

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades



Evaluación del efecto de la aplicación del hongo *Trichoderma asperellum* en el suelo y hojas del chile pimiento híbrido (*Capsicum annuum*) variedad Top 141 para el control de hongos fitopatógenos

Trabajo de graduación presentado por Katty Jeasmin Pérez Quan para optar al grado de Licenciada en Biología

Guatemala

2019

Evaluación del efecto de la aplicación del hongo *Trichoderma asperellum* en el suelo y hojas del chile pimiento híbrido (*Capsicum annuum*) variedad Top 141 para el control de hongos fitopatógenos

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades



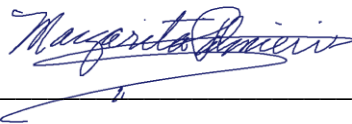
Evaluación del efecto de la aplicación del hongo *Trichoderma asperellum* en el suelo y hojas del chile pimiento híbrido (*Capsicum annuum*) variedad Top 141 para el control de hongos fitopatógenos

Trabajo de graduación presentado por Katty Jeasmin Pérez Quan para optar al grado de Licenciada en Biología

Guatemala

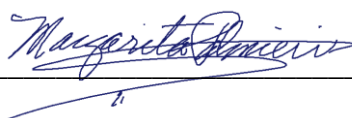
2019

Vo. Bo.:


(f) 

Licda. Margarita Palmieri


Tribunal Examinador:

(f) 

Licda. Margarita Palmieri

(f) 

MSc. Gabriela Alfaro

(f) 

Lic. Alejandro Vásquez

Fecha de aprobación: Guatemala, 27 de junio de 2019.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme tener la oportunidad de un logro más en la vida. Agradezco a mis papás por apoyarme en cada momento que lo necesité y por trabajar conmigo en la tesis, a mi hermano por acompañarme en los viajes de campo y a toda mi familia.

A mi amiga Andrea Juárez por auxiliarme y estar junto a mí en cada paso de la realización de la tesis, a Ana Gómez por brindarme apoyo anímico en momentos difíciles, a Nefi Morales por su apoyo incondicional y sus consejos y a Aldo Cerón por estar pendiente desde el inicio y auxiliarme cuando lo necesité.

A Maritza De León y Maria Fernanda Alarcón por trabajar con los análisis fúngicos en laboratorio, a Leyda por apoyarme, a Willander Ajpop por su trabajo y esfuerzo en sacar adelante este proyecto, a don Herlindo por apoyarnos en campo y en el invernadero.

A Maria Renée Álvarez por darme fuerzas para seguir adelante y escuchar mis primeras ideas, a Alejandro Vásquez por asesorarme estadísticamente, a Gabriela Alfaro por su guía a lo largo de todo este proceso.

A los miembros del personal administrativo y docente de la Universidad del Valle de Guatemala Central y Altiplano quienes fueron parte del esfuerzo.

Un agradecimiento especial a la Licenciada Margarita Palmieri por haber dirigido y orientado mi trabajo en esta investigación.

ÍNDICE

	Página
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE	vii
LISTA DE CUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
PALABRAS CLAVE	xv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
A. Antecedentes	3
B. Justificación.....	32
C. Objetivos.....	34
D. Hipótesis de trabajo.....	35
II. MÉTODOS.....	36
III. RESULTADOS.....	46
IV. DISCUSIÓN	55
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	62
VI. LITERATURA CITADA	64
VII. APÉNDICE	78
VIII. GLOSARIO	84

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Principales estándares de Guatemala para chile pimiento (<i>Capsicum frutescens</i>) no híbrido	9
2. Clasificación cualitativa del fruto del híbrido chile pimiento <i>Blocky</i> según su calidad	10
3. Clasificación cuantitativa del fruto del híbrido chile pimiento <i>Blocky</i> según su calidad	12
4. Programa de fertilización del suelo utilizado en el invernadero del campus UVG, Altiplano.....	40
5. Clasificación cuantitativa del fruto del híbrido del chile pimiento <i>Blocky</i> según la experiencia en los mercados de Sololá	46
6. Comparación entre tratamientos de valor p de las diferentes variables evaluadas para crecimiento de las plantas de chile pimiento basadas en las pruebas <i>post- hoc</i> (ANOVA de una vía y Kruskal-Wallis) con valor de alfa de 0.05	48
7. Hongos fitopatógenos presentes en las plantas de chile pimiento en primer y segundo muestreo bajo los diferentes tratamientos con <i>Trichoderma asperellum</i> y hongos que afectaron solo hasta la post cosecha.....	49

8. Hongos fitopatógenos presentes en las raíces de las plantas de chile pimiento en el segundo muestreo.....	51
9. Hongos fitopatógenos presentes en las hojas de las plantas de chile pimiento en el segundo muestreo.....	52
10. Presupuesto general de costos y producción del cultivo de chile pimiento tratados con <i>Trichoderma</i> sp. basados en la calidad de los frutos	54
11. Proyección 1 del presupuesto general de costos y producción del cultivo de chile pimiento tratados con <i>Trichoderma</i> sp. basados en la calidad de los frutos.	78-79
12. Proyección 2 del presupuesto general de costos y producción del cultivo de chile pimiento tratados con <i>Trichoderma</i> sp. basados en la calidad de los frutos.	79-80
13. Proyección 3 del presupuesto general de costos y producción del cultivo de chile pimiento tratados con <i>Trichoderma</i> sp. basados en la calidad de los frutos.	80-81
14. Machote para toma de datos (crecimiento) de los tratamientos en el primer y segundo muestreo del chile pimiento	82
15. Machote para toma de datos sobre calidad de frutos según características cuantitativas (longitud y ancho) entre los distintos tratamientos.....	83

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Áreas potenciales para el establecimiento de plantaciones de chile pimiento en Guatemala	3
2. Fruto del chile pimiento híbrido <i>Blocky Top 141</i>	7
3. Grados de madurez del chile pimiento. El fruto debe presentar el color rojo completamente homogéneo como se observa en el chile inferior derecho	11
4. Mancha foliar de rana en chile pimiento causado por <i>Cercospora capsici</i>	13
5. Conidióforos y conidios de <i>Cercospora capsici</i>	14
6. Estrangulamiento del tallo del chile pimiento.....	15
7. Micelio de <i>Rhizoctonia solani</i>	15
8. a) Esporangio de <i>Phytophthora infestans</i> b) Esporangióforo de <i>P. infestans</i>	15
9. Micelio de color blanco a nivel de suelo y en el tallo en chile pimiento causado por <i>Sclerotium rolfsii</i>	16
10. Morfología de micelio de <i>Sclerotium rolfsii</i>	16

11. Síntoma de coloración roja en el sistema vascular y síntoma de la enfermedad en la base de la planta causado por <i>Fusarium oxysporum</i>	17
12. Macronidios de <i>Fusarium oxysporum</i>	17
13. Síntomas causados por <i>Phytophthora capsici</i> en a) tallo, b) frutos y c) hojas de chile pimiento	18
14. Esporangios de <i>Phytophthora capsici</i>	19
15. Síntoma de oscurecimiento del sistema interno radicular de la planta de chile pimiento causado por <i>Verticillium dahliae</i>	20
16. Conidióforos de <i>Verticillium dahliae</i>	20
17. Síntomas de coloración marrón en los tejidos vegetales del chile pimiento causados por <i>Botrytis cinerea</i>	21
18. a.) Conidióforo y b) conidios de <i>Botrytis cinerea</i>	21
19. a) Lesión de antracnosis en el fruto verde de chile pimiento b) Conidios de <i>Colletotrichum</i> sp.....	22
20. Pudrición de fruto maduro de chile causado por <i>A. alternata</i>	23
21. a) Conidios de <i>Alternaria</i> sp. b) Esporangio de <i>Rhizopus</i> sp.	23
22. a) Síntoma de manchas de color verde claro o amarillo en la cara superior de las hojas b) Aparición de áreas afectadas de color blanco	24
23. Conidios de <i>L. taurica</i>	24

24. a) Síntoma de manchas de color verde claro o amarillo en la cara superior de las hojas b) Aparición de áreas afectadas de color blanco	25
25. a) Manchas marrones en el envés de la hoja causado por <i>C. fulvum</i> b) Manchas cloróticas en la hoja de chile c) conidios de <i>Cladosporium</i> sp.	25
26. Conidióforo y fiálides del <i>Trichoderma asperellum</i>	26
27. Localización del invernadero UVG Altiplano, Sololá Guatemala.....	36
28. Dimensiones del área del invernadero del campus UVG Guatemala y UVG Altiplano.....	37
29. Dimensiones de surcos y localización de tratamientos para la siembra de pilones de chile pimiento en el invernadero del campus UVG, Altiplano.....	41
30. Calidad del chile pimiento basado en el largo y ancho de los frutos	47
31. Conidios del hongo <i>Fusarium</i> sp.	50
32. Conidios del hongo <i>Alternaria</i> sp.	51
33. Conidios del hongo <i>Cladosporium</i> sp. presentes en las hojas de los chiles pimientos	51
34. Presencia de micelio blanco en hojas de chile pimiento. Enfermedad conocida como cenicilla.....	52

35. Presencia de paratriozas en el envés de la hoja del chile pimiento.....	53
---	----

RESUMEN

En este estudio evalué el efecto de la aplicación del hongo *Trichoderma asperellum*, una cepa nativa de Sololá, para el control de hongos fitopatógenos en el cultivo de chile pimiento (*Capsicum annuum*). Utilicé tres distintas formas de aplicación de la cepa. La primera consistió en humedecer el sustrato con *Trichoderma* sp. en el momento de siembra, a los 15 días después de la siembra y a los 30 días después de la siembra. En la segunda, los pilones tuvieron el mismo tratamiento y además les apliqué el hongo al pie de cada planta sembrada al momento del trasplante y a los 30 días después del trasplante. Para la tercera, apliqué el primer y segundo tratamiento y adicionalmente traté el follaje de las plantas utilizando la solución líquida con el hongo a los 15, 45 y 55 días a partir del trasplante. Para realizar esta evaluación me basé en la medición del control de presencia o ausencia de hongos fitopatógenos en la raíz y en el follaje, crecimiento de las plantas (altura y grosor del tallo, distanciamiento entre nudos, peso de la raíz y planta) y de la calidad del fruto (longitud y ancho).

El tercer método de aplicación (tercer tratamiento) del hongo produjo mayor cantidad de frutos de primera calidad y el primer método de aplicación del hongo produjo mayor cantidad de frutos de segunda calidad. Los tratamientos además no tuvieron ningún efecto en el crecimiento de la planta. Por último, identifiqué 12 géneros de hongos fitopatógenos: *Alternaria* sp., *Penicillium* sp., *Colletotrichum* sp., *Curvularia* sp., *Aspergillus* sp., *Cladosporium* sp., *Rhizopus* sp., *Fusarium* sp., *Drechslera* sp., *Paecilomyces* sp., *Chaetomium* sp. y *Bipolaris* sp. La aplicación de *Trichoderma* sp. en el suelo y hojas produce mayor cantidad de frutos de primera calidad y no tiene ningún efecto en las variables de crecimiento evaluadas en las plantas de chile pimiento.

ABSTRACT

I evaluated the application effect of *Trichoderma asperellum* in pepper (*Capsicum annuum*). I used three different ways to apply the strain. The first consisted of moistening the substrate with *Trichoderma* sp. at the time of sowing, at 15 days after sowing and at 30 days after sowing. In the second one, the plants had the same treatment of the fungus at the foot of each plant planted at the time of transplantation and 30 days after the transplant. For the third one, I applied the first and second treatments and additionally I treated the foliage of the plants using the liquid solution with the fungus at 15, 45 and 55 days after the transplant. To carry out this evaluation, I relied on the measurement of the control of the presence or absence of phytopathogenic fungi in the root and foliage, the growth of the plants (height and thickness of the stem, distance between nodes, weight of the root and plant) and the quality of the fruit (length and width, weight and coloration).

The third method of application (third treatment) of the fungus produces more quantity of first quality fruits and the first method of application of the fungus produces more quantity of second quality fruits. The treatments also had no effect on the growth of the plant. Finally, I identified 12 genera of phytopathogenic fungi: *Alternaria* sp., *Penicillium* sp., *Colletotrichum* sp., *Curvularia* sp., *Aspergillus* sp., *Cladosporium* sp., *Rhizopus* sp., *Fusarium* sp., *Drechslera* sp., *Paecilomyces* sp., *Chaetomium* sp. and *Bipolaris* sp. The application of *Trichoderma* sp. in the soil and leaves produces a higher quantity of first quality fruits and has no effect on the growth variables evaluated in pepper plants.

PALABRAS CLAVE: *Trichoderma*; control biológico; fitopatología; chile pimienta; variables; crecimiento; calidad.

I. INTRODUCCIÓN

El uso de metodologías químicas es efectivo y rápido como medidas de control de plagas. Sin embargo, la aplicación intensiva de productos químicos ha ocasionado desequilibrio ecológico (Nicholls, 2008). Esto ha aumentado la contaminación ambiental y biomagnificación (afectando la salud de seres vivos tanto seres humanos como animales) (Ibáñez, 2011), la selección de organismos altamente resistentes y la inestabilidad de agro sistemas (Ibarra *et al.*, 2006). Actualmente se está dando énfasis en una estrategia alternativa sustentable agroecológica basada en el control de microorganismos fitopatógenos por otros microorganismos llamado control biológico (Ibarra *et al.*, 2006; Nicholls, 2008).

El objetivo del control biológico es disminuir poblaciones de organismos perjudiciales (enemigos naturales) a una proporción que no cause daño económico, mantener su propia población y prevenir que la plaga retorne a grados poblacionales que causen daño (Nicholls, 2008). A pesar de que el control biológico tarda en establecerse en comparación con otras medidas, este es uno de los métodos más baratos a largo plazo, además de ser seguro, selectivo, eficiente (Nicholls, 2008) y ambientalmente amigable (Badii y Abreu, 2006).

El uso de microorganismos del suelo como control biológico de plagas y de enfermedades es importante pues brindan propiedades de fertilidad, funciones productivas, filtrantes y degradativas a los suelos en ecosistemas forestales y agrícolas (Acuña *et al.*, 2006). Además, los microorganismos brindan control fitosanitario, aumentan la calidad del producto y evitan la pérdida total de la planta (Ibarra *et al.*, 2006).

