



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TEZIUTLÁN

Tesis

“Evaluación del efecto antagónico de hongos
filamentosos contra *Fusarium spp* en pruebas *in vitro*
en chile”

PRESENTA:

Andrés Medina Moctezuma

CON NÚMERO DE CONTROL

19TE0812

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

CLAVE DEL PROGRAMA ACADÉMICO

IIAL-2010-219

DIRECTOR (A) DE TESIS:

MBP. JACQUELIN LEÓN BÁEZ

“La Juventud de hoy, Tecnología del Mañana”

TEZIUTLÁN, PUEBLA, FEBRERO 2024.

PRELIMINARES

Agradecimientos

Le agradezco a Dios por haberme siempre protegido y guiado a lo largo de mi carrera por haberme dado lecciones que necesitaba en cada momento de mi vida, así como iluminar mi mente y corazón, poner en mi camino a personas maravillosas que han sido mi motivación y soporte de seguir con mis estudios y seguir recorriendo este viaje que se llama vida.

Le doy gracias a mis padres, Amanda y Andrés, por su amor, trabajo y sacrificio a lo largo de mi carrera profesional y han estado conmigo siempre, al igual a mis hermanas Sandy y Mara.

Agradezco a mi segunda familia Cruz Cruz por estar siempre presentes y su apoyo incondicional, a la memoria del Sr. René Cruz por sus consejos y creer en mí.

A Dra. Jacquelin León Báez, por haberme permitido llevar a cabo este proyecto de tesis y brindarme de sus conocimientos

Finalmente, mis amigos: Ceci, Cat, Rosario, Baldo, por haber estado conmigo en momentos de estrés y alegría, por su confianza, sus ánimos y momentos inolvidables vividos dentro y fuera de clases, durante mi carrera profesional.

Resumen

La secadera de los cultivos de chile serrano (*Capsicum annuum*) es uno de los principales problemas que enfrentan los agricultores, se ha reportado que una enfermedad ha invadido varios estados de la República Mexicana en estados como Zacatecas, Chihuahua, San Luis Potosí, Sonora, Michoacán, Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Tamaulipas y Sinaloa que son los estados con mayor producción de este cultivo (González et al, 2014).

Se reportó como un agente causal al *Fusarium spp.*, un fitopatógeno que enferma a las plantas a través de sus raíces, provocando la pudrición y al final la muerte de la planta (Espinoza, 2019). Por la información obtenida se planteó identificar hongos filamentosos para un control biológico esto con el objetivo de reducir el uso de fertilizantes químicos que dañan a los suelos y a medida son más propensos a habitar enfermedades e inhibir el crecimiento del *Fusarium spp.* en los cultivos.

Se realizó a partir de una colección de hongos del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, se hizo la purificación de las especies en medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA). Se identificaron los hongos por sus características macroscópicas, posteriormente, se realizaron pruebas de inhibición *in vitro* contra el *Fusarium spp.*, con semillas de chile serrano (*Capsicum annuum*) germinado, los cuales se monitorearon cada 24 horas para medir el crecimiento micelial e identificar el efecto antagónico que nos ayudó a inhibir el crecimiento de *Fusarium spp.* en la placa.

Se determinó que las especies de hongos filamentosos tuvieron una alta inhibición contra el crecimiento del *Fusarium spp.*, incluso se observó crecimiento de micelio sobre el fitopatógeno. Por lo anterior, se concluye que el control biológico por hongos antagónicos contra hongos fitopatógenos es una alternativa efectiva que permite combatir la sequera de los cultivos de chile serrano (*Capsicum annuum*) y erradicar el uso de fertilizantes químicos.

Abstract

The drying of serrano pepper crops (*Capsicum annuum*) is one of the main problems faced by farmers. It has been reported that a disease has invaded several states of the Mexican Republic in states such as Zacatecas, Chihuahua, San Luis Potosí, Sonora, Michoacán, Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Tamaulipas and Sinaloa, which are the states with the highest production of this crop (González et al, 2014).

Fusarium spp. was reported as a causal agent, a phytopathogen that makes plants sick through their roots, causing rot and ultimately the death of the plant (Espinoza, 2019). Based on the information obtained, it was proposed to identify filamentous fungi for biological control, with the objective of reducing the use of chemical fertilizers that damage the soil and as they are more prone to inhabiting diseases and inhibiting the growth of *Fusarium spp.* in crops.

It was carried out from a collection of fungi from the Higher Technological Institute of Teziutlán, the purification of the species was carried out in Papa Dextrose Agar (PDA) culture medium. The fungi were identified by their macroscopic characteristics, subsequently, *in vitro* inhibition tests were carried out against *Fusarium spp.*, with germinated serrano pepper seeds (*Capsicum annuum*), which were monitored every 24 hours to measure mycelial growth and identify the antagonistic effect that helped us inhibit the growth of *Fusarium spp.* on the plate.

It was determined that the filamentous fungal species had a high inhibition against the growth of *Fusarium spp.*, and mycelium growth was even observed on the phytopathogen. From the above, it is concluded that biological control by antagonistic fungi against phytopathogenic fungi is an effective alternative that allows combating drought in serrano pepper crops (*Capsicum annuum*) and eradicating the use of chemical fertilizers.

Índice general

PRELIMINARES	1
Agradecimientos	2
CAPÍTULO I	10
GENERALIDADES DEL PROYECTO	10
1.1 Datos generales de la institución	11
1.1.1 Antecedentes	11
1.1.2 Misión	12
1.1.3 Visión	12
1.1.4 Datos de contacto	12
1.2 Problemática	13
1.3 Preguntas de investigación	13
1.4 Objetivos	14
1.4.1 Objetivo general	14
1.4.2 Objetivos específicos	14
1.5 Justificación de la investigación	14
1.6 Hipótesis	15
CAPÍTULO II	16
MARCO TEÓRICO	16
2.1 Fundamentos teóricos	17
2.1.1 Antecedentes	17
2.1.2.1 Control biológico	20
2.1.2.2 Fertilizante	21
2.1.2.3 Biofertilizante	21
2.1.2.4 Hongos	22
2.1.2.4.1 Condiciones de crecimiento	22
2.1.2.4.2 Hongos patógenos	23
2.1.2.5 Fusarium	23
2.1.2.6 Hongos filamentosos	26
2.1.2.7 Antagonismo de hongos	27
2.1.2.8 Variedad de chile serrano	28
2.1.2.8.1 Cosecha	30

2.1.2.8.2 Plagas	30
2.1.2.9 Medios de cultivo.....	31
CAPÍTULO III.....	32
DESARROLLO Y METODOLOGÍA	32
3.1 Procedimiento	33
3.1.1 Diagrama de proceso	33
3.1.2 Equipos y materiales empleados durante la investigación	34
3.1.3 Obtención de los aislamientos de hongos antagonicos	34
3.1.4 Purificación en placa de Agar	34
3.1.5 Preparación del medio de cultivo	36
3.1.6 Esterilización de semilla de chile serrano (<i>Capsicum annuum</i>)	37
3.1.7 Germinado	38
3.1.8 Pruebas de antagonismo <i>in vitro</i> (inoculación)	39
3.1.9 Crecimiento radial de los hongos	40
3.1.10 Análisis estadístico	41
CAPÍTULO IV	42
RESULTADOS.....	42
4.1 Resultados y discusión	43
CAPÍTULO V	49
CONCLUSIONES	49
5.1 Conclusiones.....	50
5.2.1 Conclusiones de objetivos general	50
5.2.2 Conclusiones de objetivos específicos	50
5.4 Aportaciones originales.....	50
5.5 Limitaciones del modelo planteado	51
5.6 Recomendaciones	51
CAPÍTULO VI	52
COMPETENCIAS DESARROLLADAS.....	52
6.1 Competencias desarrolladas y/o aplicadas.....	53
CAPÍTULO VII	54
7.1 Referencias bibliográficas	55
CAPÍTULO VIII	60
ANEXOS.....	60

8.1 Anexos	61
-------------------------	-----------

Introducción

El cultivo de chile serrano (*Capsicum annuum*) es uno de los más importantes en la historia, cultura y tradición de México y además es un producto agrícola con alta demanda alrededor del mundo, ya que se ubica entre las siete hortalizas con más productores, con una producción mundial de alrededor de 24 millones de toneladas (Pérez–Castañeda et al., 2008).

México resalta en la producción de chile serrano en el mundo y está posicionado en el quinto lugar de su consumo a nivel mundial, el cual alcanza una producción de 2.3 millones de toneladas. En México, el chile es el tercer cultivo hortícola más importante. En el 2018 se sembraron alrededor de 26 300 hectáreas de chile serrano, resultando una producción favorable, Sinaloa ocupando el primer puesto (15 625 hectáreas), seguido por Chiapas (2452 ha), Veracruz (1952 ha), Sonora (1814 ha) y Oaxaca (1364 ha) (SIAP, 2018).

El chile serrano es uno de los que más se comercializa en todo el país el cual su consumo mayormente es fresco, por lo que la calidad y vida de anaquel de este fruto es uno de los factores principales dentro de su valor comercial.

La marchitez de chile serrano se ha presentado como unos de los principales problemas para los agricultores de este cultivo y han detectado que esta enfermedad es provocada por fitopatógenos como *Phytophthora capsici*, *Rhizoctonia solani* y *Fusarium oxysporum*. (Albañil et al., 2015). Se han hecho estudios los cuales han reportado frecuentemente al *Fusarium spp* como el responsable de enfermar las plantas de chile por medio de aberturas naturales que presenta la planta, de esta manera infectando y empezando a marchitarla (Zapata et al., 2012)

Esta enfermedad que se ha reportado en todos los cultivos de México, ha dejado pérdidas de hasta el 80% por pudriciones de raíz al invadir el sistema vascular de la planta. Los síntomas de esta enfermedad en la planta son sequera, tristeza o

marchitez, eso se ha registrado en los cultivos que han sido enfermos en la república mexicana (Guigón y González, 2001)

Para una correcta identificación se deben observar las características macroscópicas y microscópicas dentro del laboratorio, e identificar las diferentes especies de *Fusarium* que son causantes de la secadera de cultivos de Chile (Hernández, 2019).

Se tiene registro que el *Trichoderma* es tipo de hongo filamentoso anaeróbico que se encuentra de manera natural en los suelos, plantas y otros medios donde pueda crecer. Existen más de 30 especies de este grupo de hongos el cual se tiene registro que tiene efectos de antagonismo y de esta manera funciona como un agente de control biológico.

Su mecanismo de ataque es por la incorporación de nutrientes a otros hongos (los degrada) en algunas ocasiones como están en los suelos entran otros organismos naturales que ayudan a la degradación de otro hongo; posee una velocidad de crecimiento alta, así tiene la capacidad de estabilizarse en una gran variedad de sustratos y controlar enfermedades provocadas por otros hongos.

El *Trichoderma spp* es probablemente el hongo beneficioso, más versátil y polifacético que está presente en los suelos que tiene el potencial de aportar una gran variedad de beneficios, estos beneficios lo convierten en un microorganismo de gran presencia en los suelos y cultivos (Ríos, 2014).

CAPÍTULO I

GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 Datos generales de la institución

1.1.1 Antecedentes

Corría el año de 1993, el gobernador del estado de ese entonces, Manuel Barlett Díaz, respetando la petición y con la intervención de los funcionarios públicos y empresarios con el interés, gestionaron ante la Secretarías de Educación Pública, encabezada por Ernesto Zedillo Ponce de León , la construcción de una escuela técnica a nivel superior en Teziutlán, cumplida con la promulgación del decreto el 08 de noviembre del 1994, por el que se crea el “Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán”, como institución pública descentralizada del gobierno del estado. Se expide la ley con personalidad jurídica y patrimonio propio.

Da inicio de actividades la institución el primer día de septiembre de 1993, ofreciendo su programa educativo con la carrera de ingeniería industrial y una licenciatura en Administración, con esto lo lleva a ser el primer instituto tecnológico descentralizado del estado de puebla, junto a otro similar de la sierra norte, así mismo se designio como primer director general a José Emilio Guillermo Ortega Balbuena.

El Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, atendiendo a la alta demanda de la sociedad, y los principios de la ley de educación del estado de puebla, se integra como una institución educativa con el objetivo de lograr una educación de calidad, moderna y efectiva, con orientación de servicio y acercando la educación a las necesidades e intereses de las personas, con recursos humanos, materiales y financieros, promoviendo la transparencia y el uso eficiente de los recursos disponibles para cumplir con el objetivo del programa.

1.1.2 Misión

El instituto Tecnológico Superior de Teziutlán tiene como Misión, formar profesionales que se constituyan en agentes de cambio y promuevan el desarrollo integral de la sociedad, mediante la implementación de procesos académicos de calidad.

1.1.3 Visión

Llegar a ser la Institución de Educación Superior Tecnológica más reconocida en el Estado de Puebla, que ofrezca un proceso de Enseñanza – Aprendizaje certificado, comprometido con la excelencia académica y la formación integral del Alumno, contribuyendo al desarrollo sustentable, económico, político y social de nuestro Estado.

1.1.4 Datos de contacto

Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán con domicilio Fracción I y II S /N, Aire libre Teziutlán, Puebla. Teléfono 231-311-4000.

Ofertando 7 ingenierías en sus modalidades de escolarizado y sabatino, tales carreras son ingeniería en Industrias alimentarias, Ingeniería Industrial, Ingeniería en Sistemas Computacionales, Ingeniería Mecatrónica, Ingeniería Informática, Ingeniería en Gestión empresarial, ingeniería en Animación digital y efectos visuales y licenciatura en turismo, contando también con dos posgrados, la maestría en Sistemas Computacionales y una maestría en Ingeniería Industrial, las cuales se encargan de la investigación en las diferentes áreas correspondientes, en este caso, fue posible implementar este proyecto en el marco del laboratorio de microbiología de ingeniería en industrias alimentarias

ubicada en el campus educativo, y con base en los resultados obtenidos pudimos continuar con investigaciones adicionales y aplicarlas a la práctica.

1.2 Problemática

Buscar erradicar las afectaciones del fitopatógeno *Fusarium* por medio de pruebas de antagonismo con hongos *Trichodermas* para así tener un control biológico.

1.3 Preguntas de investigación

¿Cómo daña el fitopatógeno *Fusarium spp* a los cultivos de Chile?

¿Cuál es la importancia de emplear hongos filamentosos antagónicos en cultivos agrícolas?

¿Los hongos filamentosos son una alternativa para el control de hongos fitopatógenos?

¿El control biológico es una alternativa para la sustitución de agroquímicos en cultivos agrícolas?

¿Cómo afecta *Fusarium spp* en cultivos de Chile y su impacto en el sector agroalimentario?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Evaluar hongos filamentosos antagonistas sobre fitopatógenos en pruebas *in vitro* en chile serrano (*Capsicum annuum*).

1.4.2 Objetivos específicos

- Resembrar hongos filamentosos aislados para su reactivación en medio solido PDA.
- Evaluar el efector antagónico de hongos filamentosos contra *Fusarium spp.* *in vitro* en medio de cultivo PDA.
- Seleccionar hongos filamentosos con efecto antagónico contra *Fusarium spp.* en pruebas *in vitro*.
- Evaluar el efecto antagónico de hongos filamentosos contra *Fusarium spp.* en semillas de chile serrano (*Capsicum annuum*) *in vitro*.

1.5 Justificación de la investigación

La sequía en los cultivos de chile serrano (*Capsicum annuum*) es el principal problema en el sistema radicular. Se ha reportado que esta enfermedad afecta a todos los estados de la República Mexicana los cuales los principales estados afectados son Zacatecas, Chihuahua, San Luis Potosí, Sonora, Michoacán, Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Tamaulipas y Sinaloa donde se cultiva esta planta. México es uno de los principales países con producción de chile serrano (*Capsicum annuum*), con una producción arriba de 2,2 millones de toneladas y siembras de alrededor de 149 mil hectáreas y más de 12 mil productores (SAGARPA, 2012). Además, mencionar lo importante que es en la industria alimentaria ya que hay cientos de productos a base de este fruto. El patógeno es *Fusarium spp.* mencionado; este fitopatógeno

ataca a la planta a través de las raíces, provocando pudrición y posterior muerte en la planta.

Por ello, el presente proyecto, busca poner a prueba hongos filamentosos que puedan ayudar el control biológico e inhibir el crecimiento del hongo *Fusarium*, el cual es un patógeno transmitido por el suelo que ataca a los cultivos de chile serrano (*Capsicum annuum*), especialmente en invernaderos provocando la caída de las plántulas. Se trata de una propagación hídrica procedente de lluvia o riego, y también por órganos de propagación infectados, lo que tiene un efecto negativo ya que provoca la muerte de la planta y el cual provoca una reducción de la productividad.

1.6 Hipótesis

El empleo de hongos filamentosos inhibe el crecimiento de hongos fitopatógenos presentes en cultivos de chile serrano.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Fundamentos teóricos

2.1.1 Antecedentes

Salvador Perniola et al. (2014) en su trabajo de investigación desarrollo el uso de biofungicida con hongos del grupo *Trichoderma spp* con efecto antagónico y *B. juncea* bajo diferentes dosis en pruebas in vitro para la inhibición de *Fusarium graminearum*, en el cual la biofumigación con *B. juncea* no logró inhibir el crecimiento de *F. graminearum*, por otro lado, la acción que tuvo el hongo biocontrolador *Trichoderma spp.*, logró inhibir de manera significativa el crecimiento de las colonias de *F. graminearum*. Además, se aplicó el efecto del *Trichoderma spp.*, y la biofumigación con *B. juncea* de manera combinada y se obtuvo un efecto sinérgico para el control del crecimiento de *F. graminearum*.

Ríos Hernández et al. (2021) trabajaron para detener la pudrición del cormo engladiolo que es provocado por el fitopatógeno *Fusarium oxysporum* y esto lleva a pérdidas que llegan a ser del hasta del 100%. Dentro del desarrollo del trabajo seleccionaron 22 aislados de estreptomicetos, ya que esta cepa demostró actividad antagónica de alrededor del 40% contra el *Fusarium oxysporum*. El extracto bioactivo (EB) lo obtuvieron mediante fermentación en estado sólido y la concentración mínima inhibidora (MIC) y la concentración mínima letal (MLC) la determinaron mediante el método de microdilución. Confirmaron mediante pruebas de germinación de microconidios a las 8 horas, con tasas de inhibición que fueron de alrededor del 17 al 98%. Evaluaron el efecto de BE en 1 y MIC`s a 2 concentraciones sobre la pudrición de gladiolos infectados y encontraron un efecto protector sobre los tubérculos al mantener su firmeza durante 15 a 20 días en comparación con el fungicida *carbendazim*, esto por medio de la inoculación con *Streptomyces sp.* y bajo condiciones controladas de forma *in vivo*. Finalmente

obteniendo como resultado que *Streptomyces sp.* es un excelente agente de control biológico contra *F. oxysporum*.

Robles et al., (2015) en su investigación aplicación de *Streptomyces* PRIO41 como promovedor del crecimiento vegetal de chile jalapeño y agente de control biológico contra el *Fusarium* para poder apoyar de esta manera a la economía mexicana la cual los cultivos de este chile son de gran importancia económica y teniendo como objetivo erradicar la marchitez de esta planta que limita su producción, y es provocado por el *Fusarium spp.*. Por ello, este estudio evaluó el nivel de efectividad de *Streptomyces spp.* PRIO41 como agente antagónico de *Fusarium spp.*, y como promovedor del desarrollo de los cultivos de chile jalapeño. Se determinó la patogenicidad de *Fusarium spp.*, de manera *in vitro* en semillas de chile jalapeño y más pruebas experimentales con aislados de hongos con *Streptomyces spp.* PRIO41 bajo dos tipos de condiciones nutricionales. Finalmente, se evaluó en invernadero en pruebas *in vivo* el nivel de efectividad de *Streptomyces spp.* PRIO41 como (1) biocontrol de la marchitez y otros efectos negativos provocados por *Fusarium* y (2) como promovedor del crecimiento de plantas de chile. Los resultados mostraron que todos los hongos aislados causaron síntomas en semillas y plántulas de chile con diferentes niveles de virulencia. En las pruebas *in vitro* observaron que el *Streptomyces* mostró mayor rango de eficiencia en medios bajos en nutrientes en comparación con los aislados de *Fusarium* con actividad inhibitoria alta (37,6% a 100%). En cuanto a las pruebas realizadas en invernaderos (*In vivo*), el *Streptomyces* PRIO41 decreció el marchitamiento por *Fusarium* hasta un 40% y obtuvo efectos positivos en todos los parámetros de crecimiento de la planta, especialmente la altura de la planta, el área foliar, la longitud de las raíces y la biomasa seca de hojas y raíces. Este estudio dio como resultado el potencial de *Streptomyces* PRIO41 como un agente de control biológico contra el *Fusarium spp.* para la aplicación de cultivos de hortalizas, y como un extraordinario biofertilizante para los cultivos de chile jalapeño.

Companioni et al., (2019) en la presentación de este estudio desarrolló su objetivo del desarrollo sostenible de la agricultura el cual buscaba poder lograr una producción de alimentos sin llegar a contaminar y dañar el medio ambiente, todo esto por medio de sistemas agroecológicos de forma rentable. El uso de microorganismos para eliminar plagas y enfermedades fue lo que representó para una alternativa factible para lograr aumentos significativos en la ganancia, también la calidad de los cultivos y erradicar los efectos negativos de los pesticidas en el medio ambiente que dañan los suelos. El género de *Trichoderma* se considera como uno de los antagonistas de hongos patógenos de plantas más utilizados dentro de la agricultura moderna y que se ha ido investigando desde hace años. El resultado obtenido fue que las cepas antagónicas de *Trichoderma* ofrecieron un sinnúmero de beneficios a una gran variedad de cultivos de frutas, hortalizas y verduras en toda la república mexicana. Demostrando el potencial de *Trichodermas* para el desarrollo sostenible de la agricultura en la república mexicana como un potente controlador biológico.

Reyes et al. (2012) en su trabajo presentaron pruebas de inhibición del crecimiento de *Fusarium spp.*, en aislado de chile habanero con hongos antagonistas. Dentro de las pruebas realizadas utilizaron dos aislados de *Trichoderma harzianum*, denominadas Th-itver y *Trichoderma sp.*. Confirmaron que tres cepas nativas (*L2*, *P3* y *P4*) fueron aisladas de suelos de Yucatán, México, pertenecían al género *Trichoderma*. Y la tercera cepa pertenecía al género *Aspergillus*. La evaluación experimental de la prueba de antagonismo se realizó en agar patata dextrosa (PDA). Dando como resultado que las cepas aplicadas de *Trichoderma* inhibieron el crecimiento del hongo *Fusarium spp.* entre el 40 y el 82% del área de la placa. Finalmente se demostró que puede usarse potencialmente para el control biológico, ya que su mecanismo de acción es de tipo parásito.

2.1.2 Marco teórico

2.1.2.1 Control biológico

Se define como control biológico a la aplicación de microorganismos con el objetivo de controlar otras poblaciones de microorganismos que generan problemas en los cultivos de alguna planta.

La definición más exacta al tema fue dada por Baker (1985), el cual lo definió como "La eliminación o reducción de inóculo del patógeno o actividad de enfermedad, a través de microorganismos de otro grupo". Se enfoca en los microorganismos (Melgarejo, 2006).

Dentro del control biológico existen ventajas en las que destacan que su uso no tiene ningún efecto nocivo hacia los organismos naturales, al igual que no tiene ningún efecto tóxico para el ser humano. Al efectuar el control biológico con frecuencia es algo largo pero el resultado es permanente. La relación en cuanto a costo y beneficio es sin duda favorable para ampliar su aplicación dentro de las prácticas agroecológicas. Así mismo, su aplicación evita el crecimiento de alguna plaga secundaria y no existe algún problema con intoxicación (Tejada, 1982; Summy and French, 1988).

