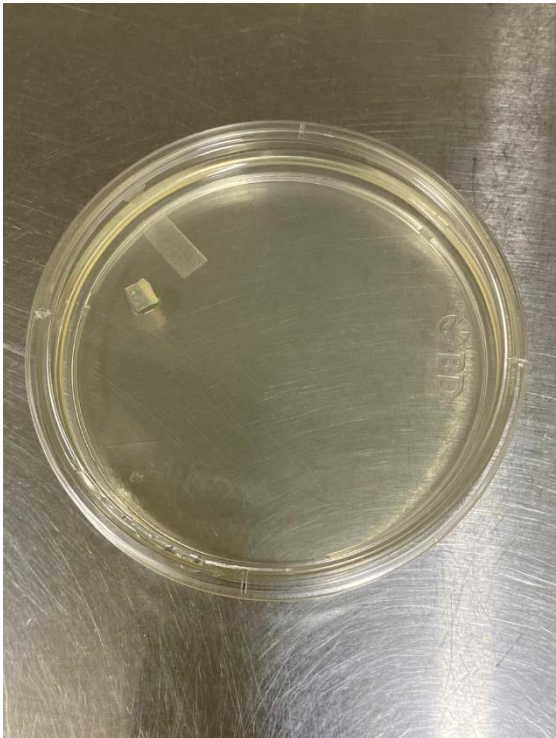
4. Tejido de flores y frutos pequeños de Limón Persa con síntomas de *Colletotrichum acutatum* SGO, para inocular en medio de cultivo.



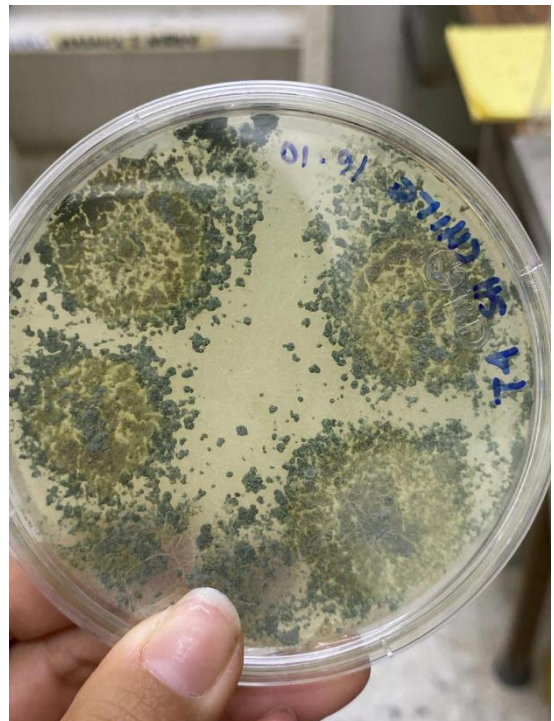
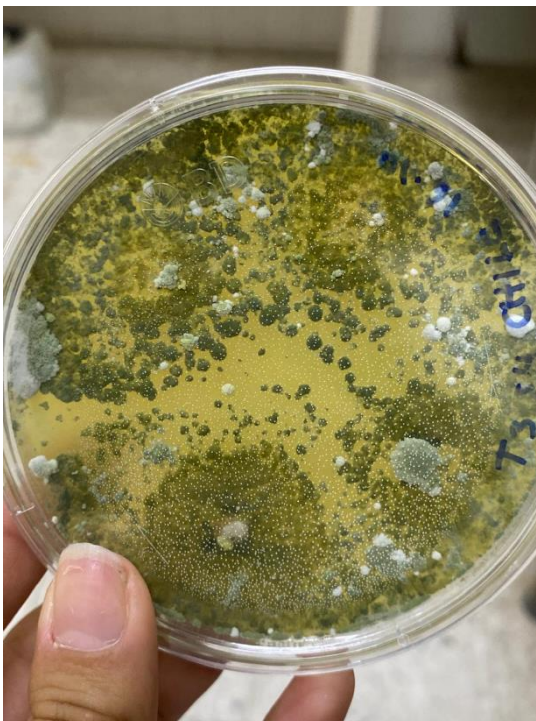
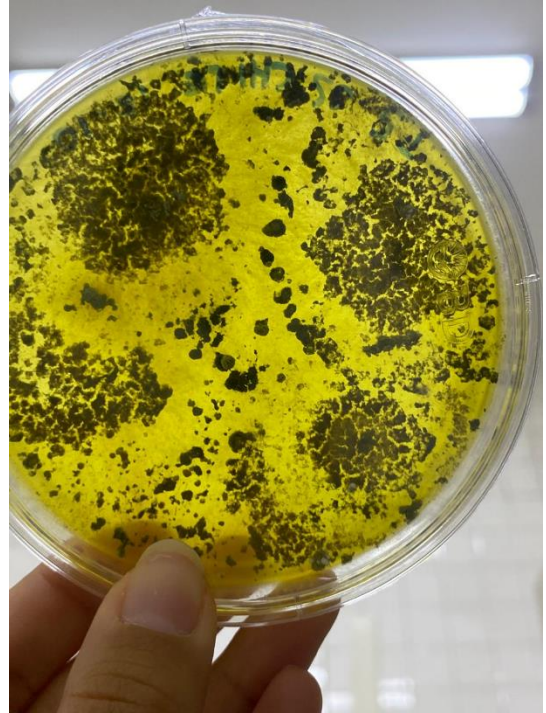
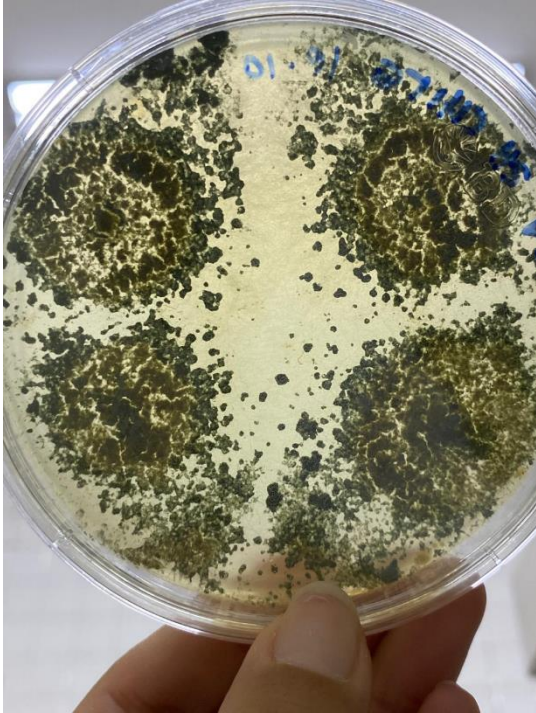