En el suelo existen grandes cantidades de microorganismos que viven en simbiosis con ciertos organismos y otros que provocan daños severos (Alarcón y Olivas, 2004). Existe un grupo de hongos benéficos para el desarrollo, crecimiento y vigor de las plantas. Este es el caso del género *Trichoderma* (Santana y Castellanos, 2018). Las diferentes especies de *Trichoderma* ejercen mecanismos de control mediante competencia directa por espacio de nutrientes, competencia por la antibiosis de nutrientes, producción de enzimas degradantes

de la pared celular fúngica, producción de sustancias promotoras de crecimiento vegetal y por micoparasitismo (Infante *et al.*, 2009).

Existen investigaciones que reportan que *Trichoderma* sp. es efectivo como promotor de crecimiento de diferentes plantas y cultivos y se ha evaluado su efectividad como biocontrol y su antagonismo contra gran variedad de hongos fitopatógenos (Infante *et al.*, 2009). Muchos de estos estudios no dan detalle de cómo los aplican. También no establecen las condiciones en las que lo aplican y el ambiente puede modificar algunos de los resultados obtenidos en otras regiones.

Este estudio busca evaluar el efecto de tres diferentes métodos de aplicación del hongo *Trichoderma asperellum* para control de hongos fitopatógenos, crecimiento y calidad de fruto del chile pimiento (*C. annuum*).

A. Antecedentes

1. Importancia

El cultivo del chile pimienta es uno de los 5 más importantes mundialmente. En cuanto a superficie cultivada es el segundo cultivo hortícola y el octavo en cuanto a producción (Staller, 2012). Se conoce que China (707,000 ha), México (136,132 ha), Turquía (96,000 ha) e Indonesia (242,196 ha) son los principales productores por volumen. Sin embargo, los Países Bajos (Holanda) (262.8 ton/ha), Bélgica (255 ton/ha), Finlandia (118.7 ton/ha), Reino Unido (208.2 ton/ha) y Kuwait (79.5 ton/ha.) son los países que presentan los rendimientos más altos (Hortoinfo, 2014; Porres *et al.*, 2014).

Como se observa en la Figura 1, el país cuenta con 263,328 hectáreas de áreas favorables para el desarrollo del cultivo del chile (excluyendo áreas protegidas y áreas con cobertura forestal densa). Sin embargo, Guatemala dedica 1,960 ha a la producción de chile pimienta y su rendimiento aproximadamente es de 22 ton/ha (Agreguima, 2012).

En Guatemala, *C. annuum* se cultiva tanto a campo abierto como en invernaderos, ya sea en climas cálidos como templados. Los mayores productores de chile son los departamentos de Jutiapa, Baja Verapaz, Chiquimula, Guatemala, Alta Verapaz y Sacatepéquez (MAGA, 2016).

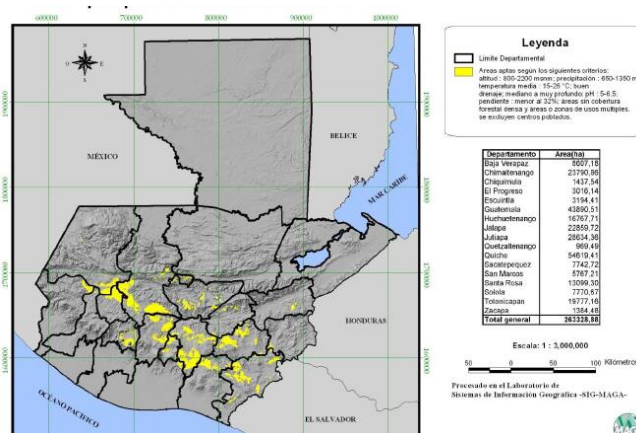


FIGURA 1. Áreas potenciales para el establecimiento de plantaciones de chile pimienta en Guatemala

(Agreguima, 2012)

2. Producción y productividad

Guatemala, tradicionalmente, se ha enfocado a cultivo de caña de azúcar, banano, café y maíz. Sin embargo, a partir de 1980 el Estado ha impulsado la producción de productos no tradicionales como las hortalizas. Se conoce que el sector hortalizas presenta gran potencial en la demanda nacional e internacional. Actualmente, Guatemala brinda materia prima fresca durante todo el año. La mayoría de estos cultivos es para consumo local (mercado interno) y exportación a países cercanos a la frontera (De Loma-Osorio *et al.*, 2000).

La producción del cultivo del pimiento en el país ha crecido estos últimos años tanto en área, como producción y exportación. Este impulso se debe al alza de demanda nacional e internacional (Agrequima, 2012).

Gracias a implementaciones de técnicas agrícolas, el chile pimiento en Guatemala es uno de los cultivos de crecimiento moderado, por lo que se debe tener en cuenta el aporte que brinda al PIB nacional y al PIB agrícola. En el 2010 el chile representó el 0.06% de PIB nacional (que corresponde a U\$S 42,706,000,000.00) y el 0.58% al PIB agrícola (que corresponde a U\$S 4,658,551,000.00) (Agrequima, 2012). Otro aporte de esta actividad agrícola es la generación de empleos. BANGUAT estimó que el cultivo de chile pimiento crea 12,240 empleos permanentes anuales (Agrequima, 2012).

3. Comercio y mercados

La producción del cultivo del chile pimiento ha crecido en los últimos años. En las tierras altas templadas de Guatemala, el chile pimiento es una de las hortalizas con mayor producción (Agrequima, 2012). A nivel nacional, este cultivo está en una etapa ligera de expansión y con un balance comercial positivo (Agrequima, 2012).

Según el MAGA (2016), el monto total aportado a Guatemala del chile pimiento fue de US\$15,088,808.00. A El Salvador se le exportó 7,284 toneladas métricas y a Estados Unidos 6,170 ton/m. Estos son los principales países a quienes Guatemala exporta chile pimiento. Aunque El Salvador es el principal país al que se le exporta, existe una tendencia

de exportación hacia el mercado de EEUU especialmente el chile pimiento cultivado en invernadero y específicamente aquellas variedades cuadradas (Agrequima, 2012).

Actualmente, el mercado está prefiriendo comprar chiles tipo cuadrados en el mercado. La razón es porque este producto presenta las mejores condiciones para su estandarización y tiene buen mercadeo en Europa. Uno de los pioneros en este sector agrícola, Manuel Navarro (Namesny *et al.*, 2006), quien opina que este tipo de fruto cuadrado, por su forma, admite buena clasificación y presentación y su color es uniforme (en comparación de los rectangulares). Existen también mercados o compradores específicos por el color. Para el tipo cuadrado, la producción del color rojo oscila entre 50% a 60% y el resto es verde o amarillo. Sin embargo, esto puede variar fácilmente dependiendo de la demanda e interés del comprador (Namesny *et al.*, 2006).

El comercio en los mercados de Guatemala, han desarrollado alzas y declives en los precios respectivos para el chile. El precio promedio de chile pimiento grande de primera calidad (caja de 90 a 100 unidades) basados en CENMA (Central de Mayoreo) en el 2005 fue de Q99.72, luego un declive en 2008 con Q64.75 (MAGA 2008). En el 2010 y 2011 los precios promedio de chile pimiento, grande, de primera calidad, pagados al mayorista en el mercado La Terminal, Guatemala (quetzales/caja 90 a 100 unidades) alcanzaban los Q103.91 y Q101.10 respectivamente. En el 2016 se presentó un precio anual de Q83.46 (MAGA, 2016).

La producción y demanda comercial de los chiles pimientos se ven afectados por la calidad y cantidad de los cultivos. Todo cultivo es vulnerable en cualquier etapa de su desarrollo por una o más enfermedades las cuales causan pérdidas económicas. Es por esto que el agricultor debe esforzarse por prevenir las enfermedades o disminuir el impacto de dichas enfermedades a su cosecha (Navarro, 2010). *Trichoderma* sp. es un candidato ya investigado y usado como control biológico frente a diferentes patógenos fúngicos. La mayoría de los estudios se han realizado para hongos del suelo y escasos para la parte foliar. Este estudio será de importancia porque al evaluar el efecto de aplicación de *Trichoderma* sp. a la parte foliar de las plantas, se conocerá si existe la necesidad de utilizar diferente tipo de control para las raíces y otra para las hojas.

4. Chile pimiento *Capsicum annuum* L.

a. Taxonomía.

El chile pimiento pertenece a la familia Solanaceae y todas las formas de pimiento utilizadas por el ser humano pertenecen al género *Capsicum* (Staller, 2012). A nivel mundial se han reconocido alrededor de 30 especies (Mendoza, 2006) de las cuales cinco han sido domesticadas: *C. baccatum*, *C. frutescens*, *C. pubescens*, *C. chinense* y *C. annuum* (Staller *et al.*, 2016). *C. annuum* es también conocido como pimiento dulce (California o *Bell Pepper*), chile morrón, serrano (Moreno *et al.*, 2011) y ancho (Pérez *et al.*, 2016). A diferencia de las demás especies domesticadas anteriormente mencionadas, *C. annuum* es un chile pimiento dulce (no picante) (Mendoza, 2006; Moreno *et al.*, 2011; Pérez *et al.*, 2016).

b. Aspectos morfológicos del chile pimiento.

Su raíz es pivotante con raíces adventicias de 0.7-1.2 m de profundidad. El chile dulce puede desarrollar un sistema radicular lateral bastante ramificado, alcanzando hasta un diámetro de 0.9 a 1.2 m en 0.6 m de profundidad del suelo (Orellana *et al.*, 2002) y un peso entre 7 a 17% del peso total de la planta (Staller, 2012). La altura que presentan oscila de 0.5 a 3 m (aunque depende de la variedad, condiciones climáticas y el manejo) (Pino *et al.*, 2018). En cultivos domesticados, las flores blancas están en cada nudo del tallo y son pequeñas (Díaz, 2008; Staller, 2012). Las hojas son enteras, lanceoladas, con ápice acuminado y peciolo largo (Pino *et al.*, 2018; Staller, 2012). El fruto es una baya generalmente amarilla o roja en su madurez (Díaz, 2008; Orellana *et al.*, 2002; Staller, 2012), y su forma es cuadrada de cuatro lóbulos (Pino *et al.*, 2018). Esta herbácea presenta un ciclo de cultivo anual en donde los meses con un ciclo alto de cosecha son de enero hasta mediados de junio y de agosto a octubre (MAGA, 2014).

c. Híbrido de chile pimiento tipo cuadrado.

C. annuum es conocido por su alta heterogeneidad causada por las demandas del uso de este cultivo (Namesny *et al.*, 2006). El Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos – IPGRI- (1995) es el encargado de describir todos los tipos y variedades, sin embargo, las variedades se siguen diferenciando tradicionalmente por caracteres morfológicos (aunque no sea confiable clasificarlos por este método) (Cabalceta y Monge, 2016). Una de estas variedades es el pimiento cuadrado o *Blocky* americano. Estos pimientos tienen bayas de color verde intenso y brillante cuando aún no ha madurado y son rojas al madurar, se caracterizan por su tamaño ‘‘G’’ (7-9 cm), peso, grosor de carne (3-7 mm) (Sosof, 2008) espesor de pulpa y sabor dulce. (Namesny *et al.*, 2006). Tienen generalmente cuatro lóbulos con el ápice o punta que regresa al centro (creando una cavidad entre los lóbulos). Es por esto que tienen resistencia al transporte y conservación después de la cosecha. (Namesny *et al.*, 2006).

En esta investigación, se utilizó el chile pimiento híbrido *Blocky* de variedad Top 141 (Figura 2) cuyo proveedor es Top Seed LTD. Este chile se caracteriza por presentar resistencia al virus TSWV. Además, el fruto madura a un color rojo brillante atractivo y de uniformidad sobresaliente (Top Seeds Inc., 2017). Este chile pimiento híbrido presenta un fruto de tipo cuadrado americano caracterizado por tener entre 7 a 8 cm de largo y ancho (Namesny *et al.*, 2006).



FIGURA 2. Fruto del chile pimiento híbrido *Blocky* Top 141

(Top Seeds Inc., 2017)

Las ventajas del uso de semillas híbridas es la obtención de altos porcentajes de germinación y vigor, de la producción de frutos con las características esperadas, la disminución de propagación de enfermedades por semilla (Orellana *et al.*, 2001) y mayor uniformidad en los frutos (Raven *et al.*, 1992). Debido a todo esto, se puede vender más caro en mercados que lo demanden y valoren las producciones bio sustentables.

Sin embargo, las semillas híbridas presentan desventajas como infertilidad en la segunda generación y en algunos casos muerte en etapa de semilla o plántula (Curtis y Schnek, 2006).

d. Exigencias del cultivo.

Se conoce que el chile pimiento y sobre todo sus variedades dulces, requieren de altas exigencias. El chile demanda ciertas condiciones óptimas, entre las más importantes están mantener temperaturas diurnas entre 23°C a 25°C, temperaturas nocturnas entre 16°C y 18°C y de 50% a 60% de humedad. Con temperaturas altas, mayores a 35°C causa que las flores y los frutos caigan, por el contrario, con temperaturas muy bajas, debajo de 15°C, causa el retraso de su desarrollo (Porres *et al.*, 2014; Staller, 2012). Requiere de suelos profundos, de baja salinidad, ricos en materia orgánica y drenados (Staller, 2012).

e. Productos y subproductos.

El chile pimiento es consumido principalmente fresco, ya sea en los mercados locales o para exportación. Las empresas e industrias nacionales elaboran productos como pulpa, enlatados, deshidratados, congelados, etc. (Namesny *et al.*, 2006).

5. Calidad del chile pimiento en el mercado

Existen aspectos como la calidad de los productos, que influye directamente en la decisión de la compra en los consumidores. Calidad se define como el grado de cumplimiento de un número de condiciones que determinan la aceptación por el consumidor (López, 2003). Sin embargo, la percepción del consumidor es compleja pues puede ser determinada por usos específicos como calidad industrial, calidad nutritiva, de exportación, etc. (López, 2003).

Últimamente hay gran demanda mundial de hortalizas, entre ellas, el chile pimiento. Esto se debe a que ha aumentado la importancia de la salud en la vida de las personas, hay mayor preocupación por adquirir una dieta más equilibrada y buscan mayor longevidad (López, 2003). Debido a que los consumidores tienen preferencias variadas en tanto formas, colores y sabores, el mercado está segmentado. Sin embargo, todos los mercados deben cumplir con la demanda de una calidad superior en sus productos (López, 2003). Están los aspectos externos como la presentación, apariencia, uniformidad, madurez y frescura y los aspectos internos como (sabor, aroma, textura, valor nutritivo y ausencia de contaminación biótica y abiótica) (López, 2003).

a. Descripción de parámetros según calidad del fruto fresco.