Desde hace alrededor de tres décadas, el tema de control biológico de agentes patógenos en plantas se ha considerado como una práctica nueva para el manejo de varias plagas en estos cultivos. El interés ha crecido a gran escala que han aumentado las regulaciones y la limitación en la aplicación de plaguicidas y ha salido el control biológico como una alternativa para controlar esos fitopatógenos.

Su interés principal para la aplicación del control biológico es para erradicar los microorganismos patógenos que son los principales responsables de enfermar la planta, son hongos patógenos que viven en los suelos. La aplicación de plaguicidas tiene efectos negativos como la destrucción del equilibrio de los microorganismos

que habitan en los suelos, la contaminación y también logra crear problemas en el desarrollo de la plántula (Hornby, 1990).

DeBach (1977) definió el control biológico por primera vez como “la acción de parásitos, depredadores o patógenos que mantienen poblaciones de organismos a un nivel más bajo que lo que pudiera ocurrir en su ausencia”

En los últimos años se han utilizado una variedad de hongos, (*Trichoderma spp.*; *Coniothyrium spp.*, *Mucor spp.*, *Penicillium spp.*, *Verticilium spp.*) en pruebas para la aplicación de un correcto y eficiente control biológico, en el cual bacterias y nematodos han sido los que tienen mayor potencial antagonista de *B. cinérea*, los primeros siendo los de mayor importancia en los cultivos de hortalizas (Youssef, 2019).

2.1.2.2 Fertilizante

Se puede definir como fertilizante al material orgánico o inorgánico, el cual su objetivo principal es brindar un conjunto de nutrientes a las plantas, para de esta manera mejorar el desarrollo de la planta. Tiene como finalidad el incremento y mejora de la calidad del fruto (Navarro, 2023).

El Código Alimentario Español: “Se considera como fertilizantes todas aquellas sustancias nutritivas necesarias para su desarrollo”.

2.1.2.3 Biofertilizante

Los biofertilizantes son un producto a base de microorganismos que se pueden encontrar en los suelos y las plantas. Independientemente de los microorganismos usados para este proceso, es esencial hacer una formulación correcta del producto para aprovechar la viabilidad y su uso en el campo (Rojas, 2008).

Los biofertilizantes están compuestos por microorganismos aplicados al suelo y/o a la planta con el fin de dejar de utilizar la fertilización sintética, así mismo disminuir la contaminación en los suelos provocada por agroquímicos. Los microorganismos aplicados a biofertilizantes se forman en dos grupos: (1) son aquellos que son capaces de sintetizar sustancias que ayudan al desarrollo de la planta, como nitrógeno atmosférico, fósforo y hierro. (2) son aquellos con la capacidad de inhibir o evitar los efectos causados por microorganismos que enferman a las plantas (Bashan y Holguin, 1998; Lucy et al., 2004).

2.1.2.4 Hongos

Los hongos son microorganismos que se aíslan en cualquier ambiente, superficie u organismo vivo (plantas, animales, etc.) y se dividen en dos grupos: hongos filamentosos y levaduras, el primer grupo son los que crecen formando filamentos alargados, el segundo grupo son los que cuentan con la capacidad de mantenerse de manera monocelular el mayor tiempo de vida. En los hongos filamentosos, en el crecimiento de esporas y/o al germinar, forman estructuras filamentosas las cuales proveen cientos de nuevas esporas (Zaragoza, 2018).

2.1.2.4.1 Condiciones de crecimiento

Los hongos son microorganismos que logran adaptarse fisiológicamente a condiciones de extremidad comparándolas con otros microorganismos, aguantando escalas de pH de 2.0 a 9.0 mientras que otros microorganismos no toleran estas escalas, aunque su pH óptimo es de 5-6, también logran tolerar temperaturas que van desde 0 a 62°C, mientras que su temperatura óptima para su desarrollo es de 28°C (Cifuentes et al. 2008).

2.1.2.4.2 Hongos patógenos

El grupo de hongos patógenos son aquellos microorganismos que producen enfermedades a seres vegetales (plantas), e incluso puede provocarles una muerte apresurada. En la actualidad existen estudios que informan acerca del mecanismo de acción por el cual atacan y como se ha ido cambiando con el tiempo, con esta nos brinda información de cómo hacer frente de manera eficaz (Manzo et al., 2005).

Los hongos patógenos que mayormente se encuentran en los cultivos de Chile incluye a *Phytophthora capsici*, *Fusarium spp.*, *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolfsii* y *Pythium sp.* (Vélazquez-Valle et al., 2013)

2.1.2.5 Fusarium

El género *Fusarium spp* es un grupo de hongos que suele encontrarse en los suelos y plantas ya que este está ampliamente distribuido en la naturaleza. Se considera ventajero ya que tiene la capacidad de desarrollarse a una temperatura de 37°C y causar infecciones sistemáticas con letalidad a organismos con defensas inmunitarias débiles. Algunas de las especies producen toxinas que afectan a humanos y animales. De las más de 100 especies de *Fusarium* descritas, la única especie considerada patógena para los humanos es *F. solani*, *F. oxysporum* y *F. verticilloides* en orden de abundancia descendente.

El *Fusarium* es considerado como un género de los más importantes dentro de los hongos filamentosos ya que es el causante de enfermedades en cultivos de gran impacto económico, también mencionar que sobrevive de manera saprofita en los residuos de los cultivos. Este género patógeno causa marchitamiento, podredumbre de la raíz y canchales en una variedad de cultivos. Existen especies que producen micotoxinas, que son metabolitos secundarios con la capacidad de provocar enfermedades graves en animales y seres humanos al llegar a consumir plantas o productos contaminados de *Fusarium* (García et al., 2010).

Se ha considerado el *Fusarium spp* como uno de los principales causantes de la sequera de las plantas de Chile (*Capsicum annuum*), los pertenecientes a este género son un grupo de hongos, que están presentes y distribuidos en el suelo y tienen la capacidad de colonizar la parte aérea y subterránea de las plantas, así como otros vegetales y otros sustratos orgánicos (Summerell et al., 2013).

Tabla 1. Clasificación taxonómica de *Fusarium*

Reino	Fungi
Filo	Ascomycota
División	Eumycotina
Clase	Sordariomycetes
Orden	Hypocreales
Familia	Nectriaceae
Genero	<i>Fusarium</i>
Especies	<i>F. oxysporum</i> , <i>F. solani</i>

Fuente: Martínez et al., 2015

2.1.2.5.1 Identificación morfológica

Hay varios medios que permiten su crecimiento como el Agar papa dextrosa (PDA), Carnation Leaf Agar (CLA), Spezieller Nährstoffarmer Agar (SNA), Agar avena, etc. En agar PDA y CLA se puede observar el diámetro de la colonia, la morfología y los pigmentos difusibles (marrón, rojo, morado, naranja, gris, blanco) en el medio. Por otro lado, en agar CLA se puede observar el desarrollo de microconidias. Las cadenas y la morfología permiten una observación detallada de los macroconidios. Estos son los medios más utilizados para el análisis de las estructuras microscópicas (Tapia et al., 2014).

2.1.2.5.2 Sintomatología

El *Fusarium sp.*, entre sus afectaciones resalta la marchitez de la planta, esto por medio de sus raíces, en las que se penetran de forma directa o a través de alguna herida de la planta, cuando comienza la pudrición de la raíz y el tallo se presenta en forma de áreas blandas que poco después adquiere un color café que pasa a negro, aunque en otros casos se cubre la planta de micelio blanco. Destruye rápidamente las raíces, tallos y otros órganos, hasta que la planta muere completamente (Agrios, 2008).

La sintomatología que presenta en la pudrición de la raíz del chile presenta daño al tallaje, cambio de color y arrugamiento de hojas, agravio a la estructura de reproducción, madurez prematura, pudrición de raíz, descomposición de raíz y deterioro de nudos de la planta, siendo los principales síntomas que se presentan luego de la infección de las raíces por hongos *Rhizoctonia spp.*, *Fusarium spp.*, *Phytophthora spp.*, *Verticillium spp.* y *Pythium spp.* (Velasquez et al., 2001).

Mayormente los hongos de este género que producen en gran parte marchitamientos vasculares pertenecen a la especie *Fusarium oxysporum*, por otra parte, el *Fusarium solani* y demás formas especiales, provocan marchitez vascular, pudrición de semilla, la raíz, así como también en la plántula, tallos, coronas, cormos, bulbos, tubérculos y demás partes de la planta (Agrios, 2008).

2.1.2.5.3 Ciclo de la enfermedad

Los síntomas que se presentan puede ser en cualquiera de las etapas del desarrollo de la planta, desde el trasplante o bien hasta la etapa de madurez o producción, en ese periodo se logra observar que el follaje de la planta se va marchitando, las hojas se caen y sus ramas colapsan hasta que muere la planta (Molina, 2006).

2.1.2.6 Hongos filamentosos

El grupo de hongos filamentosos son microorganismos en cual su mecanismo es eucariota y se reproducen por medio de sus esporas, aunque también de forma sexual y asexual (Vargas y Villamizar, 2005).

Se logran adaptar a condiciones más extremas que otros microorganismos, puede adaptar su desarrollo en sustratos con concentraciones de azúcares elevados de alrededor de 10%, no muestran sensibilidad a la presión osmótica elevada; aunque su crecimiento es lento y tarda alrededor de 5 a 7 días, soportando niveles de acidez altos que va desde 2 a 9 en la escala de pH, siendo de 5 a 6 el pH óptimo para un buen desarrollo (Moreno, 2000).

2.1.2.6.1 Trichoderma

El género *Trichoderma spp.* son un grupo de hongos que es común encontrar en diferentes países alrededor del mundo, habita de manera natural en los suelos debido a la materia orgánica que posee, también se puede encontrar en la superficie de las plantas y materia orgánica descompuesta. Este género es de gran interés agrícola ya que tiene potencial antagónico frente a hongos fitopatógenos y se puede ejecutar como biocontrol. En los inicios del siglo XXI se comenzó a usar este género como biocontroladores agrícolas; debido al requerimiento del mercado de los alimentos que exigen un menor uso de fungicidas en los cultivos. El tratamiento en las semillas (germinación) es la forma más segura del uso de *Trichoderma spp.* ya que así asegura la protección desde que la planta comienza a crecer (Pineda et al. 2017).



Figura 1:

1A. Trichoderma harzianum microscópico.

1B. Trichoderma harzianum en placa.

Fuente: Namesny Tecnología Hortícola (2020).

Tiene la capacidad de adaptarse a diferentes condiciones ambientales y sustratos, por eso se consideró a ser utilizado en la industria de la biotecnología (Martinez et al 2013).

2.1.2.7 Antagonismo de hongos

Existen estudios que llevaron a cabo una evaluación de hongos del genero *Trichoderma* como agentes de biocontrol del moho gris (*Botrytis cinérea*) en cultivos de fresa (*Fragaria vesca* L.); desarrollando pruebas in vitro y posteriormente en campo, obteniendo resultados satisfactorios en la inhibición a este fitopatógeno que afecta las cosechas (Matute, 2019).

Se determinó en un estudio que cuenta con la capacidad antagónica contra hongos *Botrytis cinérea* en cultivos de mora, su aplicación fue de seis cepas del genero *Trichoderma* en cual se puso a competir contra *B. cinérea*, resaltando los aislamientos de *Trichoderma* que cuentan con alta capacidad antagónica al grado de cubrir el 100% sobre *B. cinérea*. (Clavo et al. 2012).

2.1.2.8 Variedad de chile serrano

En México existe una gran diversidad de chile verde que son aproximadamente 20 especies, siendo el chile serrano (*Capsicum annuum*) el que más resalta en todo México y uno con la mayor producción gracias a su amplio rango de soportar diferentes condiciones ambientales. (Delgado et al 2014).

Se han identificado morfológicamente 8 variedades de chile silvestre (*Capsicum annuum*) (Ortiz et al 2022).

A



Figura 2A. Chile serrano (Capsicum annuum). Fuente: Chilli Plants, 2020.