5. Cultivo de *Colletotrichum acutatum* para obtenerlo de forma individual y comenzar los tratamientos.



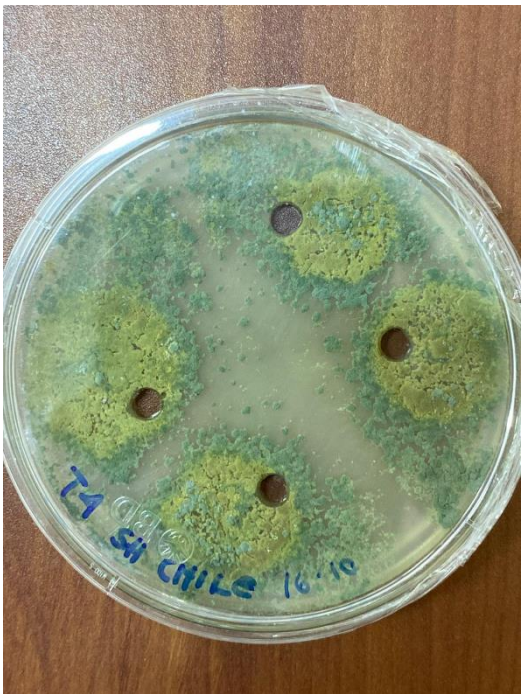
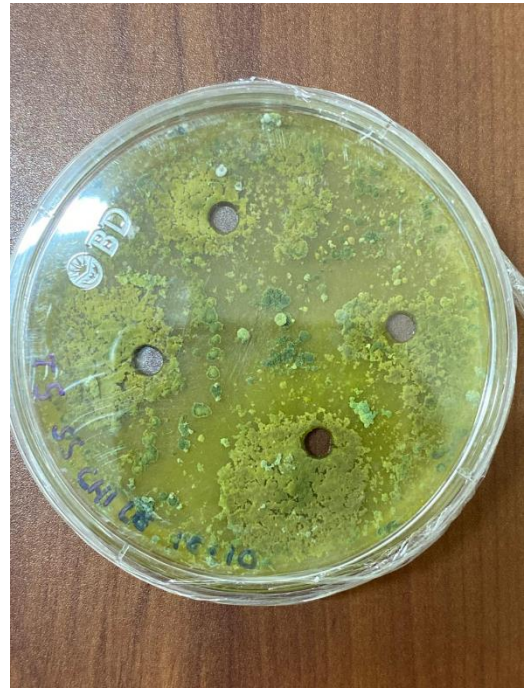
6. Siembra de *Colletotrichum acutatum* para iniciar el tratamiento de competencia por espacio dándole ventaja de crecimiento por un día a *C. acutatum*.