Existen ciertos parámetros morfológicos que permiten clasificar los frutos del cultivo ya sea en primera, segunda y tercera calidad. Específicamente para el fruto del chile pimiento (*Capsicum frutescens*) en Guatemala, El INE (2006) ha determinado que dependiendo la sección transversal, la sección longitudinal, el peso y la vida de anaquel de los frutos se podrá clasificar por su calidad (Cuadro 1).

CUADRO 1. Principales estándares de Guatemala para chile pimiento (*Capsicum frutescens*) no híbrido

Denominación en el mercado	Sección transversal (cm)	Sección longitudinal (cm)	Peso (g)	Vida de anaquel (días)
Primera	5-6	10-14	60-95	Inicial (Verde) 6-8 días
Segunda	4-5	7-10	30-60	Intermedia (Verde-Rojizo) 3-6 días
Tercera	3-4	3-7	10-20	Avanzada (Rojo) 1-3 días
Presentación en el mercado	Mayorista	Caja 90 a 100 Unidades		
	Consumidor	Unidad		

(Sosof, 2008)

Los parámetros para exportación de chiles híbridos son distintos porque se evalúa de manera cualitativa (Cuadro 2) y cuantitativa (Cuadro3). En resumen, los de primera calidad

son aquellos que estén firmes, sin malformaciones o manchas foliares y que presente color rojo en su madurez. Para determinar el color rojo deseado de la superficie del chile se puede comparar con una escala visual como se muestra en la Figura 3. Los frutos que no cumplen con los requisitos anteriores se evalúan y son clasificados en categoría de segunda o tercera calidad.

CUADRO 2. Clasificación cualitativa del fruto del híbrido chile pimiento *Blocky* según su calidad

ESTÁNDARES*		
CATEGORÍA I	CATEGORÍA II	CATEGORÍA III
<ul style="list-style-type: none"> -Frescos -Enteros -Firmes y consistentes -Sanos -Limpios -Bien desarrollados -Frutos con puntas bien definidas -Frutos con 4 lóbulos -Exentos de manchas -Exentos de daños causados por heladas -Exentos de quemaduras por el sol -Exentos de cicatrices -Exentos de humedad exterior anormal -Exentos de olor y/o sabores extraños -Con pedúnculo completo -El pedúnculo ligeramente dañado o cortado -Frutos con suficiente desarrollo y madurez -Forma y color propias de la variedad o tipo comercial -Cáliz intacto. -Fruto de pared gruesa -Color homogéneo -Piel lisa -Libres de residuos 	<ul style="list-style-type: none"> -Menos firmes que los de la categoría I, aunque no marchitos - Pedúnculo ligeramente dañado o cortado -Pimentones no muy firmes, pero no excesivamente maduros. -Malformaciones y defectos de desarrollo -Defectos de forma -Frutos con puntas deformes -Quemaduras de sol o por congelación -Ligeras heridas cicatrizadas -Ligeras grietas secas y superficiales -No presenta color homogéneo -Frutos con números de lóbulos diferentes a 4. 	<ul style="list-style-type: none"> -No están enteros, ni frescos, ni firmes, ni limpios. -Presentan daños severos de quemadura, grandes áreas con grietas y defectos. -Frutos muy deformes-

* Basado en estándares de manuales y reglamentos europeos y centroamericanos. (Elizondo y Monge, 2017; Junta de Andalucía, 2013; MADR, 2000; Presidencia de Gobierno de Aragón, 1984)

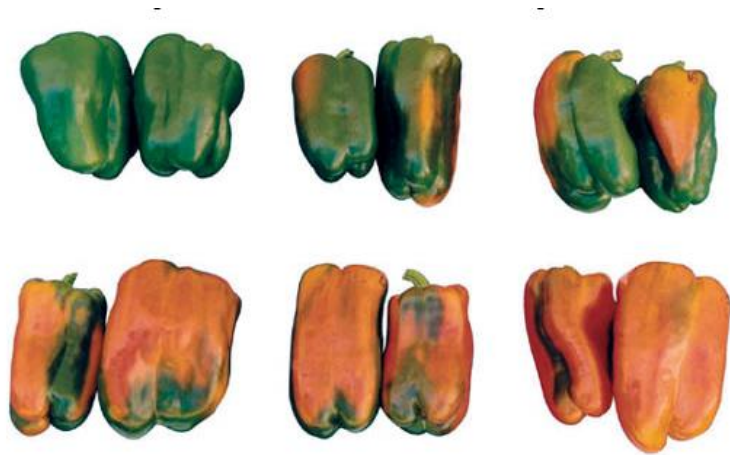


FIGURA 3. Grados de madurez del chile pimiento. El fruto debe presentar el color rojo completamente homogéneo como se observa en el chile inferior derecho

(López, 2003)

En el Cuadro 3 se encuentran los parámetros cuantitativos que deben cumplir los chiles pimientos para exportación. En resumen, los de primera calidad deben presentar igual longitud y ancho o mayor a 7.5 cm y entre 170 a 250 g de peso o más. Los de segunda calidad, no cumplen con los primeros requisitos y solo será permitido un máximo de 2 cm de longitud de daños anteriormente mencionados. Si presentan más, no son aptos y, por lo tanto, se tomarían de tercera calidad (Presidencia de Gobierno de Aragón, 1984; MADR, 2000; Junta de Andalucía, 2013).

CUADRO 3. Clasificación cuantitativa del fruto del híbrido del chile pimiento *Blocky* según su calidad

	ESTÁNDARES*		
	CATEGORÍA I	CATEGORÍA II	CATEGORÍA III
Longitud y ancho del fruto (cm)	mayor o igual a 7.5	Mayor o igual a 6.4	Menor a 6.4
Malformaciones, defectos de desarrollo, quemaduras de sol, heridas leves (cm ²)	0	Menor o igual a 1	Mayor a 1
Defectos alargados (cicatrices, grietas, estrías (cm)	0	Menor o igual a 2	Mayor a 2
Defectos sumados (cm)	0	Menor o igual a 3	Mayores a 3
Peso (g)	170 – 250 o mas	135-169	Menor o igual a 134
Diámetro (calibre) de la parte superior más ancha del fruto (cm)	No inferior a 5	No menor a 4	Menor a 4

* Basado en estándares de manuales y reglamentos europeos y centroamericanos (Ayala *et al.*, 2015; Elizondo y Monge, 2017; Junta de Andalucía, 2013; López *et al.*, 2016; MADR, 2000; Presidencia de Gobierno de Aragón, 1984; Robinson, 2010)

6. Enfermedades fúngicas del chile pimiento.

Existen enfermedades fúngicas que atacan al cultivo de chile pimiento tanto en el suelo como de forma aérea (en sus hojas). Algunos hongos causantes de enfermedades fúngicas son: *Rhizoctonia* sp., *Fusarium oxysporum*, *Phytium* sp., *Phytophthora capsici*, *Colletotrichum phomoides*, *Scerotinia sclerotium*, *Cladosporium fulvum* (Barrantes, 2010), *Alternaria* sp. y *Rhizopus stolonifer* (Conn, 2006). A continuación, se mencionarán unas de las más importantes en Centroamérica.

a. Cercosporiosis o mancha cercospora.

El agente causal de esta enfermedad es *Cercospora capsici* Helad Wolf y *C. melongenae*. Los síntomas son manchas foliares circulares formando anillos concéntricos de un centímetro de diámetro, también llamados ojos de rana (McKenzie, 2013) (Figura 4). Las lesiones son color gris claro en el centro y oscuros en los bordes. Los síntomas también pueden estar en peciolas, pedúnculos y tallo, aunque no es común (Obregón, 2016). En la Figura 5 se puede observar que los conidióforos están agrupados en fascículos, son de color marrón, su tamaño es de 30-80*4-6 μm . Los conidios de *C. capsici* tienen 50-150*3-5 μm , son septados, lisos, hialinos, aciculares, rectos o ligeramente curvados, punta redondeada, truncado de células basales con cicatriz distintiva (McKenzie, 2013).

Esta enfermedad llamada cercosporiosis es más frecuente en la época lluviosa. Este hongo se desarrolla a alta humedad y altas temperaturas. Se dispersa por viento y tarda entre siete a diez días en incubar (Orellana *et al.*, 2001; Sosof, 2008).

Cuando la enfermedad es grave, se produce defoliación y reducción del tamaño de la fruta (Jones *et al.*, 2006).



FIGURA 4. Mancha foliar de rana en chile pimiento causado por *Cercospora capsici*.

(Obregón, 2016)



FIGURA 5. Conidióforos y conidios de *Cercospora capsici*
(McKenzie, 2013)

b. Mal de talluelo.

Los causantes de esta enfermedad son: *Rhizoctonia solani* (Figura 7), *Phytophthora infestans* (Figura 8), *Pythium* spp. y *Fusarium* spp. (Figura 12). Los síntomas pueden presentarse antes de que emerja la plántula, pues las semillas no germinan. En estado de plántula, se forman lesiones acuosas color marrón alrededor del tallo, por encima y por debajo de la línea del suelo (Figura 6). El sistema radicular se oscurece (necrosis en tejidos). La parte basal del tallo es más delgado que la parte superior (estrangulamiento del tallo), provocando caída y muerte. En plantas maduras produce clorosis, marchitamiento y podredumbre en raíces (Namesny *et al.*, 2006; Obregón, 2016; Orellana *et al.*, 2001; Sosof, 2008).

En la Figura 7 se puede observar el micelio septado de *R. solani*, el cual presenta ramificación en ángulo recto, ligeras constricciones en la base de la rama y septos (Neher, 2018), en lugar de conidios tiene células moniloides, tienen tres o más núcleos por célula y el tamaño de las hifas son de 6-10 μm de diámetro (Kareem, 2018). En la Figura 8 se presenta el esporangióforo de *P. infestans* con un esporangio papilado y con forma de limón. Los esporangióforos que produce el micelio de este hongo son ramificados (Crop Science, 2007).



FIGURA 6. Estrangulamiento del tallo del chile pimienta
(Obregón, 2016)

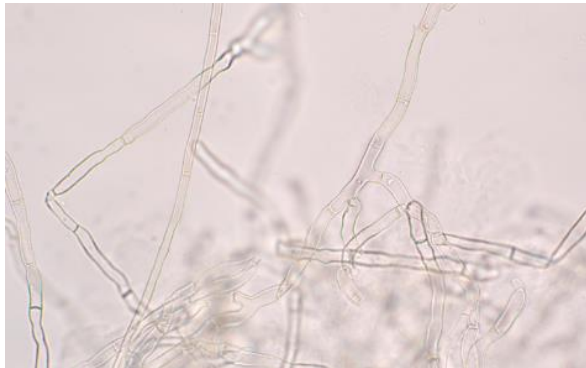


FIGURA 7. Micelio de *Rhizoctonia solani*
(Neher, 2018)



FIGURA 8. a) Esporangio de *Phytophthora infestans* b) Esporangióforo de *P. infestans*
(Bush, 2018)

c. Marchitez fungosa o moho blanco del tallo.

El hongo *Sclerotium rolfsii* es el agente causal de esta enfermedad. El síntoma inicial es una lesión acuosa café oscura en o sobre la línea del suelo en las plántulas. En plantas adultas se forma abundante micelio blanco que cubre la superficie de la lesión (Figura 9). Esto produce esclerosis bronceada. Los esclerocios son café castaño, redondos. Al inicio son color claro, luego, oscuros y duros (Obregón, 2016; Orellana *et al.*, 2001). La lesión rodea el tallo, produciendo marchitez rápida. Esta lesión inicia bajo el suelo, se expande en las raíces hasta podrir las, luego se dirige al tallo. La planta presenta coloración amarilla y marchitez en la parte foliar. A veces, los frutos sufren esclerosis y presencia de micelio si está en contacto con el suelo infectado (Obregón, 2016). Las hifas de *S. rolfsii* tienen un diámetro de 5-9 μm , son hialinas, de paredes delgadas y con conexiones de abrazaderas (Figura 10). Los esclerocios son una capa externa engrosada compuesta de 2-4 células, adentro tiene hifas filamentosas libres y tienen de 0.5-2 mm hasta 8-10 mm de diámetro (Mullen, 2001).



FIGURA 9. Micelio de color blanco a nivel de suelo y en el tallo en Chile pimiento causado por *Sclerotium rolfsii*

(Obregón, 2016)

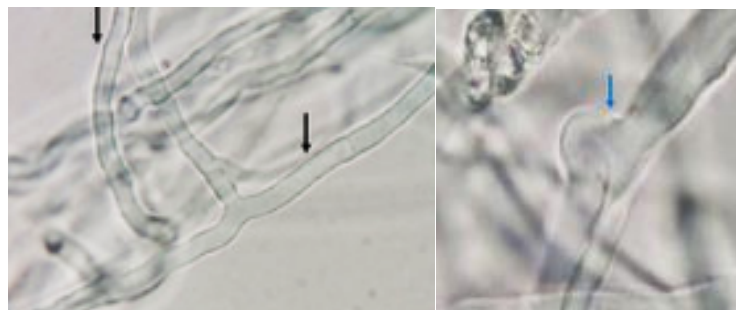


FIGURA 10. Morfología de micelio de *Sclerotium rolfsii*

(Díaz *et al.*, 2018)

d. Marchitez vascular.

Es causada por *Fusarium oxysporum*. El primer síntoma es el color amarillo de las hojas. Este color se presenta solo de un lado de las hojas o de la rama, se marchitan y se mueren, quedando pegadas al tallo. Las hojas de abajo pierden su turgencia, además, el sistema vascular externo presenta coloración rojo ladrillo (Figura 11). Es fácil de detectar al cortar el tallo de forma diagonal o separar una rama del tallo principal (Orellana *et al.*, 2001).



FIGURA 11. Síntoma de coloración roja en el sistema vascular y síntoma de la enfermedad en la base de la planta causado por *Fusarium oxysporum* (Vásquez y Castaño, 2017)



FIGURA 12. Macronidios de *Fusarium oxysporum* (Fotografía por Juárez, A.)

e. Tizón por *Phytophthora*.

El hongo *Phytophthora capsici* lo produce. Los síntomas que presenta es el oscurecimiento y muerte de raíces, daño en el tejido vascular de la parte inferior del tallo (Figura 13a). En el tallo pueden aparecer manchas de color verde oscuro y con el tiempo cambian a café oscuro (Obregón, 2016). En algunas ocasiones pueden causar estrangulamiento en la parte afectada (Orellana *et al.*, 2001). Si las lesiones ocurren arriba del tallo, pueden invadir el ápice (Orellana *et al.*, 2001). Las hojas pierden turgencia y presentan color verde grisáceo (Figura 13c). A veces las hojas pueden presentar síntomas como manchas oscuras circulares u ovals (Obregón, 2016). En los frutos, se miran puntos cafés que cubren la superficie (Orellana *et al.*, 2001) y pueden presentar micelio blanco (Figura 13b) (Obregón, 2016).