Tabla 2. Clasificación taxonómica de chile serrano

<i>Reino</i>	Plantae
<i>Subreino</i>	Tracheobionta
<i>División</i>	Magnoliophyta
<i>Clase</i>	Magnoliosida
<i>Subclase</i>	Asteridae
<i>Orden</i>	Solanales
<i>Familia</i>	Solanaceae
<i>Genero</i>	<i>Capsium</i>
<i>Especie</i>	<i>Capsium annuum</i>

Fuente: Naturalista 2020.

Tabla 3. Temperaturas óptimas para el cultivo de chile

<i>Fases del cultivo</i>	<i>Temperatura (°C)</i>		
	Optima	Mínima	Máxima
<i>Germinación</i>	20-25	13	40
<i>Formación de planta</i>	20-25 (día)	15	32
	16-18 (noche)		
<i>Desarrollo del fruto</i>	26-28 (día)	18	35
	18-20 (noche)		

Fuente: Codova, 2003.

Las variedades de *Capsicum annuum* están clasificadas en tres categorías: (1) variedad híbrida, (2) variedad de polinización libre y (3) variedad criolla (Bobadilla et al. 2017).

Tabla 4. Composición del chile

Componente	Porcentaje
Agua	91
Almidón	0.81
Fibra	2.2
Pectina	0.73
β -caroteno	0.92 mg/100 g peso fresco
Vitamina C	34-192 mg/100 g peso fresco
Ácido málico	208 mg/ 100 g peso fresco

Fuente: López-Hernández et al., 1996 y Sambhi et al., 1977.

2.1.2.8.1 Cosecha

La primera cosecha inicia a los 80 días después del trasplante, posteriormente se realiza cada 21 o 30 días de acuerdo a las condiciones del cultivo y del mercado. Un factor importante es evitar los periodos más largos, ya que provocan envejecimiento prematuro de la planta. Se realizan cortes conforme la calidad del fruto lo permita (Fupronay, 2020).

2.1.2.8.2 Plagas

En estudios realizados y trabajos experimentales en campo se identificaron las principales plagas que atacan los cultivos de chile serrano (*Capsicum annuum*) se lograron encontrar 7 especies que son las responsables que afectan las siembras: pulga saltona, capulín, fraile, mosca blanca, araña roja, gusano trozador y paratrioza que son organismos perjudiciales para los cultivos (Chacón, 2011).

Anthonomus eugenii Cano, mejor conocido o barrenillo del chile, es una de las plagas más nocivas del genero *Capsicum* no solo en la república mexicana sino también en otras partes del mundo, que puede hacer perder del 50 al 100% de la cosecha si es atada por esta peligrosa plaga (Escobar, 2008).

2.1.2.9 Medios de cultivo

Los medios de cultivo son una mezcla de nutrientes indispensables para un óptimo crecimiento o preservación en los microorganismos. Los componentes con los que está formado viene de sustancias de origen de origen natural u origen artificial. Tienen la finalidad de optimizar el crecimiento del organismo con el que se trabaja, permitir la identificación o también inhibir el crecimiento de otros microorganismos (Rodríguez y Zhurbenko, 2018).

CAPÍTULO III

DESARROLLO Y METODOLOGÍA

3.1 Procedimiento

3.1.1 Diagrama de proceso

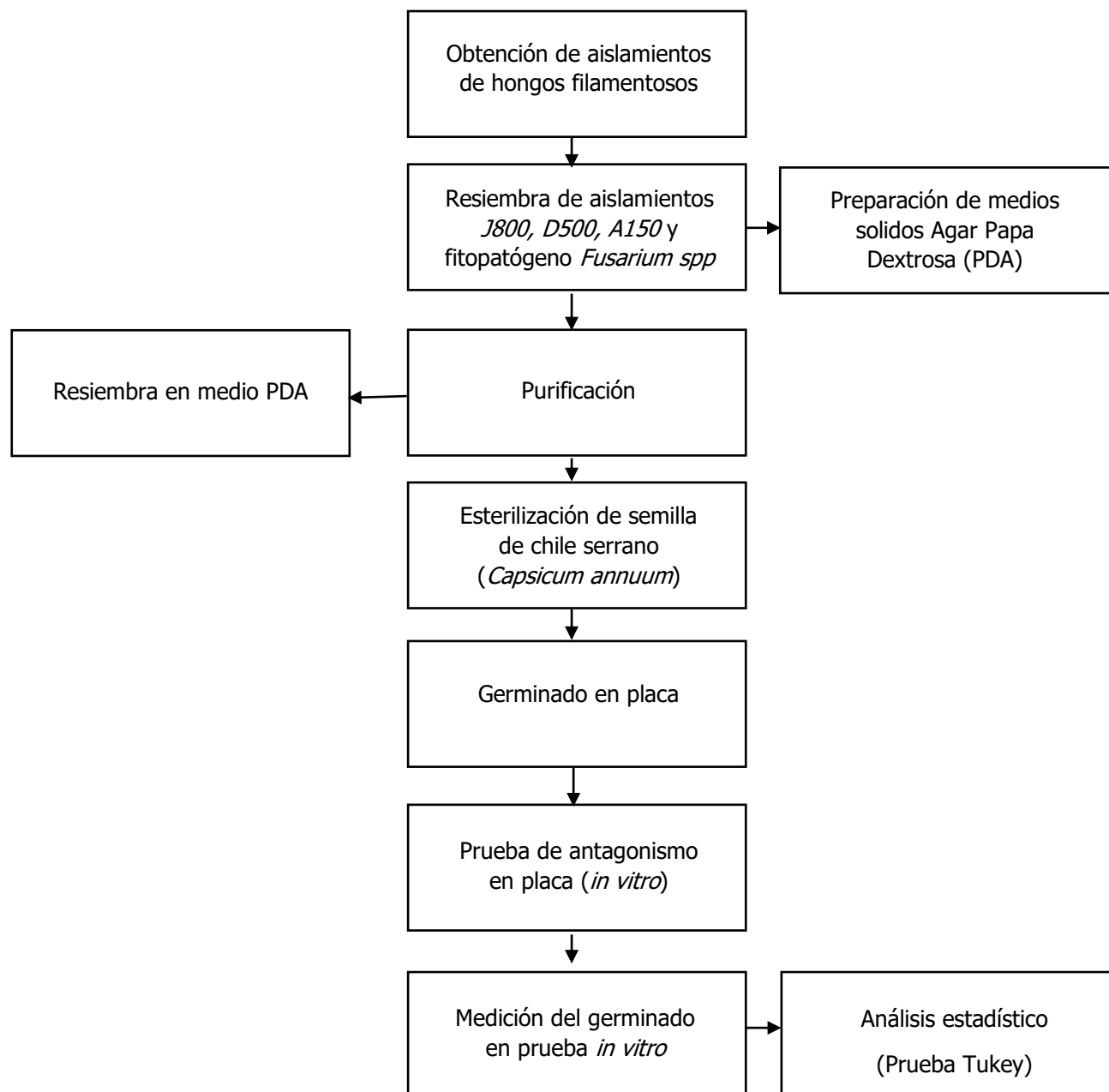


Figura 3. Diagrama del proceso experimental. Fuente propia, 2023.

3.1.2 Equipos y materiales empleados durante la investigación

3.1.3 Obtención de los aislamientos de hongos antagónicos

Se seleccionarán 3 aislamientos de hongos filamentosos codificadas como *J800*, *D500* y *A150* para la aplicación de pruebas de inhibición fueron proporcionadas de un trabajo de investigación anterior. Recolectados y obtenidos de los suelos fértiles en el municipio de Chignautla, Puebla; para posteriormente el aislado fue activado en medio PDA durante 7 días en inoculación a una temperatura ambiente óptima para su crecimiento.

3.1.4 Purificación en placa de Agar

Este proceso se llevó a cabo después de recibir la colección de cepas (*J800*, *D500*, *A150*) y el fitopatógeno *Fusarium spp.*, se empleó la técnica de resiembra en el medio de cultivo PDA y se incubaron a temperatura ambiente durante 5 días hasta que creció el micelio de los hongos. Este proceso se repitió sucesivamente hasta obtener una purificación completa de las cepas a trabajar en el proceso experimental.

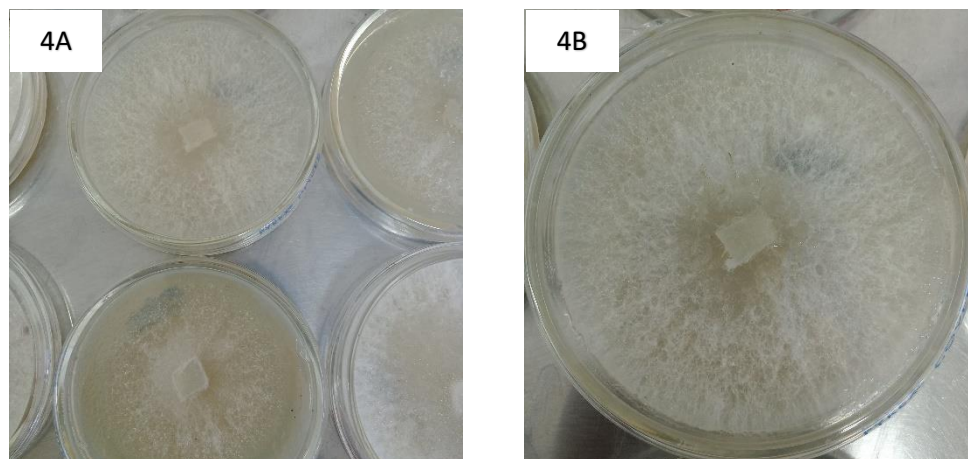


Figura 4: Aislamientos de hongos antagónicos (*J800*, *E800* y *J150*) contra *Fusarium spp* que fueron resembrados y en la figura 4B se muestra *J800* en medio PDA. Fuente propia, 2023.

En la siguiente tabla se presentan las descripciones de los aislamientos utilizados con sus características macroscópicas y una imagen de ellos.

Tabla 5. Características macroscópicas de hongos Trichoderma		
Asilamiento	Descripción	Imagen
J800	Asilamiento de crecimiento moderado en un periodo de 5 días a una temperatura de 20 °C, forma circular e invasivo, textura aterciopelada. Tonalidad blanca en sus primeros días para ponerse en un color verdoso en su maduración.	
D500	Asilamiento de crecimiento moderado en un periodo de 5 días a una temperatura de 20 °C, forma circular e invasivo, textura algodonosa. Tonalidad blanca en sus primeros días y pasa a un color verdoso con un poco de tonalidad amarillo en la etapa de maduración.	
A150	Asilamiento de crecimiento rápido en un periodo de 3 días a una temperatura de 20 °C, forma circular e invasivo. Tonalidad blanca durante todo su ciclo de vida.	

Fuente propia, 2023.

3.1.5 Preparación del medio de cultivo

Se utilizó medio de cultivo PDA de la marca Bioxon y se preparó siguiendo las indicaciones de la etiqueta del producto, para la preparación de medio litro de medio solido PDA, se pesó en una balanza analítica 19.5 gr de PDA, y se adiciono a un matraz Erlenmeyer con 500 ml de agua destilada, se midió el pH de 5.5. Una vez teniendo el pH optimo, se esterilizó en autoclave (Tuttnaver) a una temperatura de 121°C a una presión de 1.5 bar durante 20 minutos. Al pasar el determinado tiempo de esterilización, se dejó enfriar el medio de cultivo dentro del gabinete de seguridad biológica (LABCONVO) la cual previamente fue sanitizado. Posteriormente se vertió el medio en cajas Petri previamente estériles en medio de 2 lámparas de alcohol las cuales sirvieron para mantener el área estéril, y se dejó solidificar el medio a temperatura ambiente dentro del gabinete de seguridad biológica (LABCONCO), para posteriormente se resguardaron en bolsas de poli papel para evitar alguna contaminación y estar listas para su uso.