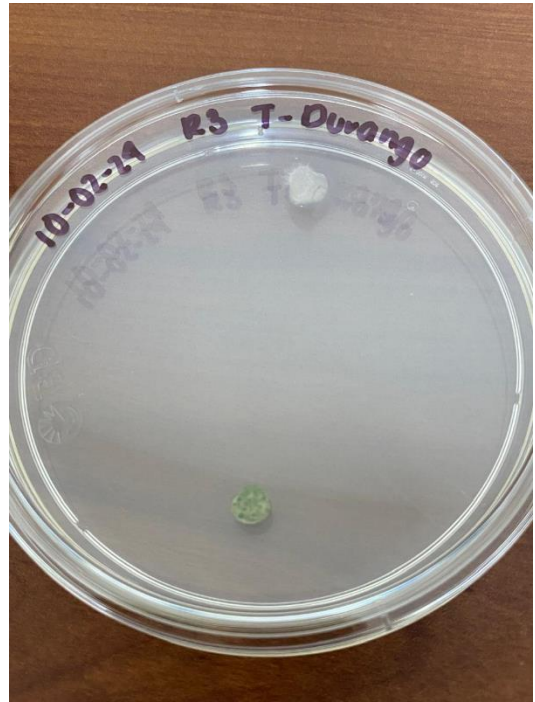
7. De estas cajas Petri, se extrajeron *Trichoderma* spp., para sembrarlo en las cajas donde 24 horas antes se había sembrado *Colletotrichum acutatum*, y así ir viendo la competencia por espacio de ambos hongos.