En la Figura 14 se puede observar los esporangios *P capsici*. Pueden medir entre 32 a 65 y 17 a 38 μm de ancho y largo, tienen pedicelos entre 35 a 138 μm para impulsarse. En condiciones favorables, éstos producen zoosporas (esporas asexuales) (Babadoost, 2005).



FIGURA 13. Síntomas causados por *Phytophthora capsici* en a) tallo, b) frutos y c) hojas de chile pimiento (Obregón, 2016)



FIGURA 14. Esporangios de *Phytophthora capsici*

(Bachi, 2018)

f. Verticilosis.

Causado por *Verticillium dahliae*. Puede confundirse con los síntomas de *Phytophthora capsici*, pero en este caso, nunca hay síntomas externos, ni el tallo ni en las raíces porque el hongo está internamente. Si se corta el tallo, se puede observar que los haces vasculares son oscuros (Figura 15). Este hongo se extiende en la savia provocando marchitez. Este hongo tiene la capacidad de invadir el sistema radicular de las plantas (Namesny *et al.*, 2006), es decir, es sistémico. Los pimientos infectados se atrofian y las hojas inferiores son ligeramente cloróticas (Jones *et al.* 2006).

El micelio es hialino, septado y multinucleado. Los conidios son ovoides o elipsoidales y son unicelulares (Figura 16). Estos se originan de hifas especializadas llamadas fiálides y se produce de forma de espiral alrededor de cada conidióforo.



FIGURA 15. Síntoma de oscurecimiento del sistema interno radicular de la planta de chile pimiento causado por *Verticillium dahliae* (Obregón, 2016)



FIGURA 16. Conidióforos de *Verticillium dahliae* (Gómez, 2001)

g. Podredumbre gris.

Causada por *Botrytis cinerea* (Pers). Los síntomas que ocasiona en las hojas y flores es moho café de aspecto espinoso. En peciolo y tallos, lesiones en anillos concéntricos, rodeados de esporulación del hongo marrón (Figura 17). En los frutos se observa podredumbre blanda grisácea (Obregón, 2016). Causa daños relevantes a cultivos bajo condiciones altamente frías. Se reproduce en condiciones óptimas entre 15-20°C y con 95% de humedad. Puede atacar también a los tallos y frutos causando manchas y podredumbres (Namesny *et al.*, 2006).

El micelio de *B. cinerea* es ramificado, septado y entre hialino y marrón pálido. Los conidióforos son rectos septados y monopodiales (Figura 18a). Los conidios son solitarios,

entre hialinos y marrón pálido, su forma es elipsoidales y globosos y presentan entre 14.2 a 11.9 μm de longitud (Miclea *et al.*, 2012).



FIGURA 17. Síntomas de coloración marrón en los tejidos vegetales del chile pimienta causados por *Botrytis cinerea*

(Obregón, 2016)

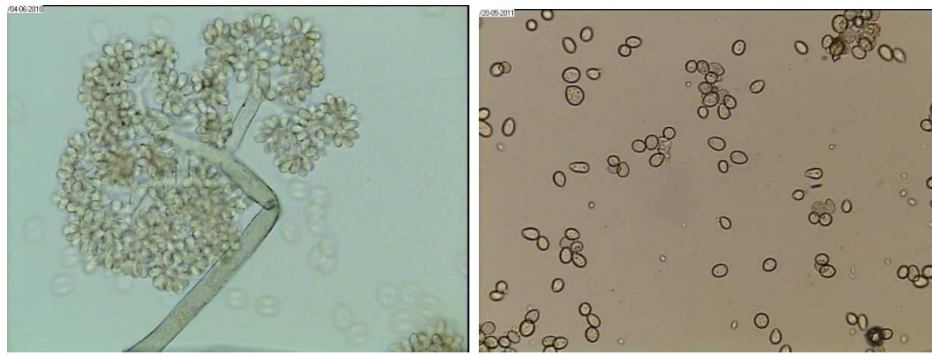


FIGURA 18. a) Conidióforo y b) conidios de *Botrytis cinerea*

(Miclea *et al.*, 2012)

h. Antracnosis.

Los agentes causales de esta enfermedad son *Colletotrichum capsici*, *C. gloeosporioides*, *C. cocodes* y *C. acutatum*. Las plantas desarrollan manchas necróticas grises o marrones en las hojas y tallos. Las lesiones en el fruto son el aspecto más importante económicamente. Estas empiezan como áreas empapadas que se vuelven bronceadas o marrones. Las lesiones pueden ser pequeñas y circulares separadas o pueden unirse y cubrir grandes áreas del fruto (Figura 19a). Si las condiciones son húmedas, se

forman masas de esporas rosadas, salmón o anaranjadas en anillos concéntricos. Dependiendo de la especie, se pueden observar estructuras filamentosas negras o marrones en la lesión. Esta enfermedad afecta a frutas maduras como inmaduras, más los síntomas son visibles hasta la maduración. El clima cálido y húmedo favorece la infección y el desarrollo de los síntomas. Las temperaturas óptimas tendrían que permanecer entre 20 a 27 °C (Jones *et al.*, 2006).

Los conidios de *Colletotrichum* sp. son cilíndricas, redonda de un extremo y agudo en el otro como se observa en la Figura 19b. Su tamaño oscila entre 7-8 µm de largo y 3-4 µm de ancho (Pérez *et al.*, 2003).



FIGURA 19. a) Lesión de antracnosis en el fruto verde de chile pimienta (Jones *et al.*, 2006). b) Conidios de *Colletotrichum* sp. (Fotografía por LPV, 2019)

i. Pudrición de frutas.

Los agentes causales de esta infección son *Alternaria alternata*, *Colletotrichum capsici*, *Botrytis cinerea*, *Phytophthora capsici* y *Rhizopus stolonifer*. En el caso de la infección de *A. alternata*, los primeros síntomas son hundimiento acuoso, lesiones grises y, por último, se convierten en lesiones oscuras (Figura 20). En la presencia de *R. stolonifer*, aparecen lesiones blandas, la epidermis se rompe y se cubre de micelio que al inicio es blanco, pero se vuelven negros (Jones *et al.*, 2006).

Alternaria sp. presenta hifas septadas con conidióforos septados y paredes simples, los conidios son ovoides, septados longitudinal y transversalmente. El extremo del conidio es

redondo mientras que en el ápice es estrecho (Figura 21a) (Rivas y Muhlhauser, 2014). El micelio de *Rhizopus* sp. no tiene septos, los diferentes esporangios esféricos producen esporangióforos (Figura 21b) (Velázquez *et al.*, 2008).



FIGURA 20. Pudrición de fruto maduro de chile causado por *A. alternata* (Jones *et al.*, 2006)

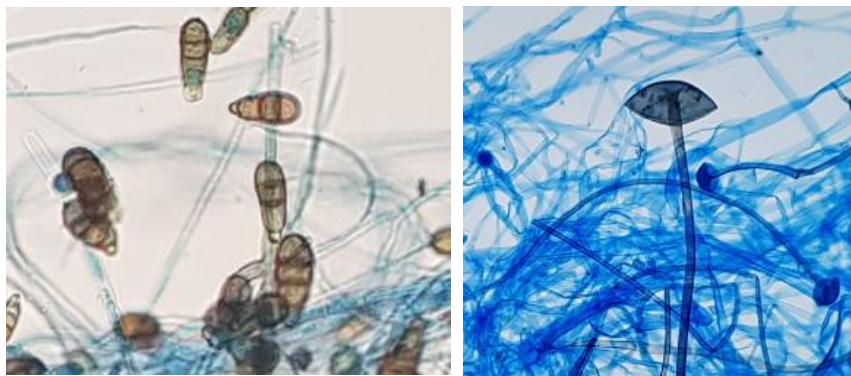


FIGURA 21 a) Conidios de *Alternaria* sp. b) Esporangio de *Rhizopus* sp. (Fotografía LPV, 2019)

j. Moho polvoriento (Cenicilla).

Causado por *Leveillula taurica* (anamorfo: *Odiopsis sicula*). Al inicio, aparecen manchas de color verde claro o amarillo de forma circular en las superficies superiores de las hojas (Flores, 2018) (Figura 24a), luego se vuelven necróticas. Las hojas afectadas se curvan hacia arriba, y se ve un crecimiento blanco en polvo en la parte inferior de las hojas (Figura 24b). Puede generar clorosis general y caída de hojas. Las frutas en las plantas afectadas están sobreexpuestas a la luz solar y pueden desarrollar quemadura (Jones *et al.*, 2006). Esta especie de hongo tiene conidióforos multiseptados entre 6-7 micrómetros. Los

conidios pueden ser lanceolados con un ápice bastante estrecho y con base ancha (Glawe *et al.*, 2005) (Figura 23).



FIGURA 22. a) Síntoma de manchas de color verde claro o amarillo en la cara superior de las hojas b) Aparición de áreas afectadas de color blanco (Flores, 2018)



FIGURA 23. Conidios de *L. taurica* (Hoseikhaniha *et al.*, 2012)

k. Enfermedad causada por *Bipolaris* spp.

Produce lesiones marrones redondeadas con un tejido amarillento (Figura 24a). Estas lesiones se producen en los coleóptilos, plúmulas, hojas y vainas. En la Figura 24b se observan los conidióforos de esta especie de hongo. Éstos suelen tener bordes irregulares, conidios rectos o ligeramente curvos y su tamaño oscila entre 30-80 micrómetros (Agueda *et al.*, 2013).



FIGURA 24. a) Síntomas en hojas de *Sorghum bicolor* causados por *Bipolaris* spp. b) conidios de *Bipolaris* spp.
(Agueda *et al.*, 2013)

1. Moho foliar (Cladosporiosis).

Causado por *Cladosporium fulvum*, y *Passolara fulva*. Este hongo coloniza espacios intercelulares de las hojas, produce conidióforos que aparecen por las estomas de la planta. Produce conidios de color marrón (Balatti, 2018) (Figura 25b). Esta enfermedad causa manchas cloróticas ovaladas en las hojas. En el envés presenta moho verde (Barrantes, 2010) (Figura 25a).



FIGURA 25. a) Manchas marrones en el envés de la hoja causado por *C. fulvum* b) Manchas cloróticas en la hoja de Chile c) conidios de *Cladosporium* sp.

(Balatti, 2018; Barrantes, 2010; Fotografía LPV, 2019)

7. Hongo *Trichoderma asperellum*.

a. Taxonomía y morfología

Las especies del género *Trichoderma* son hongos filamentosos que pertenecen al reino Fungi, división Ascomycota, clase Sordariomycetes, orden Hypocreales y familia

Hypocreaceae (Sánchez *et al.*, 2018). Este género tiene micelio con septos simples. Las especies son haploides, su reproducción es asexual por conidios. Los conidióforos son hialinos ramificados, fiálides simples o en grupos. Los conidios tienen entre 3 a 5 μm de diámetro, generalmente ovalados, unicelulares. Pueden producir clamidosporas unicelulares. Las hifas se ramifican y tienen entre 5 a 10 μm de ancho (Martínez *et al.*, 2013).

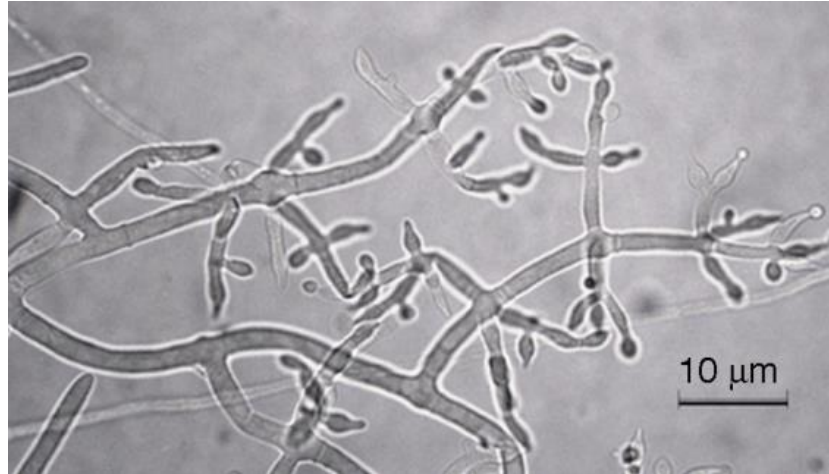


FIGURA 26. Conidióforo y fiálides del *Trichoderma asperellum*

(De la Cruz *et al.*, 2015)

b. Generalidades.

Es un género de hongos cosmopolita y habitante de suelos, madera y tejidos de plantas en descomposición (De la Cruz *et al.*, 2015; Sayyed *et al.*, 2017). Este hongo conforma de manera predominante la microbiota del suelo, incluyendo los ecosistemas agrícolas (De la Cruz *et al.*, 2015).

Las especies de *Trichoderma* son eficaces competidores, invasores oportunistas (López, 2011) y colonizadores (de varios sustratos) porque presentan alto potencial para sintetizar y liberar enzimas como celulasas, xilanasas y quitinasas (López, 2011; Sánchez *et al.*, 2018), hormonas de crecimiento (Sánchez *et al.*, 2018) y antibióticos (López, 2011).

1) Agente de control biológico.

Los agroquímicos (herbicidas, plaguicidas, fungicidas y reguladores de crecimiento) han sido una de las herramientas más utilizadas para aumentar el rendimiento de los cultivos ya sea durante la producción o después de la cosecha. Estos son peligrosos porque tienen residuos dañinos para el ser humano y pueden generar resistencia en las plagas debido al uso intensivo. Además, si los agroquímicos son de baja especificidad pueden causar desequilibrio ecológico porque mataría tanto a las plagas dañinas, como a otros organismos que no eran plaga (Hernández, 2019). Sin embargo, con los avances en biotecnología se ha podido desarrollar productos con menores niveles de peligro e incluso con métodos de control no químicos (FAO, 2003).

Trichoderma sp. tiene gran importancia económica porque es catalogado como agente de control biológico y promotor de crecimiento vegetal, además de competidor e invasor oportunista (Sánchez *et al.*, 2018).

2) Antagonismo.