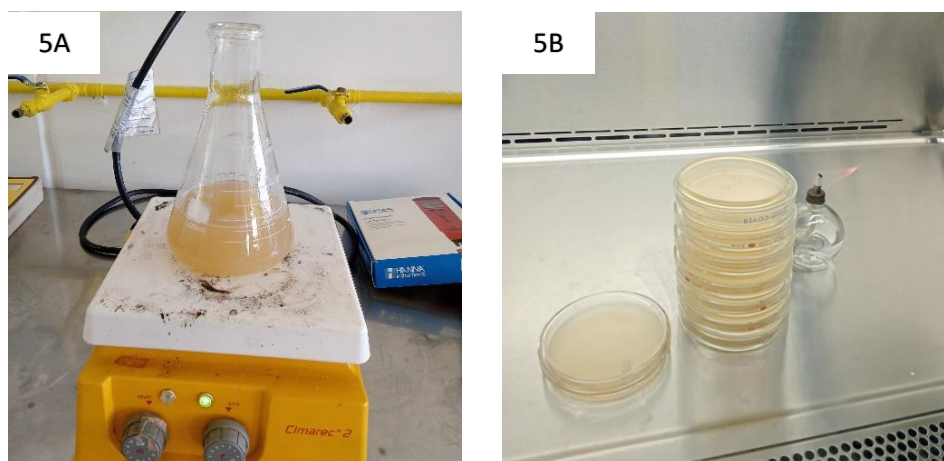


Figura 5:

5A. Preparación de Medio de cultivo PDA.

5B. Solidificación en Placas Petri. Fuente propia, 2023.

3.1.6 Esterilización de semilla de chile serrano (*Capsicum annuum*)

Se utilizaron semillas de chile serrano (*Capsicum annuum*) en cual paso por diferentes lavados antes de estar listas para germinar en placas estériles, comenzando lavando la semilla con agua corriente, se lavó con una solución jabonosa el cual fue de la marca axion durante 25 minutos en agitación, se enjuago con agua destilada estéril, se lavó con una solución de hipoclorito de sodio (NaClO) al 0.5% en agitación durante 15 minutos, pasando a enjuagar con agua destilada estéril, posteriormente se lavó con una solución de Microdyn durante 10 minutos en agitación y se llevó a la campana para dejar secar las semillas aproximadamente 10 minutos, para al final resguardarlas en una placa estéril hasta su uso.

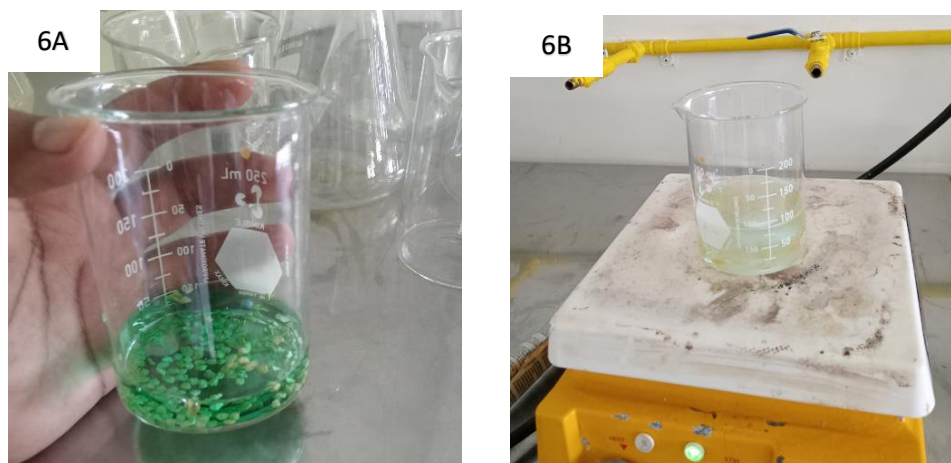


Figura 6:

6A. Sanitización de semilla de chile (*Capsicum annuum*) en solución de hipoclorito de sodio (NaClO) al 0.5%.

6B. Sanitización de semilla de chile (*Capsicum annuum*) en solución jabonosa en agitación.

Fuente propia, 2023.

3.1.7 Germinado

El proceso de germinado se llevó a cabo colocando las semillas previamente estériles en placas de agar papa dextrosa solido (PDA) donde se colocaron 3 semillas en línea recta, dejando un espacio a los dos costados para inocular posteriormente teniendo ya la semilla germinada.

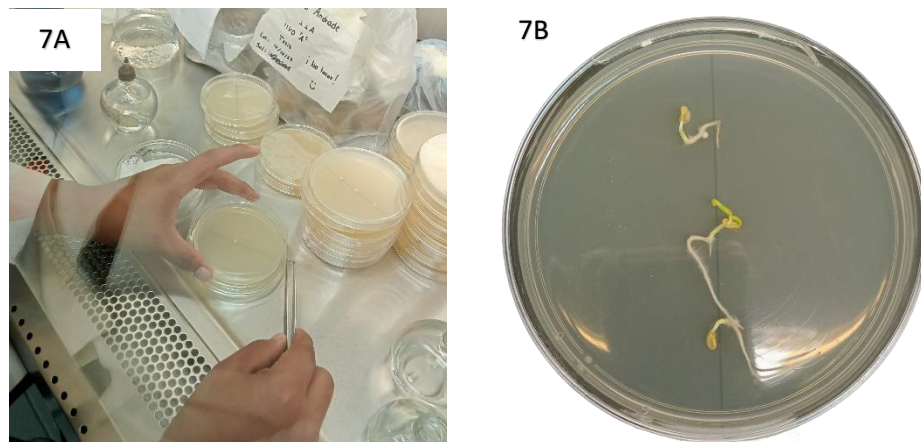


Figura 7:

7A. Colocación de semilla en medio PDA para proceso de germinación.

7B. Semillas germinadas listas para inocular.

Fuente propia, 2023.

3.1.8 Pruebas de antagonismo *in vitro* (inoculación)

Después de un periodo de 9 días donde las semilla se colocaron en las placas de agar de PDA, se inoculo con los hongos (*J800*, *D500* y *A150*) a trabajar en el diseño experimental planteado, el procedimiento se realizó dentro de gabinete de seguridad con ayuda de lámparas de alcohol para mantener el área estéril, se realizó un corte de los aislamientos (*J800*, *D500* y *A150*) y cada uno se colocó en un extremo de la placa, como se muestra en la imagen, de manera que las esporas toquen el medio y siendo muy cuidadoso de no contaminar el germinado tocándolo con el hongo, repitiendo este proceso con el hongo patógeno *Fusarium spp.* a temperatura ambiente, realizando el monitoreo en un periodo de 7 días.



Figura 8:

8A. Aislamiento A150 contra Fusarium spp

8B. Aislamiento J800 contra Fusarium spp.

8C. Aislamiento D500 contra Fusarium spp. Fuente propia, 2023.

3.1.9 Crecimiento radial de los hongos

Durante los 7 días de monitoreo se realizaron mediciones del crecimiento radial de ambos hongos y de la distancia entre cada uno de la semilla germinada.

Con ayuda de un vernier de la marca (Surtek) se registró el crecimiento que fueron desarrollando los hongos, este procedimiento se realizó dentro del gabinete de seguridad bajo el área estéril para prevenir cualquier contaminación, y la medición se realizó cada 24 horas por encima de la placa.

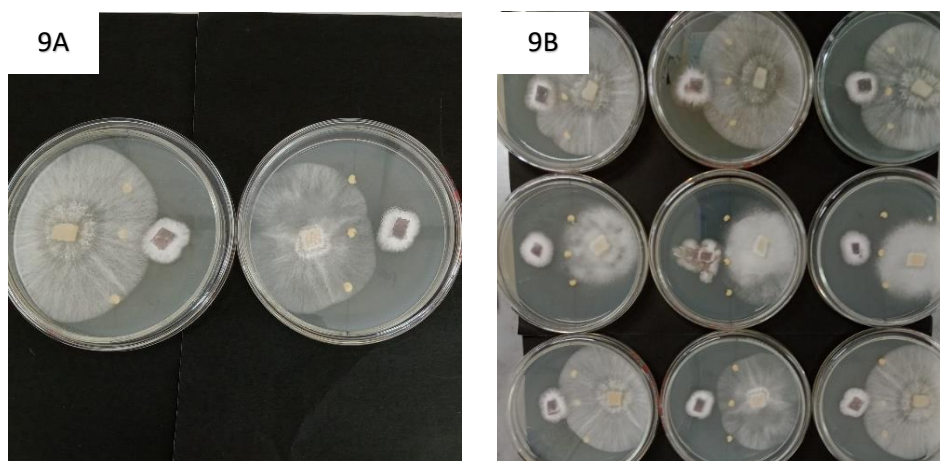


Figura 9:

9A. Crecimiento radial in vitro de J800 vs Fusarium spp.

9B. Crecimiento radial de cepas (fila 1 J800, fila 2 D500 y fila 3 A150) contra Fusarium spp.

Fuente propia, 2023.

3.1.9.1 Medición del germinado

Después de un periodo de 9 días de proceso de germinación de la semilla, y los 7 días de monitoreo durante la aplicación de la prueba de antagonismo con los hongos benéficos (*J800*, *D500* y *A150*) contra el fitopatógeno *Fusarium spp*, se realizó la medición de la longitud del germinado desde la raíz a la hoja con ayuda de un Vernier (Surtek), esto expresado en centímetros (cm) para posteriormente analizar cual aislado favoreció su crecimiento y ayudo a inhibir el *Fusarium spp*.

3.1.10 Análisis estadístico

Se realizó un análisis estadístico mediante la prueba de Tukey por medio del programa SAS, como primer paso se hizo una agrupación de datos, tomando en cuenta las mediciones radiales de los hongos filamentosos en los 7 días de monitoreo. Se dividieron los tratamientos por su codificación (*J800*, *A150* y *D500*) para posteriormente obtener las medias individuales y ver si algún tratamiento fue diferente.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Resultados y discusión

En los resultados obtenidos en la prueba de antagonismo del hongo filamentoso J800 contra *Fusarium spp* se logra ver gráficamente como creció radialmente más rápido que el *Fusarium spp* desde el primer día, logrando una inhibición evidente macroscópicamente en el séptimo día como se muestra en la figura 10., pero el crecimiento del germinado de la semilla se vio afectado ya que no se logró desarrollar como se muestra en la figura 15A.

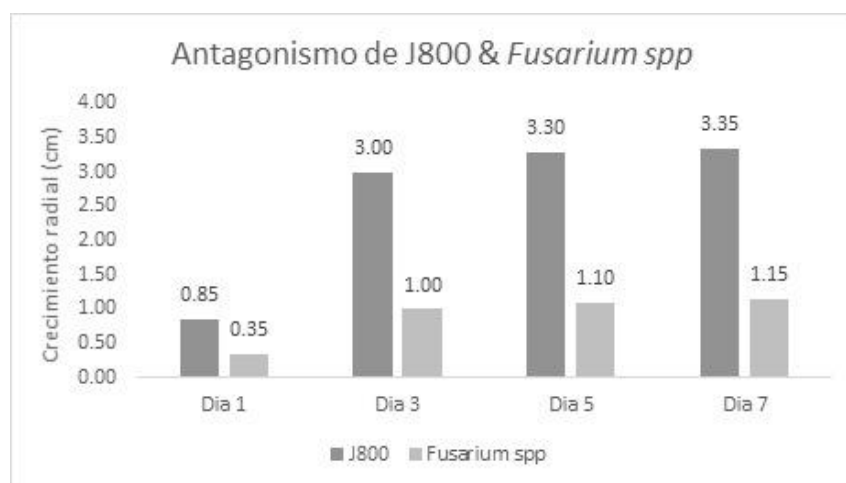


Figura 10. Antagonismo de J800 & *Fusarium spp*. Fuente propia, 2024.

En la prueba de antagonismo del hongo filamentoso D500 contra *Fusarium spp* se obtuvieron excelentes resultados, desde las primeras 24 horas creciendo de manera más acelerada que el fitopatógeno, logrando así al séptimo día inhibir totalmente la placa hasta rodear al *Fusarium spp*, y logrando desarrollar completamente el germinado de la semilla de chile serrano como se muestra en la figura 15B.