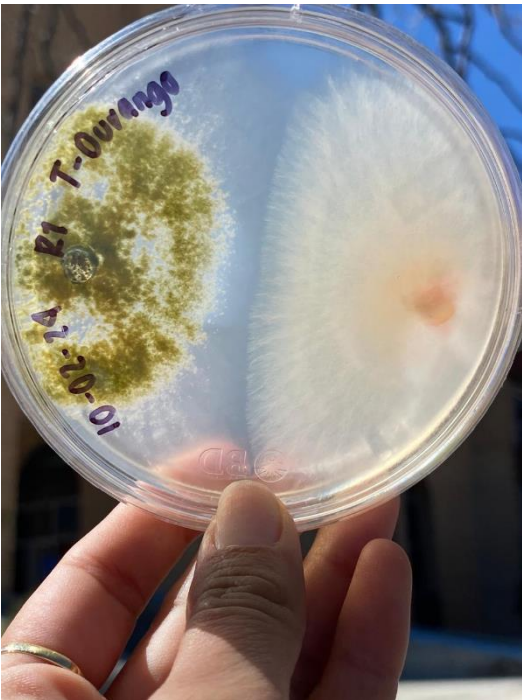
8. Se extrajeron pequeñas partes de *Trichoderma* spp., para sembrarlo del lado contrario de *Colletotrichum acutatum*.



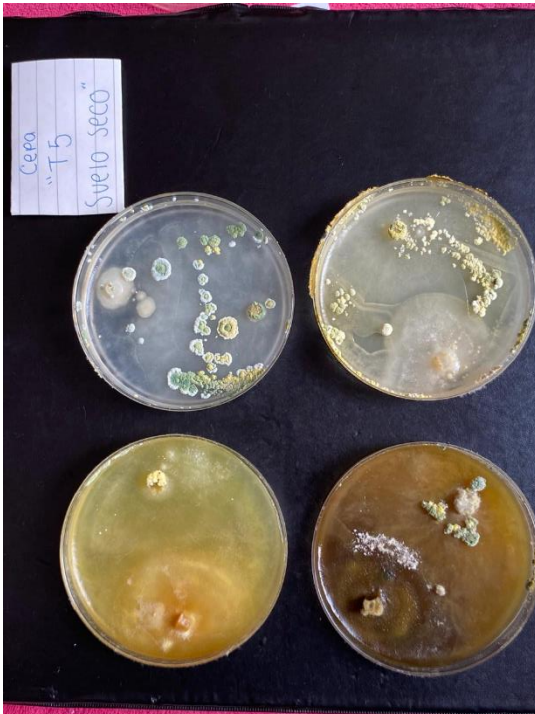
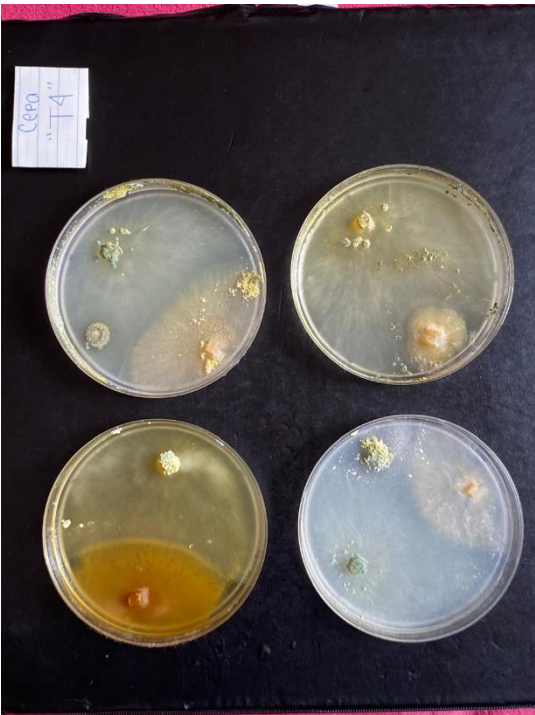
9. Ya sembrado el hongo benéfico en la misma caja Petri con *Colletotrichum acutatum*.