Las especies de este género son los antagonistas más utilizados para el control de enfermedades causados por hongos debido a su inocuidad, su facilidad de aislamiento y cultivo (Santana y Castellanos, 2018). Es por esto que es utilizado para manejo de hongos fitopatógenos como *Rhizoctonia*, *Sclerotium*, *Pythium*, *Phytophthora*, *Fusarium*, entre otros (Cárdenas *et al.*, 2014; Hernández *et al.*, 2006). Estos efectos antagónicos combaten al menos 18 géneros y 29 especies de hongos patógenos, además de varias bacterias patógenas (Wu *et al.*, 2017).

3) Colonizador.

Estos hongos colonizadores actúan por medio de varios mecanismos: por competencia, micoparasitismo y antibiosis (García *et al.*, 2017; Michel *et al.*, 2004; Wu *et al.*, 2017). El primer mecanismo consiste en la competencia por el espacio y por nutrientes limitados (Wu *et al.*, 2017). El propósito es inhibir el crecimiento de los hongos patógenos y, por lo tanto, inhibir enfermedades transmitidas por el suelo y patógenos en las hojas (Wu *et al.*, 2017). El micoparasitismo es un mecanismo antagonista. Consiste en que el *Trichoderma* crece junto con el micelio patógeno en forma de espiral y secreta enzimas (quitinasas, glucanasas y proteasas) para degradar la pared celular. Con esto, el *Trichoderma* penetra al micelio,

absorben sus nutrientes y luego degradan el patógeno (Wu *et al.*, 2017). La antibiosis junto con la resistencia inducida se logra cuando *Trichoderma* sp. produce elicitors y metabolitos secundarios, los cuales inducen resistencia sistémica en las plantas y mejoran su inmunidad contra patógenos (Wu *et al.*, 2017).

Este género puede, además, ser capaz de colonizar por completo la superficie radicular, pueden penetrar en el tejido de la raíz (hasta la primera o segunda capa de células), y en los espacios intercelulares (López, 2011). Esto deriva efectos positivos en las plantas: como protección contra patógenos en la rizósfera, hojas o de manera endófito (Cano, 2011; De la Cruz *et al.*, 2015; Suryanto *et al.*, 2017), cambios en la composición de la microflora de las raíces, mejora de absorción de nutrientes, mayor desarrollo de las raíces, aumento de la formación de pelos radiculares y mayor profundidad de enraizamiento (Cano, 2011), favorece el incremento en la biomasa radicular y el área foliar (Ciriaco, 2015).

4) Promotor de crecimiento vegetal.

Los hongos pertenecientes al género *Trichoderma* sp. crecen rápido ya que tienen gran capacidad de esporulación (López, 2011). Sus tasas de crecimiento son generalmente más rápidas que las de los patógenos de las plantas (Wu *et al.*, 2017). Son, además, hongos bioestimulantes porque producen sustancias activas (auxinas, giberelinas, citoquininas, aminoácidos, péptidos y vitaminas) las cuales al interactuar con la planta promueven eventos metabólicos como estimular el crecimiento, desarrollo y vigor de las plantas (Chong *et al.*, 2017; Santana y Castellanos, 2018; Pérez *et al.*, 2015).

La promoción del desarrollo y crecimiento se debe a que *Trichoderma* sp. puede solubilizar el manganeso. Este elemento es necesario para funciones fisiológicas como fotosíntesis, metabolismo de nitrógeno, precursores de hormonas, fenoles y lignina, asegurando así el crecimiento (Pérez *et al.*, 2015). Todo esto, logra que las raíces sean más robustas, de mayor profundidad, mayor capacidad de absorción y, por lo tanto, más resistentes a sequías (Santana y Castellanos, 2018).

5) Control de enfermedades.

Actualmente *Trichoderma* sp. es utilizado dentro de las prácticas de manejo de enfermedades fúngicas contra géneros como: *Rhizoctonia*, *Sclerotium*, *Pythium*,

Phytophthora, *Macrophomina*, *Fusarium*, entre otros (Hernández *et al.*, 2006; Gato *et al.*, 2014; González *et al.*, 2005).

El hongo *Fusarium* spp. es uno de los más importantes del suelo que causa enfermedades de marchitez en varios cultivos de campo como el garbanzo, gandul, cártamo, chile (Ciriaco *et al.*, 2015), arvejas (Checa *et al.*, 201), entre otros. El rendimiento decae hasta un 90% causando pérdidas en diferentes cultivos (Sayyed *et al.*, 2017). Las diferentes investigaciones que han evaluado *Trichoderma* sp. como potencial control biológico y antagonico, indican resultados favorables estimulando mayor altura de la planta y raíces, mayor número de frutos e inhibición de crecimiento de micelio de hongos fitopatógenos (Sayyed *et al.*, 2017).

6) Síntesis y liberación de enzimas.

Trichoderma sp. se conoce por su alta tasa de crecimiento, inhibición de hongo y alta capacidad de esporulación. Esto es gracias a los mecanismos de acción en donde la síntesis y secreción de enzimas y hormonas juega un papel importante. *T. asperellum* secreta quitinasas, glucanasas y proteasas. Estas pueden degradar las paredes celulares de muchos hongos y parasitarlos. Las xilanasas contribuyen a la resistencia de las plantas y mejoran su inmunidad contra fitopatógenos (Wu *et al.*, 2017).

8. Importancia económica y biológica

a. Uso de *Trichoderma* en la agricultura.

Los hongos patógenos son de preocupación en la agricultura porque disminuyen significativamente el rendimiento y producción de las plantas, generando grandes pérdidas económicas (García *et al.*, 2017). Como solución al problema anterior, se ha optado por el control químico. Actualmente es el método más utilizado porque presenta resultados rápidos y eficientes, pero tiene efectos residuales (García *et al.*, 2017). Este método hace que los productos químicos se acumulen en el suelo, agua, plantas y animales (García *et al.*, 2017). Si eso ocurre, estos químicos ascienden en la cadena trófica hasta llegar al ser humano a concentraciones altas afectando su salud. Esto se debe a que los organismos que consumen a otros seres que antes estaban contaminados, acumulan en sus tejidos estos químicos o contaminantes y estos a su vez contaminan a sus depredadores (Ibáñez, 2011).

Esto perjudica a la salud humana y animal. La Organización de Naciones Unidas (ONU) publicó en 2017 que 200,000 casos de muerte anuales por intoxicación son causados por plaguicidas e insecticidas haciendo énfasis que el 99% de estos casos se reportó en países en desarrollo. Menciona también que existe un estimado de número de personas afectadas anualmente por la exposición a los plaguicidas a corto y largo plazo, la cual oscilaba entre 1 millón y 41 millones. Esto causa preocupación porque la exposición a plaguicidas está relacionado al cáncer, a la enfermedad de Alzheimer y a la enfermedad de Parkinson, a trastornos hormonales, a problemas de desarrollo y a esterilidad. El Instituto Nacional de Ciencias Forenses de Guatemala (Inacif) publicó en 2018 la identificación de 352 casos de intoxicación causadas por plaguicidas en Guatemala en 2013.

Por esta razón, la aplicación de métodos biológicos en el control de enfermedades de las plantas es una técnica alternativa más sustentable (Bastakoti *et al.*, 2017). *Trichoderma* sp. es uno de los hongos utilizados para cumplir esta demanda biológica (Sayyed *et al.*, 2017) debido a sus mecanismos de acción contra agentes fitopatógenos en cultivos agrícolas (García *et al.*, 2017). Incluso son usados para la producción agrícola en cultivos de hortalizas (Martínez *et al.*, 2013).

Como especies destacadas con propósito agrícola por su perfil antagonista y fitopatógeno de este género son: *T. harzianum*, *T. viride*, *T. atroviridae* (García *et al.*, 2017), *T. hamatum* (Studholme *et al.*, 2013) y *T. koningiopsis* (Jaimes *et al.*, 2009). *T. harzianum*, por ejemplo, produce esporas con alto nivel de tolerancia a condiciones ambientales adversas. Por este motivo, facilita el desarrollo de varias formulaciones de productos para diferentes usos agrícolas (López, 2011). *T. viride* y *T. atroviridae* también conforman formulaciones comerciales para uso agrícola (García *et al.*, 2017). Es relevante mencionar que es recomendable aplicar cepas de hongos nativos del lugar puesto que están más adaptadas a las condiciones ecológicas de la región. Esto garantiza resultados de biocontrol exitosos y más rápidos (García *et al.*, 2017).

9. Estudios previos de métodos de aplicación del hongo.

Se han realizado muchas investigaciones para evaluar distintos métodos y formas de aplicación del hongo, a diferentes concentraciones, en varios sustratos y a distintos cultivos.

La mayoría de estos estudios lo han realizado en la fase inicial del desarrollo de las plántulas (período de la germinación) pues en esta etapa es en la que, si no se tiene los cuidados y protección necesaria, se tiene consecuencias letales al futuro (Orellana *et al.*, 2002).

Pineda (2001) comparó la efectividad de tres métodos de aplicación del *T. harzarium* en el suelo: gránulos de suelo arcilloso impregnados de conidios del hongo y sacarosa, granos de arroz inoculados con el hongo y las semillas del ajonjolí cubiertas del hongo. La aplicación de gránulos y las semillas con el hongo fueron las que redujeron con mayor porcentaje la mortalidad del cultivo de ajonjolí frente al hongo patógeno estudiado.

Se han evaluado también diferentes métodos y técnicas de aplicación de *Trichoderma* spp. en diversos cultivos. Una de ellas es la inmersión de las semillas en una solución, otra es la peletización de la semilla en una pasta de una suspensión de biopreparado a base de este hongo. Basado en lo anterior, González *et al.*, (2005) presentaron que la efectividad de los métodos de tratamiento a la semilla de frijol con *Trichoderma* spp. osciló entre 96.5 y 97.5%. Encontraron que los porcentajes de efectividad más altos (mayores de 80%) fueron aquellos cultivos a los cuales se les aplicó tratamiento del hongo tanto las semillas, como en la siembra cada quince días durante el ciclo de cultivo. Con esto mantuvieron el menor índice de plantas afectadas por hongos patógenos. Se ha sumergido también las raíces de las plántulas en una suspensión de conidios del hongo. Sumergir las raíces con la suspensión de hongos bioagentes mejora una buena interacción antagonista-patógeno. El tratamiento preventivo representa una estrategia efectiva (Florentino *et al.*, 2018; Boughalleb *et al.*, 2018).

Existen otras técnicas que se han utilizado con este hongo. Un método común, es la aplicación directa al suelo y otra es la aspersion en el follaje de las plantas. Sin embargo, las metodologías de tratamiento para esta investigación, combina diferentes métodos anteriormente descritos, generando nuevos tratamientos. Manteniendo la aplicación de microorganismos, como *Trichoderma* spp., ya que son benéficos (Cano, 2011).

B. Justificación

El chile es una hortaliza que ha aumentado su importancia en el país en los últimos años por su alto valor nutritivo y la buena rentabilidad que provee al productor. Incluso en las tierras altas templadas de Guatemala, el chile pimiento es una de las hortalizas con mayor expansión. Este cultivo aporta al PIB nacional (US\$ 42, 706, 000,000.00) y al PIB agrícola (US\$ 4, 658, 551,000.00), además de generar más de 12,240 empleos permanentes anuales.

Sin embargo, a pesar de las voluminosas cantidades que ofrece al mercado nacional y extranjero, este cultivo, es víctima de enfermedades fúngicas. Esto disminuye la producción y rendimiento de sus frutos, obteniendo menor calidad de fruto. El género *Fusarium* sp., principalmente *Fusarium oxysporum*, ha sido la causa del declive de hasta 90% del rendimiento en diferentes cultivos.

Para contrarrestar esta problemática, se han utilizado agroquímicos como herbicidas, plaguicidas, fungicidas, reguladores de crecimiento, entre otros para aumentar el rendimiento de los cultivos. Esta solución, basada en herramientas químicas, perjudica el ambiente, desequilibra el sistema agrícola y no ha logrado controlar a las enfermedades transmitidas por hongos, causando resistencia hacia la molécula del químico e inutilizando el fungicida o plaguicida.

Esto perjudica a la salud humana y animal. La Organización de Naciones Unidas (ONU) publicó en 2017 que 200,000 casos de muerte anuales por intoxicación causados por plaguicidas e insecticidas haciendo énfasis que el 99% de estos casos se reportó en países en desarrollo. Menciona también que existe un estimado de número de personas afectadas anualmente por la exposición a los plaguicidas a corto y largo plazo, la cual oscilaba entre 1 millón y 41 millones. Esta preocupación es porque la exposición a plaguicidas está relacionado al cáncer, a la enfermedad de Alzheimer y a la enfermedad de Parkinson, a trastornos hormonales, a problemas de desarrollo y a esterilidad. El Instituto Nacional de Ciencias Forenses de Guatemala (INACIF) publicó en 2018 la identificación de 352 casos de intoxicación causadas por plaguicidas en Guatemala en 2013.

Sin embargo, con los avances biológicos actuales se busca incluir métodos sustentables ya que se conoce que la aplicación de estos métodos genera mayor efectividad (de hasta 80%). El uso de metodologías biológicas como control fitopatógeno conlleva también beneficios económicos a largo plazo. Se sabe que, por cada dólar invertido, retorna hasta treinta dólares (Rodríguez y Arredondo, 2007).

El hongo del género *Trichoderma* spp. ha sido uno de los más estudiados desde hace más de 70 años y, por lo tanto, ha sido utilizado para el control de enfermedades causadas por hongos fitopatógenos debido a su rápido crecimiento, colonización a varios sustratos y a la facilidad para aislarlo y cultivarlo. *Trichoderma* spp. es un hongo benéfico capaz de promover el crecimiento en las plantas, disminuir hongos fitopatógenos que las afecte y proveer de frutos de alta calidad. Tiene la habilidad de hacer que las raíces sean más robustas y con mayor profundidad, logrando más resistencia a las sequías y permitiéndoles mayor absorción de nutrientes.

Trichoderma spp. es un candidato ya investigado y usado como control biológico frente a diferentes patógenos fúngicos. Estos efectos antagónicos combaten al menos 18 géneros y 29 especies de hongos patógenos, además de varias bacterias patógenas. Entre los géneros más importantes son: *Rhizoctonia*, *Sclerotium*, *Pythium*, *Phytophthora* y *Fusarium*.

La mayoría de estudios se han realizado para hongos del suelo y escasos para la parte foliar. Este estudio será de importancia porque al evaluar el efecto de aplicación de *Trichoderma* spp. a la parte foliar de las plantas, se conocerá si existe la necesidad de utilizar diferente tipo de control para las raíces y para las hojas.