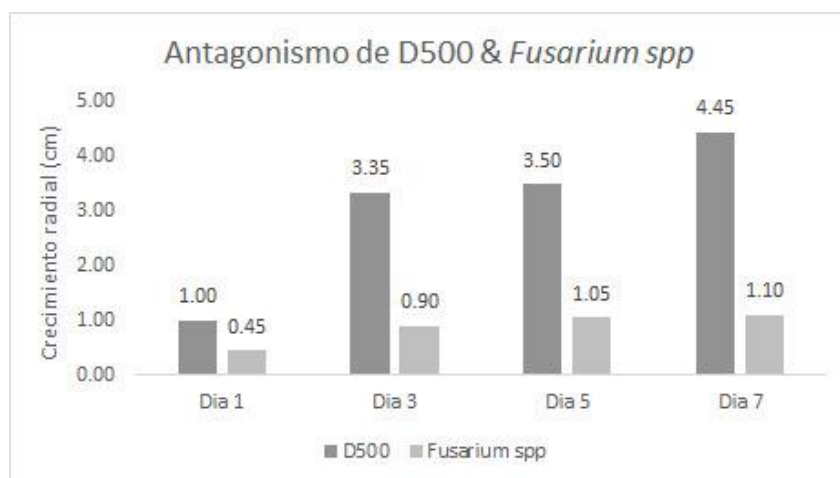


Figura 11. *Antagonismo de D500 & Fusarium spp*. Fuente propia, 2024.

En la última prueba que fue del hongo filamentoso A150 contra *Fusarium spp* se mostraron resultados evidentes en inhibición desde el primer día hasta el séptimo contra el fitopatógeno, pero no favoreció al crecimiento del germinado de chile.

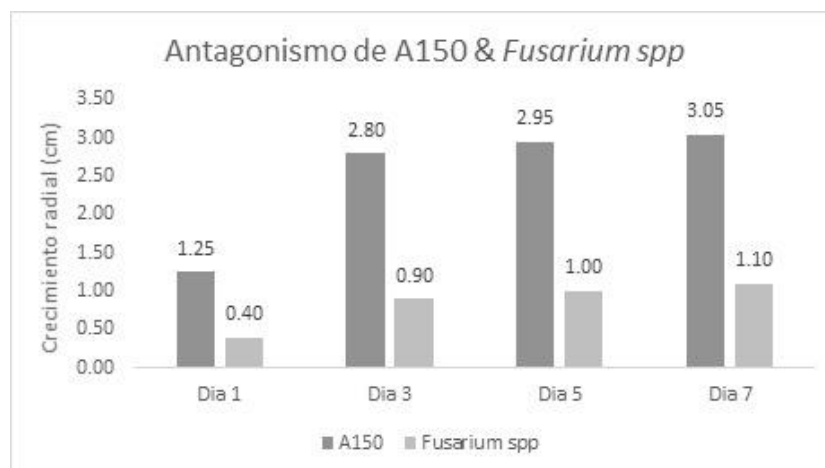


Figura 12. *Antagonismo de A150 & Fusarium spp*. Fuente propia, 2024.

Se muestra el antagonismo de los hongos filamentosos contra *Fusarium spp.*, se logra apreciar de manera macroscópica como cada aislamiento (*J800*, *D500* y *A150*) no deja proliferar al fitopatógeno *Fusarium spp* e invade su alrededor como se muestran en las figuras 10.

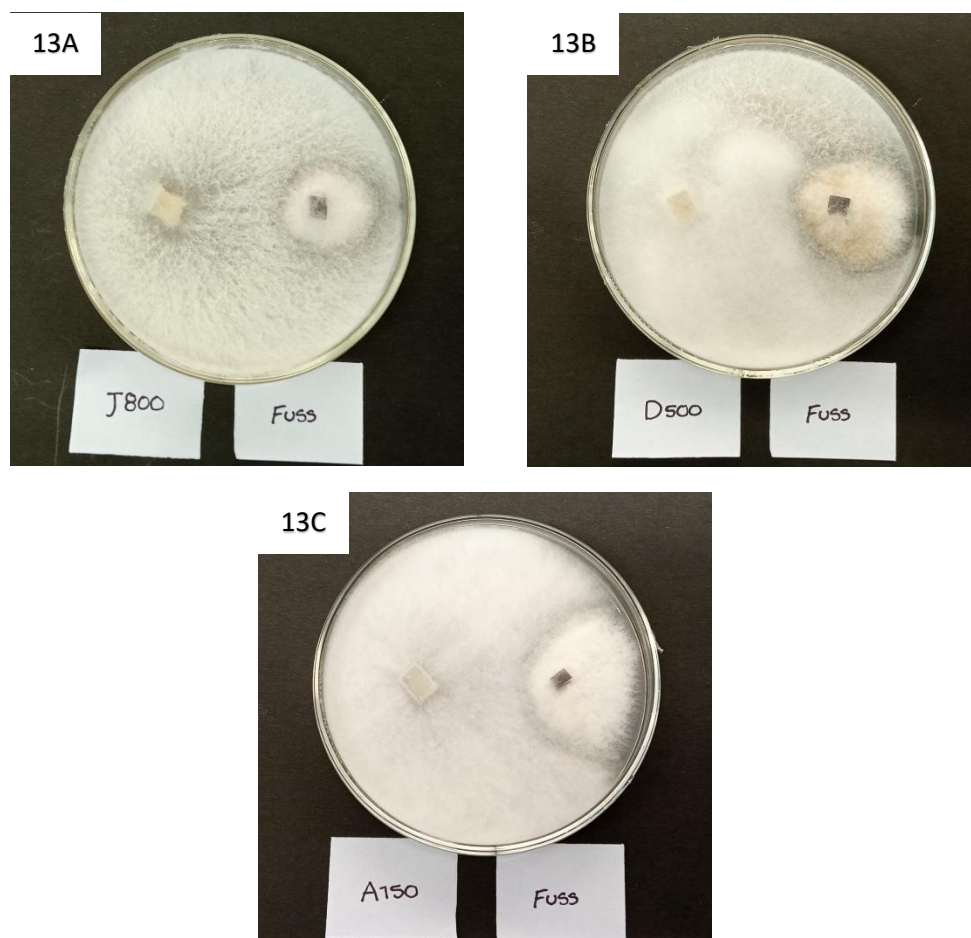


Figura 13:

13A. Prueba de antagonismo J800 vs. Fusarium spp.

13B. Prueba de antagonismo D500 vs. Fusarium spp.

13C. Prueba de antagonismo A150 vs. Fusarium spp. Fuente propia, 2023.

De las muestras del germinado en las cuales se aplicó la prueba de antagonismo obtuvimos los resultados esperados, los aislamientos (*J800*, *D500* y *A150*) crecieron de una manera más acelerada que el *Fusarium spp.*, esto ayudo a que invadiera más el área de la placa e inhibió el crecimiento del *Fusarium spp.* hasta rodear el fitopatógeno.



Figura 14A. Prueba de inhibición del aislamiento D500 contra *Fusarium spp.* Fuente propia, 2023.

En las observaciones macroscópicas se observa el crecimiento radial de cada aislamiento contra *Fusarium spp.*, y como crecen de manera más acelerada, dando como resultado que los aislamientos *J800*, *D500* y *A150* como excelentes antagonistas para un control biológico.

En otro estudio llevado a cabo donde se llevaron a pruebas de antagonismo de hongos antagonistas contra fitopatógenos (Andrade *et al.*, 2019) en pruebas *in vitro* que se llevó a cabo con tres especies de hongos antagonistas, el resultado fue optimo ya que se mostró eficacia en la competencia por espacio y nutrientes, además de la habilidad parasítica que compartía con los fitopatógenos (*Rhizoctonia solani*, *Fusarium oxysporum* y *P. capsici*) observaron cómo los hongos antagonistas rodeaban al micelio de los fitopatógenos. Concluyendo que *T. asperellum*, *T. viride* y *T. harzianum* son antagonistas eficaces para erradicar a los fitopatógenos que causan la marchitez del chile.

En el caso de la semilla germinada dentro de la placa Petri con los aislamientos se logró observar el desarrollo de cada una de ellas que, el J800 tuvo un desarrollo de la planta de 1.9 cm, el A150 fue menor ya que solo creció 1.2 cm, mientras que en el aislamiento D500 creció 4.9 cm siendo en donde tuvo mayor resultado en cuanto a desarrollo y el tamaño más cercano a nuestra planta control que fue de 5.2 cm.

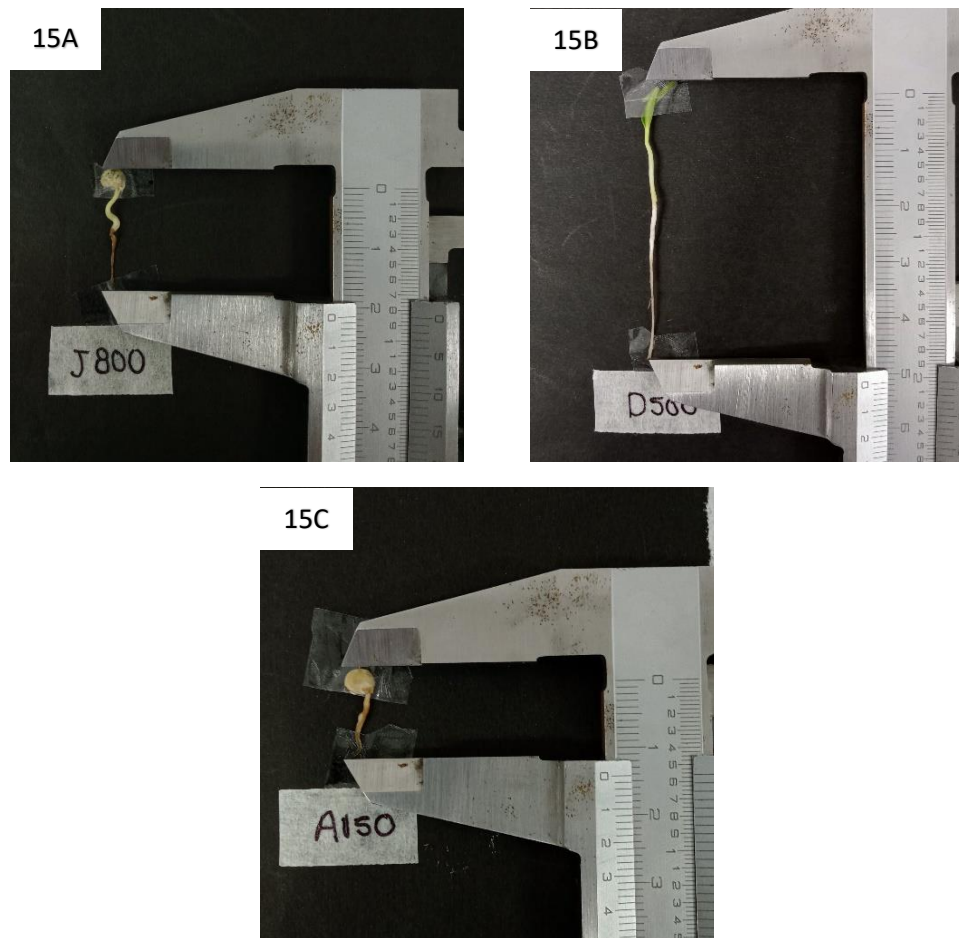


Figura 15:

15A. Germinado en aislamiento J800.

15B. Germinado en aislamiento D500.

15C. Germinado en aislamiento A150. Fuente propia, 2023.

Se evaluó las medias individuales de los tres tratamientos empleados por el método Tukey, en donde estadísticamente el hongo filamentoso codificado como D500 y A150 son iguales, demostrando el mismo grado de inhibición hacia el fitopatógeno, mientras que el hongo filamentoso codificado como J800 mostro mayor grado de inhibición y crecimiento más acelerado que los otros tratamientos.