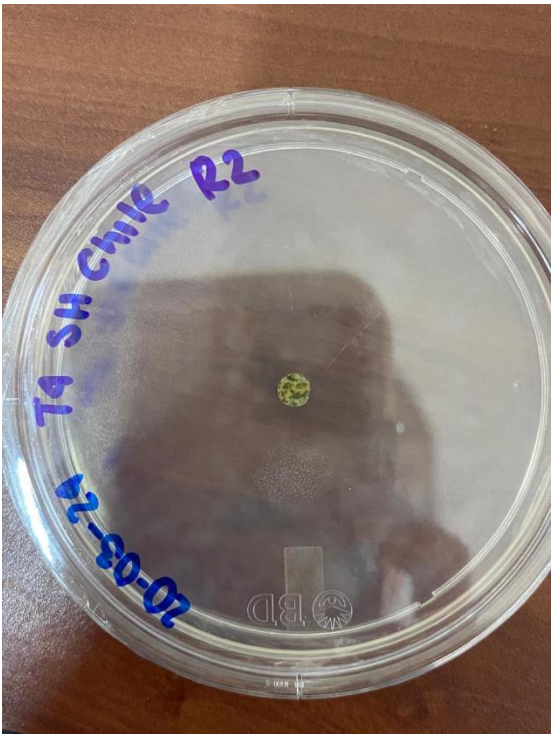
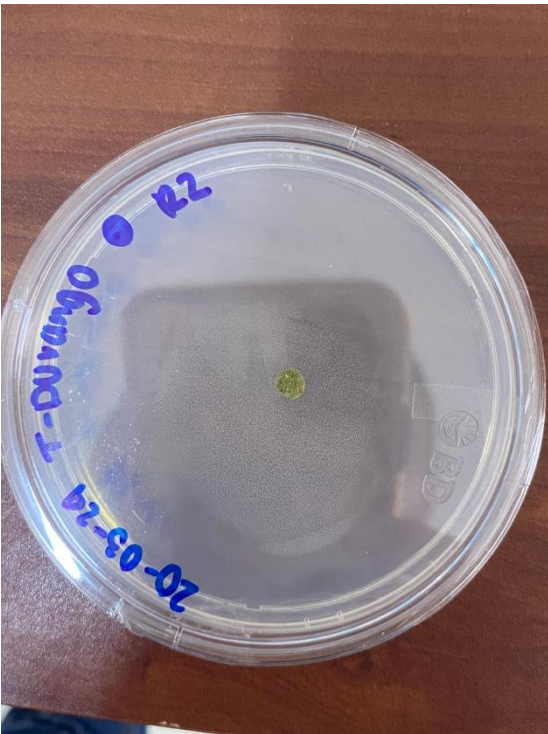
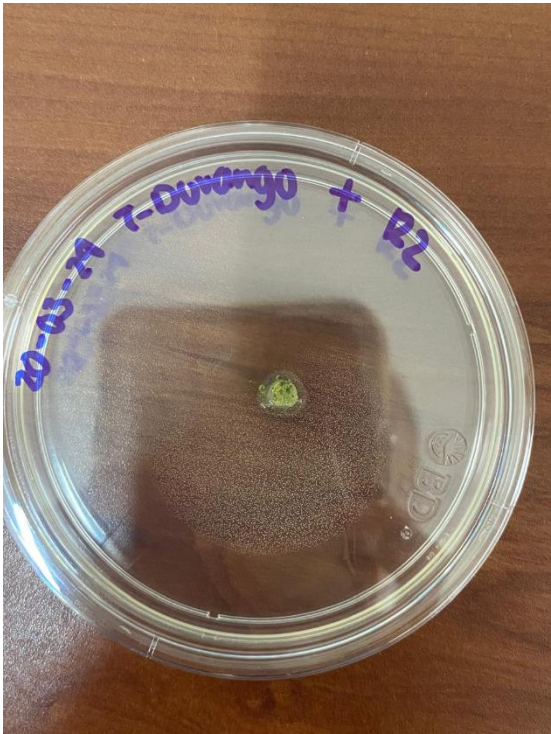
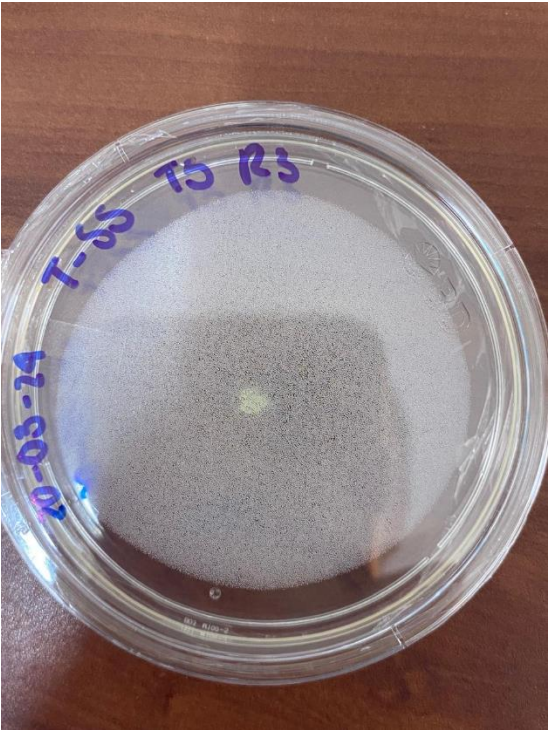
10. Con el paso del tiempo se fueron midiendo a diario cada uno de los tratamientos.



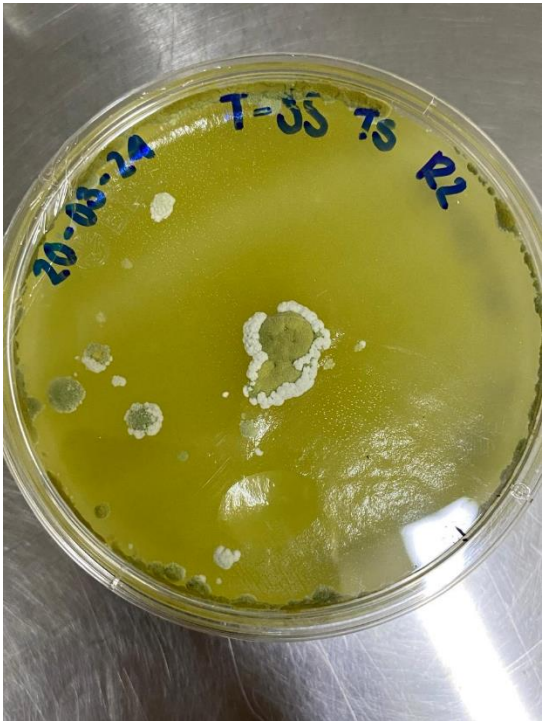