C. Objetivos

1. Objetivo general

Evaluación del control de hongos fitopatógenos, mediante la aplicación de *Trichoderma asperellum* en el suelo y hojas en plantas de chile pimiento *Capsicum annuum*.

2. Objetivos específicos

- a. Comparación de la calidad de frutos del chile pimiento *C. annuum* con la aplicación de *Trichoderma asperellum* ente los tratamientos.
- b. Comparación del crecimiento de la planta del chile pimiento *C. annuum* tratada con *Trichoderma asperellum* entre los tratamientos.
- c. Comprobar la presencia de hongos fitopatógenos en la planta del chile pimiento *C. annuum* tratada con *Trichoderma asperellum*.

D. Hipótesis de trabajo

1. Hipótesis principal

Los tratamientos con *Trichoderma asperellum* aplicados al follaje del chile pimiento *Capsicum annuum* tendrán menor presencia de hongos fitopatógenos.

2. Hipótesis secundarias

- a. Las plantas tratadas con *Trichoderma asperellum* aplicados al follaje del chile pimiento *C. annuum* tendrán mayor calidad de frutos.
- b. Las plantas tratadas con *Trichoderma asperellum* aplicados al follaje del chile pimiento *C. annuum* presentarán mayor crecimiento.
- c. Las plantas tratadas con *Trichoderma asperellum* aplicados al follaje del chile pimiento *C. annuum* presentarán menor frecuencia de apariciones de géneros de hongos fitopatógenos.

II. MÉTODOS

A. Procedimientos

1. Sitio experimental

El estudio lo llevé a cabo en el invernadero del Laboratorio de Protección Vegetal en el campus Altiplano de la Universidad del Valle de Guatemala, aldea El Tablón, Sololá (Figura 27). Se encuentra en las coordenadas N 14°47'08.6'' y W 91°11'12.6'' a 2,334 msnm (Cifuentes *et al.*, 2013). Esta localidad reporta temperatura máxima de 24.4 °C y mínima de -12.3°C, precipitación de 1010 mm y 81% de humedad relativa (INSIVUMEH, 2018).



FIGURA 27. Localización del invernadero UVG Altiplano, Sololá Guatemala.

Las dimensiones del invernadero se pueden observar en la Figura 28. Dentro de la misma se mantiene un promedio de 22°C y 70 % de humedad.

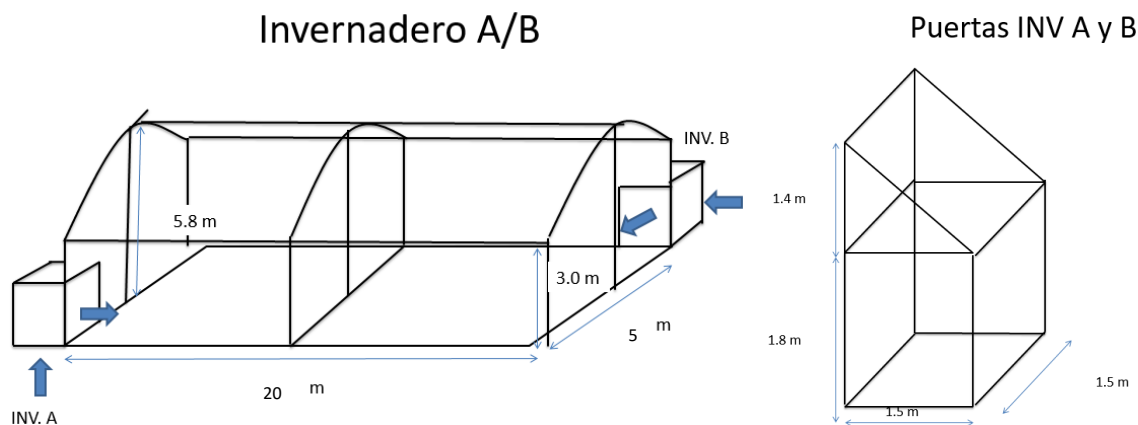


FIGURA 28. Dimensiones del área del invernadero del campus UVG Guatemala y UVG Altiplano.

2. Metodología

a. Diagnóstico inicial fúngico del área.

En esta fase, primero, analicé muestras de suelo obtenidas del campus UVG localizado en Sololá. Realicé una preparación de hifas del hongo con azul de lactofenol e identifiqué la presencia del hongo *Trichoderma* spp. Luego, mandé a secuenciar la muestra del hongo para saber qué especie era, a los laboratorios de Macrogen en Corea. Obtuve que el hongo era *Trichoderma asperellum*.

Reactivé las colonias de *Trichoderma* spp. (aisladas del suelo de la sede de UVG en Sololá presentes en el Cepario del Laboratorio de Protección Vegetal de la UVG) y crecieron en medio *Sabouraud* hasta alcanzar una concentración de 1×10^8 para la aplicación a las semillas y posteriormente a los pilones del chile pimiento.

1) Análisis de suelo.

Esterilicé la campana de flujo laminar con cloro al 10% y alcohol etílico al 70%. Agregué 9 ml de agua estéril en 6 tubos de rosca. Pesé 1 g de la muestra de suelo y agregué al primer tubo y lo aforé a 10 ml con agua estéril. Luego coloqué el tubo con la muestra en el agitador (esta muestra fue dilución 1:10). Tomé 1 ml y se lo agregué al segundo tubo (1:100). Este procedimiento lo repetí hasta el cuarto tubo (que tuvo 1:10000). Luego tomé 100µl de cada una de las diluciones 1:100, 1:1000 y 1:10000 y con un bastón de vidrio lo vertí sobre la superficie de una caja Petri con agar PDA. En total fueron 6 cajas Petri pues

lo hice en duplicado. Incubé las cajas a 30°C entre 5 a 7 días, evaluando la presencia de colonias de hongos. Realicé montajes de cada una de las colonias de hongos con azul de lactofenol (adaptado de protocolos LPV-UVG). Ya que existió presencia de diferentes hongos en una caja Petri, las purifiqué en cajas Petri separadas. Para identificar las diferentes colonias, comparé las esporas del hongo con esporas reportadas en claves de identificación taxonómica de hongos Barnett y Hunter (1972) y Farr *et al.*, (1995).

b. Aislamiento de *Trichoderma asperellum*

1) Preparación de caldo Sabouraud.

Pesé 7.5 g de caldo *Sabouraud* al 2% (Caldo de dextrosa) en la balanza analítica Sartorius BP41005. En un *erlenmeyer*, agregué el caldo *Sabouraud* anteriormente pesado, 250 ml de agua destilada y un agitador magnético. Agité en la estufa CIMAREC Barnstead/Thermolyne hasta que la solución se homogenizó. Le coloqué un tapón de algodón y lo mandé a la autoclave por 15 minutos. Esperé hasta que la solución alcanzó la temperatura ambiente. Agregué el contenido de una caja Petri con el hongo *Trichoderma asperellum*. Coloqué el *erlenmeyer* en la incubadora a 28°C por cinco días (adaptado de protocolos LPV-UVG).

2) Conteo de esporas.

Esto lo hice para asegurar que el hongo esté a la concentración deseada. Con una pipeta extraje 50 µl de la muestra y lo introduje por capilaridad entre la cámara de *Neubauer* y el cubreobjetos. Para el recuento de esporas observé una muestra en el microscopio con 250 X de aumento. Para esta investigación conté el número de esporas que están dentro de las áreas de los cuadrados de las esquinas y del centro (cuadrícula para conteo de glóbulos blancos). Teniendo las cantidades, realicé una conversión para conocer la concentración en la que se encuentra el hongo *Trichoderma asperellum*: Concentración de esporas:
$$\frac{\text{número total de esporas contadas}}{\text{número de cuadros (áreas) contadas}}$$
 (Andrade, 2013; Bustillo, 2010; Marienfield Laboratory Glassware, 2007; Rubio, 2009). Con la concentración deseada, coloqué el hongo en tubos *Falcon* (50 ml) y lo almacené en un refrigerador a 3-4°C hasta su uso.

c. Preparación de los tratamientos y siembra inicial del chile pimiento.

Esto lo realicé en el Invernadero A de Protección Vegetal (Figura 28). Este sitio mantiene un promedio de 22°C y 70% de humedad. En este lugar sembré las semillas de chile pimiento las cuales permanecieron allí por 49 días.

Para la siembra control (sin *Trichoderma asperellum*) de chiles pimientos realicé lo siguiente. Pesé 400 g de turba de musgo y lo coloqué en una bandeja mezcladora. Agregué 650 ml de agua y mezclé lentamente con la turba de musgo anteriormente pesada. Luego llené una bandeja pilonera (de 162 alveolos) y coloqué una semilla por alveolo a una profundidad de tres veces el tamaño de la semilla aproximadamente (adaptado de protocolos LPV-UVG). Tapé las semillas con un poco más de turba de musgo y después, coloqué la bandeja bajo la sombra (adaptado de protocolos LPV-UVG).

Para la siembra de los tres tratamientos con el *Trichoderma asperellum*, agregué 1.5 l. de agua en un recipiente hondo. Luego, con una jeringa medí 1.5 ml de regulador de pH, con otra jeringa medí 5cm (10ml) de *Trichoderma asperellum*. y agregué al recipiente con el agua y lo agité. Pesé 400 g de turba de musgo y lo coloqué en una bandeja mezcladora. Agregué 650 ml de la solución anterior (el hongo, el agua y el regulador de pH) y lo mezclé lentamente con los 400 g de turba de musgo. Luego, en un *beaker* coloqué las semillas del chile y agregué 30 ml del hongo al *beaker* a una concentración de $1 \cdot 10^8$ hasta cubrir todas las semillas y las dejé reposar por 20 minutos. Llené las bandejas piloneras con la turba de musgo y sembré las semillas a la profundidad anteriormente descrita y en un lugar con sombra (adaptado de protocolos LPV-UVG).

Para cumplir con el primer tratamiento de aplicación, agregué una solución de *Trichoderma asperellum* (4ml de hongo disuelto en 1 l. de agua a una concentración de $1 \cdot 10^8$) al sustrato en las bandejas de germinación y cada pilón. Humedecí el sustrato en el momento de siembra, a los 15 días después de siembra, y a los 30 días después de siembra (adaptado de protocolos LPV-UVG). A los 15 días después de la siembra, también evalué el porcentaje germinación y el porcentaje de vigorosidad

Para el segundo tratamiento de aplicación, los pilones tuvieron el mismo tratamiento que el anterior más la aplicación de un volumen de 200 ml de la solución líquida con *Trichoderma asperellum* (8ml/l a una concentración de $1 \cdot 10^8$) al pie de cada planta

sembrada al momento del trasplante y a los 30 días después del trasplante (adaptado de protocolos LPV-UVG).

El tercer tratamiento de aplicación consistió en que a los pilones les apliqué los tratamientos 1 y 2 anteriormente descritos, adicionalmente traté el follaje de las plantas utilizando la solución líquida con el hongo. Estas aplicaciones las hice utilizando un atomizador dirigiendo la aplicación al follaje. Estas aplicaciones las realicé a los 15, 45 y 55 días partiendo del trasplante hasta el final del ciclo de cultivo a una dosis de 8 ml/l (concentración de 1×10^8) (adaptado de protocolos LPV-UVG).

d. Trasplante de plántulas.

Esto lo realicé en el invernadero del campus del Altiplano. Previamente se realizó la preparación manual del suelo para que estuviera libre de terrones y materiales ajenos al experimento. Lo completaron con un programa de fertilización (Cuadro 4) que se utilizó con todos los tratamientos.

CUADRO 4. Programa de fertilización del suelo utilizado en el invernadero del campus UVG, Altiplano

Semana DDT	Fertilizantes	Cantidad utilizada
1	20-18-20	1lb.
2	Bayfolán (micronutrientes)	50cc
	20-28-20	1 lb.
3	20-18-20	1.5 lb
4	Bayfolán (micronutrientes)	100 cc
	Nitrato de calcio	1.5 lb
5	20-18-20	2lb
6	Bayfolán (micronutrientes)	150 cc
	Nitrato de calcio	2 lb.
7	0-40-40	2 lb.
8	Bayfolán (micronutrientes)	200 ml
	Nitrato de calcio	2 lb.
9	0-0-50	2 lb.
10	0-0-50	2 lb.
11	Nitrato de calcio	2 lb.
12	0-0-50	2 lb.

(Tomado de protocolos LPV-UVG)

1) Preparación de surcos.

Formé los surcos con azadones para darles una forma cóncava (para evitar la acumulación de agua). Coloqué mangueras de riego dentro de cada surco. Las dimensiones del área de experimento son: 5 m de ancho y 20 m de largo. Cada surco tenía 9 m de largo y 0.50 m de ancho, permitiendo sembrar a doble hilera un total de 44 plantas por surco. En cada surco sembré 2 repeticiones (2 tratamientos diferentes), cada una con 22 plantas (Figura 29). Cubrí los surcos con el acolchado de suelo plata negro. Hubo una distancia de 1.25 m entre cada surco. Los agujeros para el trasplante tuvieron una distancia de 0.35 m entre sí y una dimensión de 0.05 m de diámetro (adaptado de protocolos LPV-UVG). El manejo del cultivo lo hice principalmente utilizando control biológico. Utilizaría productos químicos únicamente si los productos biológicos no pudieran mantener controlada a la plaga. Posterior a esto, cuando los niveles de la población se hubieran reducido, eliminaría el control químico y continuaría con los productos biológicos.