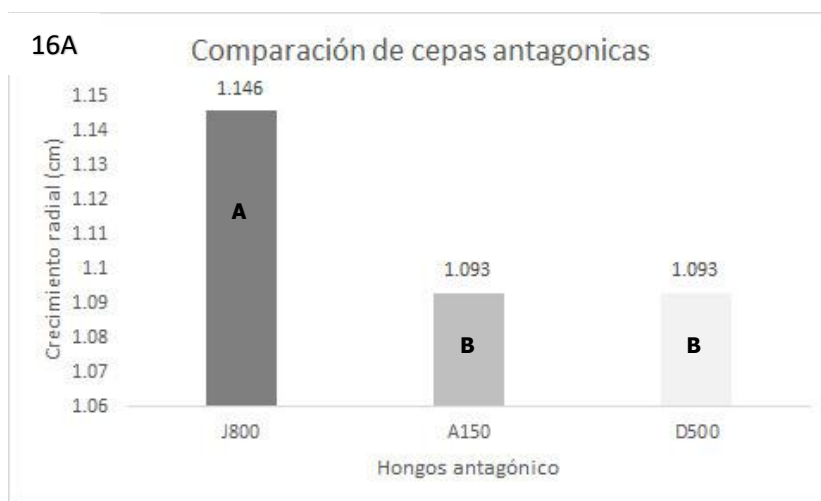


Figura 16A. Valores con la misma letra dentro de las columnas, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

Diferencia mínima significativa honesta: 0.0251; Error: 0.0001

CRES: Crecimiento radial de hongo antagonico (cm).

Fuente propia, 2023.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

5.1 Conclusiones

5.2.1 Conclusiones de objetivos general

La aplicación de cepas nativas de microorganismos de suelos fértiles de Teziutlán, Puebla, permitió la selección de un hongo antagónico que actúa contra el fitopatógeno *Fusarium spp.*, ya que en los resultados presentaron excelentes efectos de inhibición en las pruebas *in vitro*, tomando en cuenta que se trabajó a diferentes condiciones de los suelos de donde fueron extraídos. El uso de biofertilizantes es recomendado para sustituir la fertilización más usada hoy en día que es la sintética y daña los suelos, el objetivo ahora es eliminar el uso de estos químicos para mantener mejores condiciones de los suelos y mejores respuestas en cuanto a producción y calidad en los cultivos de chile serrano.

5.2.2 Conclusiones de objetivos específicos

La reactivación de aislamientos para la prueba de inhibición y selección de hongos filamentosos presentaron efectividad en las pruebas *in vitro*, mostrando alternativas biológicas para el control de este hongo fitopatógeno (*Fusarium spp.*) que enferma y mata a la planta de chile serrano (*Capsicum annuum*).

5.4 Aportaciones originales

El desarrollo de un control biológico a partir de hongos filamentosos es una gran alternativa, la ventaja es que la zona de Teziutlán Puebla cuenta con suelos fértiles en el cual habitan estos hongos y esta manera facilita su recolección, el control biológico beneficiaría los agricultores de la zona y ayudaría a disminuir el uso de fertilizantes químicos que desde años han estado dañando los suelos, se aplicaría a todo tipo de cultivos que se produzcan a la zona.

5.5 Limitaciones del modelo planteado

Se tuvo listo el diseño experimental para las pruebas *in vivo*, pero debido a circunstancias meteorológicas en la zona se dificultó llevarlas a cabo, ya que las condiciones óptimas de crecimiento de la semilla de chile son de 25 °C con luz solar y la zona de Teziutlán estuvo por debajo de los 10 °C con lluvias.

La falta de equipo en el laboratorio para mantener una óptima temperatura para el crecimiento de los hongos filamentosos.

Otra de las limitaciones fue la falta de mantenimiento en el laboratorio de microbiología, ya que presente una plaga de ácaros que retardo el desarrollo del proyecto.

5.6 Recomendaciones

Se recomienda el seguimiento del proyecto, aunque obtuvimos excelentes resultados se puede seguir llevando a cabo más procesos experimentales para lograr hacer un correcto control biológico por medio de los hongos filamentosos trabajados.

CAPÍTULO VI

COMPETENCIAS DESARROLLADAS

6.1 Competencias desarrolladas y/o aplicadas

Las competencias desarrolladas durante la preparación del trabajo publicado fueron las siguientes:

- Responsabilidad
- Organización
- Trabajar a tiempo.
- Establecer un tiempo para implementar una metodología.
- Manipulación de materiales y equipos de laboratorio.
- Preparación de medios selectivos.
- Capacidad de adaptación al entorno y horarios de trabajo.
- Profundizar los conocimientos adquiridos en las materias de la carrera en el laboratorio de microbiología.
- Implementar estrategias para buscar información de una variedad de fuentes confiables.
- Aprender técnicas de aislamiento y cultivo de hongos filamentosos.
- Mantener un entorno seguro dentro y fuera del laboratorio donde se llevan a cabo las metodologías planteadas.

CAPÍTULO VII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7.1 Referencias bibliográficas

- Andrade-Hoyos, P., Luna-Cruz, A., Osorio-Hernández, E., Molina-Gayosso, E., Landero-Valenzuela, N., & Barrales-Cureño, H. J. (2019). Antagonismo de *Trichoderma* spp. vs hongos asociados a la marchitez de chile. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(6), 1259-1272.
- Andrade-Hoyos, P., Luna-Cruz, A., Osorio-Hernández, E., Molina-Gayosso, E., Landero-Valenzuela, N., & Barrales-Cureño, H. J. (2019). Antagonismo de *Trichoderma* spp. vs hongos asociados a la marchitez de chile. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(6), 1259-1272.
- Bashan Y., and Holguin, G. 1998. Proposal for the division of plant growth-promoting rhizobacteria into two classifications: biocontrol PGPB (plant growth-promoting bacteria) and PGPB. *Soil Biol. Biochem.* 30, 1225-1228.
- Bobadilla-Larios, V., Esparza-Ibarra, E., Delgadillo-Ruiz, L., Gallegos-Flores, P., & Ayala-Lujan, J. L. (2017). Variedades de chile (*Capsicum annuum* L.) identificadas mediante marcadores RAPD. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20(3), 465-473.
- Bustamante, E. (1999). Control biológico de patógenos de plantas. *OIOE1 Li*, 17.
- Calvo-Araya, J. A., Rivera-Coto, G., Orozco-Cayasso, S., & Orozco-Rodríguez, R. (2012). Aislamiento y evaluación in vitro de la antagonistas de *Botrytis cinerea* en mora. *Agronomía mesoamericana*, 23(2), 225-231.
- Chacón Aguayo, A. L. (2011). Conocimiento campesino sobre plagas asociadas al cultivo del chile poblano (*Capsicum annuum* L) y evaluación de la toxicidad de insecticidas sobre *Chrysoperla carnea* (Stephens), en San Matias Tlalancaleca, Puebla, México (Master's thesis).

- Cifuentes, E. L. A., & Espinosa, P. A. (2008). Aislamiento e identificación de hongos filamentosos de muestras de suelo de los páramos de Guasca y Cruz Verde. Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. 204pp.
- Companioni González, B., Domínguez Arizmendi, G., & García Velasco, R. (2019). Trichoderma: su potencial en el desarrollo sostenible de la agricultura. *Biotecnología Vegetal*, 19(4), 237-248.
- Delgado Ramírez, G., Inzunza Ibarra, M. A., Castorena, V., Magdalena, M., Catalán Valencia, E. A., & Román López, A. (2014). Evaluación de tecnología para maximizar la producción de chile serrano en la Región Lagunera. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(8), 1557-1565.
- Escobar Martínez, P. Y. (2008). Actividad insecticida de bacterias asociadas al cultivo de chile (*Capsicum annuum* L.) y aisladas del *Anthonomus eugenii* Cano como alternativa de control biológico en esta plaga.
- García, P. M., González, J. M. T., Estévez, C. V. (2010). Análisis de factores ecofisiológicos que influyen en la expresión de genes relacionados con las biosíntesis de toxinas en especies de *Fusarium*. Univesidad Complutense de Madrid. 234 p.
- Hernández López E. (2019). Especies de *Fusarium* Asociadas a la Secadera de Chile Serrano (*Capsicum Annuum* L.) del Sur de Tamaulipas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de parasitología.
- Hunziker, A.T. (1979). "South america Solanaceae: a synoptic survey". In: *Biology and Taxonomy of Solanaceae*. Ed. for J.K. Hawkes, R.L. Lester, A.D. Skelding. Linnean Society Symposium, Series, No. 7. Academic Press, New York, pp. 49-85.
- Infante, D., Martínez, B., González, N., & Reyes, Y. (2009). Mecanismos de acción de *Trichoderma* frente a hongos fitopatógenos. *Revista de protección vegetal*, 24(1), 14-21.

- Lucy, M., Reed, E., Glick, B. R. 2004. Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. *Antonie Van Leeuwenhoek*. 86, 1-25.
- Manzo Sánchez G., Canto Canché B., y James Kay A. (2005). Hongos patógenos: enemigos versátiles. *Revista de ciencia*.
- Martínez, B., Infante, D., & Reyes, Y. (2013). *Trichoderma* spp. y su función en el control de plagas en los cultivos. *Revista de Protección Vegetal*, 28(1), 1-11.
- Matute Calle, P. F. (2019). Control biológico del moho gris (*Botrytis cinerea*) en cultivos de fresa (*Fragaria vesca* L.) mediante hongos filamentosos antagonistas (Bachelor's thesis).
- Molina, S. E. (2006). Manejo de plagas del follaje y apatogenos de suelo del cultivo de pascua (*Euphorbia oulcherrima* Willd ex. Klotzsch) para exportación de esquejes, en la empresa Paul Ecke de Guatemala SA, San Juan Alotenango, Sacatepéquez (Doctoral dissertation, Tesis, Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía). 102 p.
- Navarro García, G. (2023). Fertilizantes. Química y acción. Ediciones Mundi-Prensa.
- Ortiz-Martínez, L. E., Ochoa-Martínez, D. L., Rojas-Martínez, R. I., Aranda-Ocampo, S., & Cruz, M. Á. G. (2022). Respuesta de variedades de chile a la infección con Tomato brown rugose fruit virus. *Summa Phytopathologica*, 47, 209-215.
- Paredes, D., Campos, M., & Cayuela, L. (2013). El control biológico de plagas de artrópodos por conservación: técnicas y estado del arte. *Ecosistemas*, 22(1), 56-61.
- Perniola, O. S., Staltari, S., Chorzempa, S. E., Astiz Gassó, M. M., & Molina, M. D. C. (2014). Control biológico de *Fusarium graminearum*: utilización de *Trichoderma* spp. y biofumigación con parte aérea de *Brassica juncea*. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 46(2), 45-56.

- Pickersgill, B. (1984). "Migration of chili peppers, *Capsicum* spp. in the Americas". In: Papers of the Peabody Museum of Archeology and Ethnology. Ed. for Stone D. vol. 76. Harvard University Press, pp. 105-123.
- Pineda-Insuasti, J. A., Benavides-Sotelo, E. N., Duarte-Trujillo, A. S., Burgos-Rada, C. A., Soto-Arroyave, C. P., Pineda-Soto, C. A., ... & Álvarez-Ramos, S. E. (2017). Producción de biopreparados de *Trichoderma* spp: una revisión. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 51(1), 47-52.
- Ríos, E. L. V. (2014). Caracteres principales, ventajas y beneficios agrícolas que aporta el uso de *Trichoderma* como control biológico. Revista Científica Agroecosistemas, 2(1).
- Rios-Hernández, T. A., Uc-Varguez, A., & Evangelista-Martínez, Z. (2021). Control biológico de *Fusarium oxysporum*, agente causal de la pudrición del cormo en gladiolo, mediante estreptomicetos. Revista mexicana de fitopatología, 39(3), 391-413.
- Robles-Hernández, L., Hernández-Huerta, J., González-Franco, A. C., Hernández-Rodríguez, O. A., Núñez-Barrios, A., & Pérez-Leal, R. (2015). *Streptomyces* PRIO41 como promotor de crecimiento en plantas de chile jalapeño y agente de control biológico de *Fusarium*. Phytón (Buenos Aires), 84(2), 253-261.
- Rodríguez Martínez C., y Zhurbenko R. (2018). Manual de medios de cultivo. (Cuarta edición). Centro Nacional de Biopreparados. BioCen.
- Rojas Sierra, J., & Moreno Sarmiento, N. (2008). Producción y formulación de prototipos de un biofertilizante a partir de bacterias nativas asociadas al cultivo de arroz (*Oryza sativa*). Revista Colombiana de Biotecnología, 10(2), 50-62.
- Summerell, B. A., Salleh, B., Leslie, J. F. (2003) A utilitarian approach to *Fusarium* identification. Plant Disease. 87: 117-128.