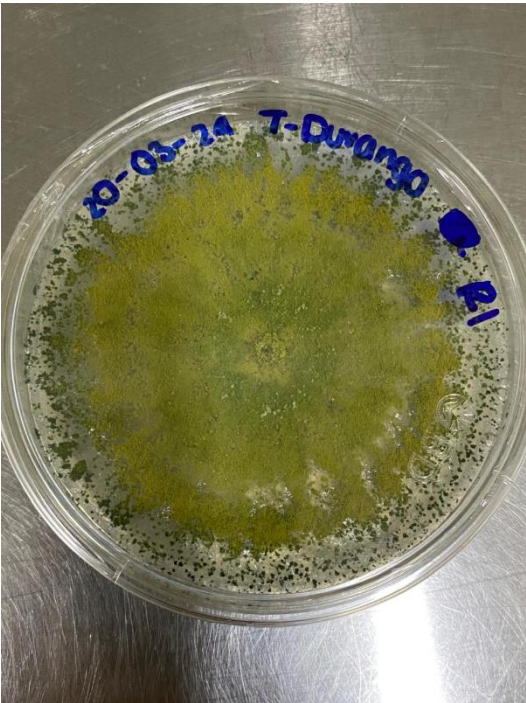
11. Resultado final del tratamiento 1, competencia por espacio.



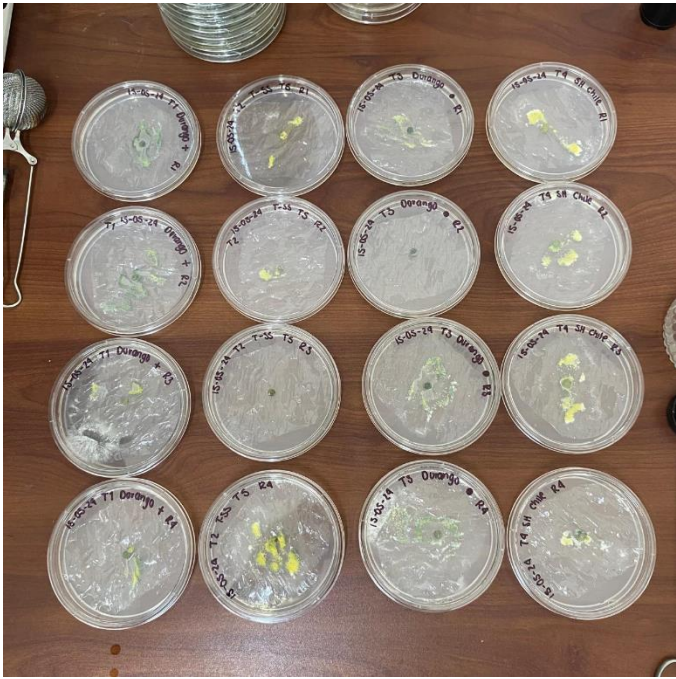
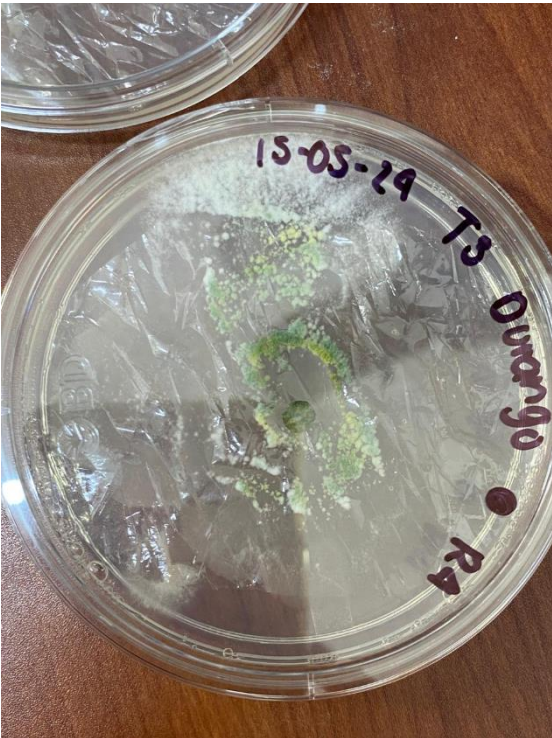
12. Siembra de *Trichoderma* spp., para dar inicio con el segundo experimento para saber si contiene metabolitos volátiles o no.