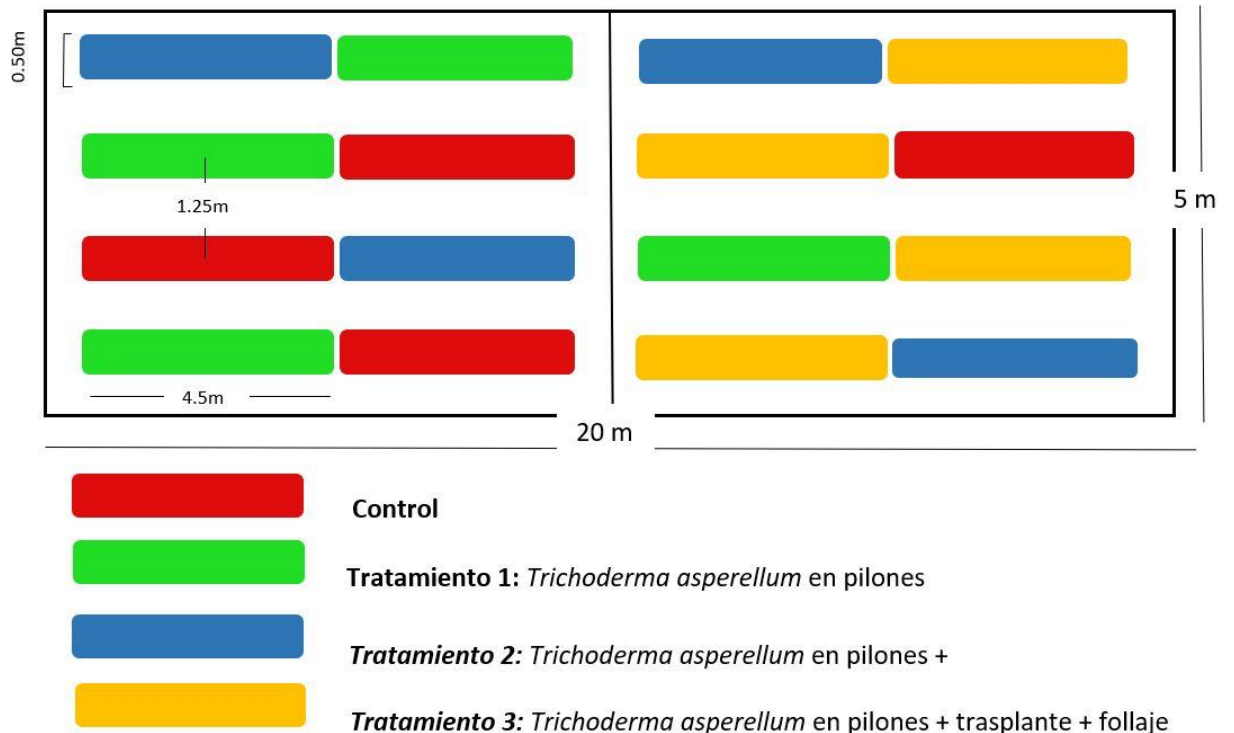


FIGURA 29. Dimensiones de surcos y localización de tratamientos para la siembra de pilones de chile pimienta en el invernadero del campus UVG, Altiplano.

(Elaboración propia)

e. Evaluación de parámetros.

Tomé tres plantas por cada tratamiento en una ocasión (antes de la floración) para evaluar las variables relacionadas a control de hongos fitopatógenos y crecimiento de plantas. Después al final de la cosecha, medí nuevamente las variables de las plantas. Adicional a esto, el encargado clasificó los frutos obtenidos según ciertos parámetros (Figura 3 y Cuadro 5) (adaptado de protocolos LPV-UVG).

Para identificar la presencia de hongos fitopatógenos por cada planta, extraje 0.5 g de muestra vegetal (0.2 g de raíz y 0.3 g de hoja y tallo). Usé la cámara húmeda y cajas de PDA para realizar análisis fúngico. Las dejé en la incubadora entre 5 a 7 días. Todas las colonias de hongos que crecieron las identifiqué haciendo montajes con azul de lactofenol.

En esta última fase hice el análisis fúngico del suelo con muestras de suelo obtenidas del campus UVG localizado en el Altiplano, Sololá. Esto lo realicé en el Laboratorio de Fitopatología e Histología- Laboratorio de Protección Vegetal CEAA-UVG (localizado en el campus central de la Universidad del Valle de Guatemala).

B. Diseño experimental

1. Variables

a. Crecimiento de las plantas

1) Germinación y vigor (%)

En este proyecto, determiné aquellas semillas como germinadas a las que pude observar sus estructuras aéreas. Las conté, las dividí dentro del total de semillas sembradas y saqué su porcentaje. Las plántulas que tenían vástago y hojas visibles desarrolladas, las consideraré de alto vigor (Pérez y Pita, 2016). Conté las plántulas las dividí dentro del total de semillas sembradas y saqué su porcentaje.

2) Altura y grosor del tallo (cm)

Medí con una regla común desde el nivel del suelo hasta el ápice de la rama apical la altura de la planta y el diámetro del tallo (Escalona y Pire, 2008; García *et al.*, 2001; Pérez *et al.*, 2018).

3) Distanciamiento entre nudos (cm)

Para contabilizar esta variable, medí con una regla la distancia entre los primeros dos nudos de la planta (Pérez *et al.*, 2018).

4) Peso seco de la raíz y de la planta completa (g)

Retiré las muestras de plantas del chile pimiento del suelo y las guardé en bolsas plásticas. Las trasladé en una hielera de duroport al laboratorio de LPV. Descarté el excedente de tierra que tenían las raíces. Dividí la planta en dos: la parte radicular (que involucra las raíces más 1-2 cm de la base del tallo) y la parte aérea (que es el resto de tallo y hojas). Pesé ambas partes en la balanza analítica y anoté los datos. Para secar las muestras, las almacené en una bolsa de papel (sin sellarla) en una incubadora a 70° C. Las seguí pesando cada día después de almacenarlas hasta que el peso fue constante (Rojas, 2014).

b. Calidad de los frutos.

Al momento de la cosecha determiné la cantidad de frutos por tratamiento y el encargado de venta de la UVG Altiplano los clasificó como chile de primera calidad, chiles de segunda calidad y chiles de tercera calidad según su experiencia (Cuadro 5).

c. Control de hongos fitopatógenos

1) Presencia de hongos patógenos en el suelo

Realicé un análisis microbiológico para determinar la presencia de *Trichoderma asperellum*, otros hongos benéficos y patógenos en el sitio donde llevé a cabo el experimento al inicio y al final. Tomé una muestra compuesta del suelo y realicé un listado de los diferentes hongos

2) Presencia de hongos patógenos en raíces

Realicé un análisis microbiológico de la investigación para determinar la presencia de hongos patógenos en las raíces de las plantas. Para esto tomé muestras de raíces de tres plantas por cada tratamiento provenientes de Sololá y las trasladé al laboratorio LPV-UVG. Identifiqué los géneros de los hongos que causan las enfermedades.

3) Presencia de hongos patógenos en el follaje

Realicé un análisis microbiológico de la investigación para determinar la presencia de hongos patógenos en las hojas de las plantas. Para esto tomé muestras del follaje de tres plantas por cada tratamiento provenientes de Sololá y las trasladé al laboratorio LPV-UVG. Identifiqué los géneros de los hongos que causan las enfermedades.

d. Costos y producción.

Determiné las ganancias o pérdidas que se generaron en esta investigación asumiendo los gastos y los ingresos correspondientes.

2. Análisis estadístico

El diseño experimental fue estrictamente aleatorizado, con cuatro repeticiones por cada tratamiento. La unidad experimental es cada repetición compuesto por 22 unidades experimentales.

Para analizar la calidad de frutos según su categoría y las variables (excepto germinación y vigor) del crecimiento de las plantas utilicé ANOVA de una vía y *Tukey HSD* como pruebas *Post Hoc*. Utilicé también *Kruskal-Wallis* y la prueba de *Dunn* como sus pruebas no paramétricas respectivas (todo con alfa de 0.05). (Elizondo y Monge, 2016; Elizondo y Monge, 2017; Monge, 2015).

Para el análisis de control de hongos fitopatógenos, hice un recuento de frecuencias de la presencia de hongos fitopatógenos en ambos muestreos para cada tratamiento.

III. RESULTADOS

El resultado de la secuenciación del hongo del género *Trichoderma* spp. que se utilizó para este estudio fue *Trichoderma asperellum*.

El diagnóstico fúngico inicial del área con dos muestras de suelo (obtenidas del campus UVG localizado en Sololá) mostró que hay presencia de *Fusarium* sp., *Penicillium* sp., *Rhizopus* sp., y *Trichoderma asperellum*. El diagnóstico final con una muestra de suelo mostró la presencia de *Aspergillus* sp., *Cladosporium* sp. y *Penicillium* sp.

A los 30 días después de la siembra, las plántulas tratadas con *Trichoderma* sp. presentaron un 92.0% de germinación y 75.9% de vigorosidad. Las plántulas sin ningún tratamiento con el hongo (control) mostraron un 84.6% de germinación y 59.3% de vigorosidad.

Los parámetros que utilicé para clasificar los frutos de las plantas de los chiles pimientos en la cosecha no fueron los descritos en los Cuadros 1, 2 ni 3. El encargado de venta de UVG Altiplano clasificó los frutos según su experiencia en los mercados de Sololá. Basado en su clasificación me enfoqué en la longitud y ancho de los frutos (Cuadro 5).

CUADRO 5. Clasificación del fruto del híbrido del chile pimiento *Blocky* según la experiencia en los mercados de Sololá.

	ESTÁNDARES		
	CATEGORÍA I	CATEGORÍA II	CATEGORÍA III
Longitud (cm)	Mayor o igual a 6.9	Entre 6.6 y 6.8	Menor o igual a 6.5
Ancho (cm)	Mayor o igual a 5.4	Entre 5.3 y 3.1	Menor o igual a 3

Existe diferencia significativa en la cantidad de frutos de primera calidad obtenidos entre tratamientos ($p = 0.005$, $\alpha = 0.05$). Específicamente entre el tercer tratamiento y el control

($p=0.017$, $\alpha=0.05$), entre el tercer y primer tratamiento ($p=0.004$, $\alpha=0.05$) y entre el tercer y segundo tratamiento ($p=0.048$, $\alpha=0.05$). Existe también diferencia significativa en la cantidad de frutos obtenidos de segunda calidad entre tratamientos ($p=0.047$, $\alpha=0.05$). Particularmente entre el primer tratamiento y el control ($p=0.030$, $\alpha=0.05$), entre el primer y segundo tratamiento ($p=0.009$, $\alpha=0.05$).

En cuanto a cantidad de frutos, el control presenta una media de 784 frutos, el primer tratamiento tiene una media de 778 frutos, el segundo tratamiento tiene 688 frutos y el tercer tratamiento 605. El control presenta la media más alta del total de la cantidad de frutos producidos con 784 frutos y el tercer tratamiento presenta la media más baja con 605 frutos. En la Figura 30 se puede observar que, a pesar de los resultados anteriores, el control tiene menos frutos de primera calidad (70 frutos) en comparación con el tercer tratamiento (212 frutos).

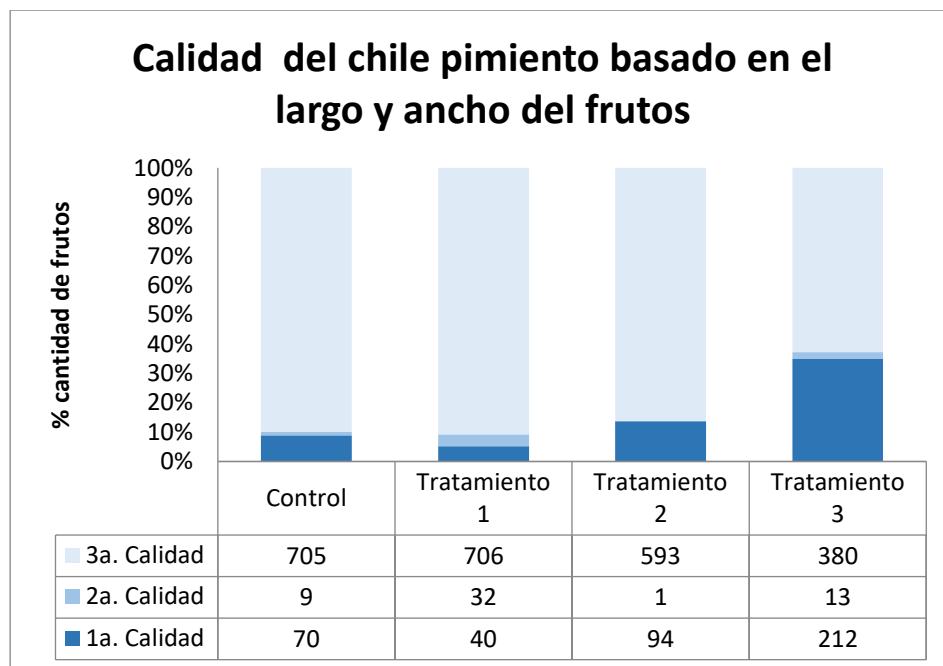


FIGURA 30. Calidad del chile pimiento basado en el largo y ancho de los frutos.

Una de las observaciones que noté en la cosecha, fue la presencia de manchas de sol (o más conocido como las quemaduras de sol) en los chiles pimientos. Esto es causado cuando el sol pega directamente sobre los frutos por un tiempo prolongado (Luro, 1982). Estas manchas oscuras reducen la calidad de los frutos y, por lo tanto, el precio cuando se colocan a la venta en los mercados.

No se realizó la reevaluación de la calidad eliminando el factor mancha de sol para saber si existe diferencia significativa en la cantidad de frutos obtenidos de primera, segunda calidad y tercera calidad entre los distintos tratamientos debido a que la cantidad de plantas que se estudiaron fue muy pequeña. Al tener un número bajo de plantas, carecería de suficiente información para realizar comparaciones.

En cuanto al crecimiento de las plantas del chile pimiento, se obtuvo que la media para altura es de 85.73 cm, 1.19 cm de diámetro, 8.42 de distanciamiento entre nudos, 4.79 cm del peso seco de la raíz, 14.57 del peso seco de la planta y 29.39 cm de la longitud de la raíz. Las pruebas mostraron que no hubo ningún efecto en el crecimiento de la planta entre tratamientos (Cuadro 6).

CUADRO 6. Comparación entre tratamientos de valor *p* de las diferentes variables evaluadas para crecimiento de las plantas de chile pimiento basadas en las pruebas *post-hoc* (ANOVA de una vía y Kruskal-Wallis) con valor de alfa de 0.05.

Variable	valor <i>p</i>
Altura	0.588
Diámetro	0.203
Distanciamiento entre nudos	0.759
Peso seco de la raíz	0.206
Peso seco de la planta	0.31
Altura de la raíz	0.516

* Diferencia significativa

Por medio del análisis microbiológico identifiqué 12 géneros de hongos fitopatógenos (Cuadro 7) presentes en las plantas (tanto en raíces, como en tallo y hojas) en ambos muestreos durante el ciclo de crecimiento. Los hongos *Colletotrichum* sp., *Curvularia* sp., *Drechslera* sp. y *Paecilomyces* sp. estaban presentes en primer muestreo, mas no en el

segundo. Los hongos *Chaetomium* sp. y *Bipolaris* sp. estaban presentes en el segundo muestreo, mas no en el primero (Cuadro 7).