- Tapia, C., & Amaro, J. (2014). Género *Fusarium*. Revista chilena de infectología, 31(1), 85-86.
- Velásquez, V. V. R.; Reveles, T. L. R. y Reveles, H. M. (2013). Manejo de las principales enfermedades del chile para secado en el norte centro de México. Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC-INIFAP. Folleto técnico núm. 50. 57 p.
- Velásquez-Valle, R., Medina-Aguilar, M. M., & Luna-Ruiz, J. D. J. (2001). Sintomatología y géneros de patógenos asociados con las pudriciones de la raíz del chile (*Capsicum annuum* L.) en el Norte-Centro de México. Revista Mexicana de Fitopatología, 19(2), 175-181.
- Villagarcía, S., & Aguirre, G. (2014). Manual de uso de fertilizantes para las condiciones del Perú. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Villa-Martínez, A., Pérez-Leal, R., Morales-Morales, H. A., Basurto-Sotelo, M., Soto-Parra, J. M., & Martínez-Escudero, E. (2015). Situación actual en el control de *Fusarium* spp. y evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales. Acta agronómica, 64(2), 194-205.
- Zaragoza Hernández O. (2018). Los hongos microscópicos, ¿amigos o enemigos?. Instituto de salud Carlos III. Más que salud.

CAPÍTULO VIII

ANEXOS

8.1 Anexos

**EDUCACIÓN**
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



**TECNOLÓGICO**
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico Superior
de Teziutlán

Asunto: **Asignación de Asesor(a), Comisión Revisora, Entrega de Trabajo Profesional y Dictamen**

Teziutlán, Puebla, **15/enero/2024**

Asesor(a): **JACQUELIN LEON BAEZ**
Integrante de Comisión Revisora: **DULCE MARIA HERNANDEZ DEGANTE**
Integrante de Comisión Revisora: **ELIZABETH LIBREROS SIMON**
Presentes

Por este medio me permito informar que ha sido asignado como asesor(a) y comisión revisora del trabajo profesional que se convertirá en Tesis de:

Alumno(a):	MEDINA MOCTEZUMA ANDRES		
	Apellido paterno/materno/hombre (s)		
Número de Control:	19TE0812	Licenciatura o Posgrado:	INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
Plan:	2010	Correo Electrónico:	L19TE0812@TEZIUTLAN.TECNM.MX

Cuyo tema es: **EVALUACION DEL EFECTO ANTAGONICO DE HONGOS FILAMENTOSOS CONTRA FUSARIUM SPP EN PRUEBAS IN VITRO EN CHILE**

25 palabras (máximo)

Se ha enviado a su correo institucional el trabajo profesional o de grado, por lo cual la comisión revisora tendrá 5 días hábiles para realizar las observaciones al alumnado, el(la) interesado(a) tendrá igualmente **5 días** para corregir y las enviará al correo electrónico institucional de la comisión revisora, agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de licenciatura o de posgrado de nuestro alumnado egresado.

Dictamen de Comisión Revisora, Aprobación de Impresión o Grabación y Autorización para subirla al Repositorio del TecNM

Siendo el día: 8 de febrero de 2024 se reunieron los miembros de la comisión para revisar el trabajo asignado y una vez analizado se decidió liberarlo y aprobarlo para su grabación y programación de examen profesional.

 JACQUELIN LEON BAEZ Nombre y Firma del(a) Asesor(a)	 DULCE MARIA HERNANDEZ DEGANTE Nombre y Firma de Integrante de la Comisión Revisora
 ELIZABETH LIBREROS SIMON Nombre y Firma de Integrante de la Comisión Revisora	 MYRIAM SANCHEZ PEREZ Subdirección Académica

R08/06/2023
Folio:47

GOBIERNO DEL ESTADO
S.E.P.
INSTITUTO TECNOLÓGICO
SUPERIOR DE TEZIUTLÁN
SUBDIRECCIÓN
ACADÉMICA

F-SAC-18

**TEC**
de Teziutlán

**100% PLÁSTICO**

**PUEBLA**

Fracción 1 y 11 s/n Aire Libre, Teziutlán, Puebla, C.P. 73960 Tels. 231 311 4000 / 4001 / 4002 / 4003
e-mail: itsteziutlan@hotmail.com | www.teziutlan.tecnm.mx

**2024**
Felipe Carrillo
PUERTO
GOBIERNO DEL ESTADO DE PUEBLA

Figura 16. Dictamen. Fuente: Subdirección académica ITST, 2024.

LICENCIA DE USO OTORGADA POR Andrés Medina Moctezuma, de nacionalidad Mexicana, mayor de edad, con domicilio ubicado en la calle 6 de enero #16, en la Colonia Guadalupe de Hidalgo en la ciudad de Espinal, Veracruz, en mi calidad de titular de los derechos patrimoniales y morales y autor(a) de la tesis denominada "Evaluación del efecto antagónico de hongos filamentosos contra *Fusarium spp* en pruebas *in vitro* en Chile" en adelante "LA OBRA" quien para todos los fines del presente documento se denominará "EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR", a favor del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán del Tecnológico Nacional de México, la cual se regirá por las cláusulas siguientes:

PRIMERA –OBJETO: "EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR", mediante el presente documento otorga al Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán del Tecnológico Nacional de México, licencia de uso gratuita e indefinida respecto de "LA OBRA", para almacenar, preservar, publicar, reproducir y/o divulgar la misma, con fines académicos, por cualquier medio en forma física y a través del repositorio institucional y del repositorio nacional, éste último consultable en la página: (<https://www.repositorionacionalcti.mx/>).

SEGUNDA - TERRITORIO: La presente licencia se otorga, de manera no exclusiva, sin limitación geográfica o territorial alguna, de manera gratuita e indefinida.

TERCERA -ALCANCE: La presente licencia contempla la autorización para formato uso de "LA OBRA" en cualquier formato o soporte material y se extiende a la utilización, de manera enunciativa más no limitativa a los siguientes medios: óptico, magnético, electrónico, virtual (en red), mensaje de datos o similar, conocido o por conocerse.

CUARTA – EXCLUSIVIDAD: La presente licencia de uso aquí establecida no implica exclusividad en favor del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán; por lo tanto, "EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR" conserva los derechos patrimoniales y morales de "LA OBRA", objeto del presente documento.

QUINTA – CRÉDITOS: El Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán y/o el Tecnológico Nacional de México reconoce que "EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR" es el(la) único(a), primigenio(a) y perpetuo(a) titular de los derechos morales sobre "LA OBRA"; por lo tanto, siempre deberá otorgarle los créditos correspondientes por la autoría de la misma.

SEXTA – AUTORÍA: "EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR" manifiesta ser el(la) único(a) titular de los derechos de autor que derivan de "LA OBRA" y declara que el material objeto del presente fue realizado por él(ella), sin violentar o usurpar derechos de propiedad intelectual de terceros; por lo tanto, en caso de controversia sobre los mismos, se obliga a ser el(la) único(a) responsable. Dado en la Ciudad de Teziutlán, Puebla, a el primer día del mes febrero de 2024.

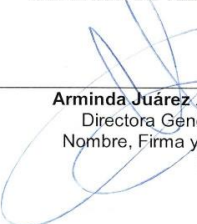
"EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR",  _____ Andrés Medina Moctezuma Nombre y Firma	"EL INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TEZIUTLÁN"   _____ Arminda Juárez Arroyo Directora General Nombre, Firma y Sello
---	--

Figura 17. Licencia de uso. Fuente: Subdirección académica ITST, 2024.

Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán

CARTA DE AUTORIZACIÓN DEL(LA) AUTOR(A) PARA LA CONSULTA Y
PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

El que suscribe:

ANDRÉS

MEDINA

MOCTEZUMA

Con Número de
Control **19TE0812**

Perteneciente
al Programa **INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**
Educativo

Por este conducto me permito informar que he dado mi autorización para la consulta
y publicación electrónica del trabajo de investigación en los repositorios
académicos.

Registrado con
el producto: **TESIS**

Cuyo Tema es:

**EVALUACIÓN DEL EFECTO ANTAGÓNICO DE HONGOS FILAMENTOSOS CONTRA *FUSARIUM SPP* EN
PRUEBAS *IN VITRO* EN CHILE.**

Correspondiente al periodo:

AGOSTO-DICIEMBRE 2023

Y cuyo(a) director(a) de tesis es:

M.B.P. JACQUELIN LEÓN BÁEZ

ATENTAMENTE



ANDRÉS MEDINA MOCTEZUMA

Nombre y firma

Fecha de emisión: **08/02/2024**
c.c.p. Subdirección Académica

Figura 18. Carta de autorización. Fuente: Subdirección académica ITST, 2024.

Índice de figuras

Figura 1:	27
1A. Trichoderma harzianum microscópico.	27
1B. Trichoderma harzianum en placa.	27
Figura 2 A1. Chile serrano (Capsicum annuum).....	28
Figura 3. Diagrama del proceso experimental.	33
Figura 4Ay 4B. Aislamientos de hongos antagonísticos (J800, E800 y J150) contra Fusarium spp que fueron resemebrados y en la figura 4B se muestra j800 en medio PDA.	34
Figura 5:	36
5A. Preparación de Medio de cultivo PDA.....	36
5B. Solidificación en Placas Petri.	36
Figura 6:	37
6A. Sanitización de semilla de chile (Capsicum annuum) en solución de hipoclorito de sodio (NaClO) al 0.5%.	37
6B. Sanitización de semilla de chile (Capsicum annuum) en solución jabonosa en agitación.	37
Figura 7:	38
7A. Colocación de semilla en medio PDA para proceso de germinación.	38
7B. Semillas germinadas listas para inocular.	38
Figura 8:	39
8A. Aislamiento A150 contra Fusarium spp	39
8B. Aislamiento J800 contra Fusarium spp.	39
8C. Aislamiento D500 contra Fusarium spp.	39
Figura 9:	40
9A. Crecimiento radial in vitro de J800 vs Fusarium spp.	40
9B. Crecimiento radial de cepas (fila 1 J800, fila 2 D500 y fila 3 A150) contra Fusarium spp.	40
Figura 10:	iError! Marcador no definido.
10A. Germinado en aislamiento D500.....	iError! Marcador no definido.
10B. Germinado en aislamiento A150.	iError! Marcador no definido.
10C. Germinado en aislamiento J800. Fuente propia.	iError! Marcador no definido.
Figura 11A. Prueba de inhibición del aislamiento D500 contra Fusarium spp..	46
Figura 12:	45
11A. Prueba de antagonismo J800 vs. Fusarium spp.	45
11B. Prueba de antagonismo D500 vs. Fusarium spp.	45
11C. Prueba de antagonismo A150 vs. Fusarium spp.	45
Figura 12. Micro túnel para llevar a cabo las pruebas in vitro.	iError! Marcador no definido.
Figura 13. Resembrado de aislamientos (J800, D500 y A150) en medios PDA.	66

Índice de tablas

<i>Tabla 1. Clasificación taxonómica del Fusarium</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 2. Clasificación taxonómica de chile serrano.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 3. Temperaturas óptimas para el cultivo de chile.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 4. Composición del chile</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 5. Características macroscópicas de hongos Trichoderma.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 6. Prueba de antagonismo en placa PDA (Día 1).....</i>	<i>iError! Marcador no definido.</i>
<i>Tabla 7. Prueba de antagonismo en placa PDA (Día 3).....</i>	<i>iError! Marcador no definido.</i>
<i>Tabla 8. Prueba de antagonismo en placa PDA (Día 5).....</i>	<i>iError! Marcador no definido.</i>



Figura 17A. Resembrado de aislamientos (J800, D500 y A150) en medios PDA. Fuente propia, 2023.