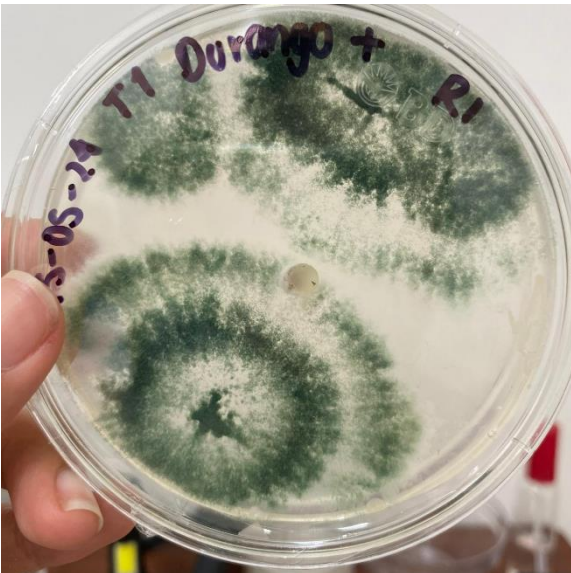
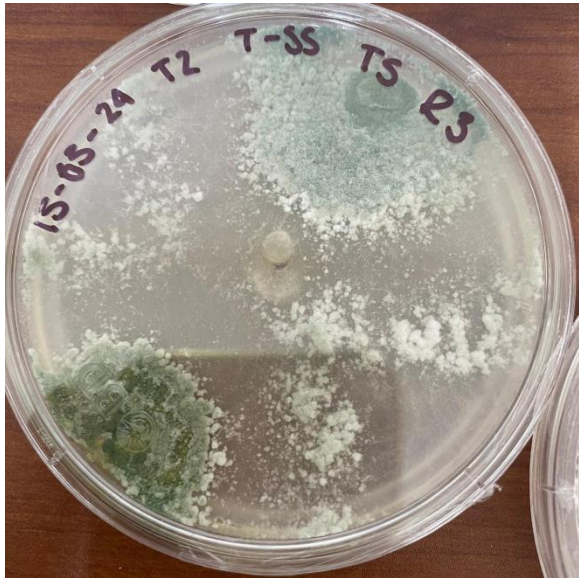
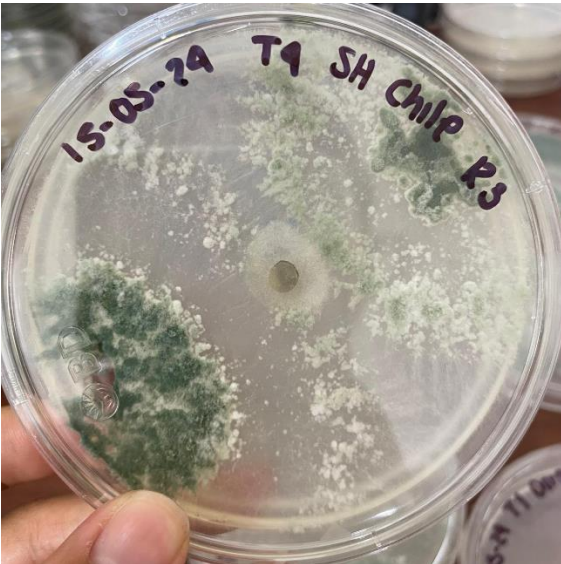
13. Avance del crecimiento de los hongos en el segundo tratamiento.



14. Tercer experimento donde se utilizó papel celofán.



15. Resultado de *Colletotrichum acutatum* después de que se quitara el papel celofán.



16. Resultado final.