El género de hongo más frecuente en todos los tratamientos y en ambos muestreos fue *Cladosporium* spp. con 41 apariciones seguido de *Fusarium* spp. con 29 apariciones (Cuadro 7). El control presenta mayor cantidad de apariciones con 58 de los diferentes géneros de hongos fitopatógenos seguido del tercer tratamiento con 48. Los hongos con mayor número de apariciones (11 apariciones) en el control fueron *Aspergillus* sp., *Rhizopus* sp. y *Fusarium* sp.; en el primer y segundo tratamiento fue *Cladosporium* sp. con 12 apariciones respectivamente y en el tercer tratamiento fue *Rhizopus* sp. con 12 apariciones (Cuadro 7).

CUADRO 7. Hongos fitopatógenos presentes en las plantas de chile pimienta en primer y segundo muestreo bajo los diferentes tratamientos con *Trichoderma asperellum* y hongos que afectaron solo hasta la post cosecha.

Hongos	C	T1	T2	T3	
** <i>Colletotrichum</i> sp.	0	2	2	1	5
** <i>Curvularia</i> sp.	2	1	0	1	4
** <i>Drechslera</i> sp.	0	0	0	1	1
** <i>Paecilomyces</i> sp.	1	0	0	0	1
* <i>Chaetomium</i> sp.	1	0	4	0	5
* <i>Bipolaris</i> sp.	1	1	0	2	4
<i>Alternaria</i> sp.	7	7	4	6	24
<i>Fusarium</i> sp.	11	3	8	7	29
<i>Aspergillus</i> sp.	11	3	2	7	23
<i>Cladosporium</i> sp.	9	12	15	5	41
+ <i>Rhizopus</i> sp.	11	0	3	12	26
+ <i>Penicillium</i> sp.	4	3	2	6	15
TOTAL	58	32	40	48	178

- ** Presentes en primer muestreo y no en el segundo
- * Presentes en el segundo muestreo y no el primero
- + Hongo que afecto en la post cosecha

En el muestreo final (el segundo) identifiqué 7 géneros de hongos fitopatógenos presentes en las raíces (Cuadro 8) y 7 géneros de hongos fitopatógenos presentes en las hojas (Cuadro 9) en las plantas del chile pimienta. El hongo *Fusarium* sp. estaba presente

en las raíces, mas no en las hojas. El hongo *Alternaria* sp. estaba presente en las hojas, mas no en las raíces. *Fusarium* sp. fue el hongo con mayor frecuencia (con 17 apariciones) presente en las raíces en todos los tratamientos (Cuadro 8). *Cladosporium* sp. fue el hongo con mayor frecuencia (con 41 apariciones) presente en las hojas en todos los tratamientos (Cuadro 9).

En las raíces, el control presenta mayor cantidad de apariciones con 17 de los diferentes géneros de hongos fitopatógenos seguido del tercer tratamiento con 13. En el control y primer tratamiento, *Fusarium* sp. fue el hongo con mayor número de apariciones (5 y 3 apariciones respectivamente). En el segundo tratamiento fue *Fusarium* sp. y *Cladosporium* sp. con 4 apariciones y en el tercer tratamiento fue *Fusarium* sp. y *Rhizopus* sp. con 5 apariciones (Cuadro 8).

En las hojas, el control presenta mayor cantidad de apariciones con 21 de los diferentes géneros de hongos fitopatógenos seguido del tercer tratamiento con 18. En el control, primer y segundo tratamiento, *Cladosporium* sp. fue el hongo con mayor número de apariciones (7, 11 y 11 apariciones respectivamente). En el tercer tratamiento fue *Rhizopus* sp. con 4 apariciones (Cuadro 9).

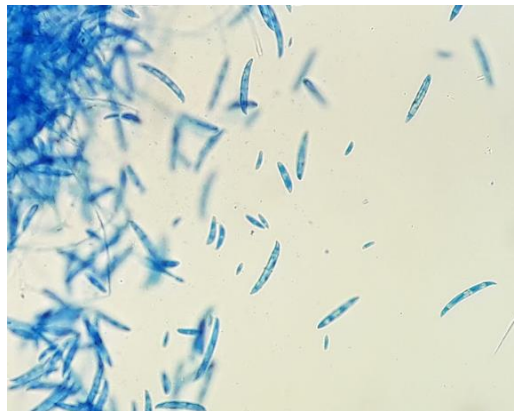


FIGURA 31. Conidios del hongo *Fusarium* sp.
(Fotografía por LPV)



FIGURA 32. Conidios del hongo *Alternaria* sp.

(Fotografía por LPV)



FIGURA 33. Conidios del hongo *Cladosporium* sp. presentes en las hojas de los chiles pimientos

(Fotografía por LPV)

CUADRO 8. Hongos fitopatógenos presentes en las raíces de las plantas de chile pimiento en el segundo muestreo.

Hongos	C	T1	T2	T3	
<i>Aspergillus</i> sp.	4	1	1	2	8
<i>Fusarium</i> sp.	5	3	4	5	17
<i>Cladosporium</i> sp.	1	0	4	0	5
<i>Rhizopus</i> sp.	4	0	0	5	9
<i>Penicillium</i> sp.	2	0	0	1	3
<i>Chaetomium</i> sp.	1	0	3	0	4
<i>Bipolaris</i> sp.	0	1	0	0	1
TOTAL	17	5	12	13	47

CUADRO 9. Hongos fitopatógenos presentes en las hojas de las plantas de chile pimiento en el segundo muestreo.

Hongos	C	T1	T2	T3	
<i>Aspergillus</i> sp.	3	0	1	3	7
<i>Cladosporium</i> sp.	7	11	11	3	32
<i>Penicillium</i> sp.	2	0	0	3	5
<i>Alternaria</i> sp.	4	2	2	3	11
<i>Rhizopus</i> sp.	4	0	0	4	8
<i>Bipolaris</i> sp.	1	0	0	2	3
<i>Chaetomium</i> sp.	0	0	1	0	1
TOTAL	21	13	15	18	67

Durante todas las mediciones y los análisis fúngicos se observó posible presencia de cenicilla (Figura 34) en el dorso y reverso de las hojas y tallos de las plantas de chile pimiento. Igualmente, se observó paratriozas (Figura 35) en el dorso de las hojas. Se detectó la presencia de este hongo y esta paratrioza (en estado inicial) antes de la cosecha. No se identificó el género fúngico ni de la paratrioza.



FIGURA 34. Presencia de micelio blanco en hojas de chile pimiento. Enfermedad conocida como cenicilla

(Fotografía por Ajpop, W.)



FIGURA 35. Presencia de paratriozas en el envés de la hoja del chile pimiento
(Fotografía por Pérez, K.).

En cuanto a la rentabilidad de producción de este estudio en específico, de chile pimiento utilizando un control biológico (*Trichoderma asperellum*), obtuve una pérdida de Q5, 144.16 (Cuadro 10). En donde cada planta (semilla germinada) produjo un aproximado de 8 frutos, y cada fruto representó una inversión de Q2.01. En este estudio, el encargado vendió los frutos de primera calidad a Q1.00, los de segunda calidad a Q0.50 y los de tercera calidad a Q0.07.

Realicé proyecciones de rentabilidad de producción cambiando algunos factores para que fuera en condiciones más reales. Eliminé el gasto del análisis fúngico (ya que esto lo realicé con el fin de obtener información y datos para este estudio, pero normalmente, los agricultores no invierten en tales pruebas). Agregué sueldo para jornaleros y aumenté el precio de venta de frutos a valores más reales de mercados. En total hice tres proyecciones: la primera (Cuadro 11) es el presupuesto con la descripción anterior manteniendo la misma cantidad de semillas que usé en este estudio, y como resultado indica una ganancia de Q 2,875.54. La segunda proyección (Cuadro 12) plasma el presupuesto utilizando el doble de semillas e indica Q5,751.08 de ganancias. Por último, la tercera proyección (Cuadro 13), con el triple de semillas, indica Q 8,341.62 de ganancia.

CUADRO 10. Presupuesto general de costos y producción del cultivo de chile pimiento tratados con *Trichoderma* sp. basados en la calidad de los frutos.

Descripción del ítem	Unidad	Precio por unidad	Cantidad	Monto total	Sub Total	Total
GASTOS						Q5,746.46
Honorarios					Q0.00	
Jornalero 1 (40días*Q50.00 al día)		Q50.00	0	Q0.00		
Material de campo					Q793.26	
Mulch rollo 1000 mts * 0.75m	rollo	Q450.00	0.08	Q36.00		
Fertilizante soluble triple 20	kilo	Q30.00	9	Q270.00		
Lombricompost/quintal	quintal	Q52.00	1	Q52.00		
Insecticida Nematicida Mocap	kilo	Q34.00	2	Q68.00		
Insecticida Act botánico	litro	Q75.00	0.5	Q37.50		
Fertilizante Foliar Poliquel multi	litro	Q52.00	0.2	Q10.40		
Fertilizante Foliar Poliquel calcio	litro	Q70.00	0.2	Q14.00		
Fertilizante Foliar K-fol	500g	Q75.00	1	Q75.00		
Regulador de Ph INDICATE		Q80.00	0.192	Q15.36		
Insecticida Teraboveria	litro	Q250.00	0.5	Q125.00		
Pita para tutorear	rollo	Q90.00	1	Q90.00		
Semillas					Q928.20	
Top Seed 141		Q2.60	357	Q928.20		
Análisis fúngico					Q4,025.00	
Laboratorio Protección Vegetal -UVG	muestra	Q175.00	23	Q4,025.00		
INGRESOS						Q602.30
Frutos de primera calidad					Q405.00	
Unidades vendidas a tercera persona para vender en el mercado de Sololá		Q1.00	405	Q405.00		
Frutos de segunda calidad					Q30.00	
Unidades vendidas a tercera persona para vender en el mercado de Sololá		Q0.50	60	Q30.00		
Frutos de tercera calidad					Q167.30	
Unidades vendidas a tercera persona para vender en el mercado de Sololá		Q0.07	2390	Q167.30		
GASTOS-INGRESOS						-Q5,144.16

IV. DISCUSIÓN

El diagnóstico fúngico inicial del suelo mostró la presencia de *Fusarium* sp., *Penicillium* sp., *Rhizopus* sp. y *Trichoderma asperellum*. El diagnóstico final mostró la presencia de *Aspergillus* sp., *Cladosporium* sp. y *Penicillium* sp. Primero, es importante mencionar que esta investigación no busca erradicar los hongos causantes de enfermedades porque se debe mantener un equilibrio ecosistémico agrícola (es parte de la definición de control biológico). Se busca disminuir las poblaciones de organismos perjudiciales a una proporción que no cause daño económico (Nicholls, 2008) por medio de *Trichoderma* sp. Debido a que se encontró este hongo benéfico al inicio se utilizó esta cepa nativa para conocer su efecto como control fitopatógeno en la producción de chile pimiento híbrido. Como respuesta a dicho efecto, se observa que al final del diagnóstico fúngico no hay presencia de *Fusarium* sp. en el suelo. Este es un resultado positivo ya que este género es considerado como uno de los hongos del suelo más importantes por su incidencia, severidad y pérdidas económicas que causa en sistemas agrícolas de las regiones tropicales y subtropicales (Rodríguez, 2001), como Guatemala.

La presencia de *Cladosporium* sp. en el suelo al final de la cosecha es importante analizarlo también. Hay muchas investigaciones que han estudiado la presencia de este hongo en el aire (Sabariego *et al.*, 2004). Otros estudios han encontrado que especies como *Cladosporium uredinicola* han sido beneficiosas, pues ha sido estudiada como biocontrolador de *Puccinia horiana* (Álvarez *et al.*, 2015). Sin embargo, otros estudios han encontrado especies fitopatógenas como *Cladosporium fulvum* que ha perjudicado a los cultivos de tomates (Balatti, 2018). *Cladosporium* sp. no tiene reportes como agente causante de tantas pérdidas de cultivos como *Fusarium* sp. (que disminuye hasta un 90% de rendimiento en diferentes cultivos) (Sayyed *et al.*, 2017), debido a que es un invasor secundario (Sánchez y Almaguer, 2018), sin embargo, sería importante salir de dudas y poder hacer un análisis molecular de la cepa de esta investigación para conocer su especie.

Evalué el porcentaje de germinación y vigor de todas las plántulas a los 30 días después de la siembra. Las plántulas tratadas con *Trichoderma* sp. obtuvieron 92.0% de

germinación y 75.9% de vigorosidad. Las plántulas sin ningún tratamiento con el hongo (control) obtuvieron 84.6% de germinación y 59.3% de vigorosidad. A pesar del uso de semillas híbridas brindan cierta garantía de mayor rendimiento, vigorosidad y producción, además de frutos con características esperadas, uniformidad y en algunos casos, resistencias a ciertas enfermedades causadas por virus y hongos (Bárcena *et al.*, 2004), las proporciones son distintas entre las plántulas tratadas con el hongo y las plántulas control. No puedo decir que es significativo, por lo que recomiendo realizar un estudio con mayor número de individuos. Es decir, conocer qué tanto el *Trichoderma* sp. generará mayor germinación y vigorosidad en la etapa inicial del crecimiento de las semillas.

Los resultados evidencian que la aplicación adicional de *Trichoderma asperellum* al follaje del chile pimiento *C. annuum* causa un efecto significativo ($p = 0.005$, $\alpha = 0.05$) en la producción de mayor cantidad de frutos de primera calidad en comparación con los otros tratamientos. Es por esto que, las propiedades de antagonismo, colonizador, síntesis y liberación de enzimas de este hongo brindan mayor probabilidad de adquirir frutos sanos.

Los tratamientos no tuvieron ningún efecto en el crecimiento de la planta en los dos muestreos de evaluación. Las pruebas mostraron que no existe diferencia significativa de las diferentes variables evaluadas entre tratamientos.

Por medio del análisis microbiológico identifiqué 12 géneros de hongos fitopatógenos (Cuadro 7) presentes en la planta (tanto en raíces, como en tallo y hojas) en ambos muestreos durante el ciclo de crecimiento. Los hongos *Colletotrichum* sp., *Curvularia* sp., *Drechslera* sp. y *Paecilomyces* sp. estaban presentes en primer muestreo, mas no en el segundo. Los hongos *Chaetomium* sp. y *Bipolaris* sp. estaban presentes en el segundo muestreo, mas no en el primero. Todos los géneros de hongos identificados en este estudio son fitopatógenos, excepto *Trichoderma* sp. que también apareció en los tejidos vegetales, pero éste es benéfico y se agregó intencionalmente para efecto de esta investigación. Todos los microorganismos dependen de la interacción entre ellos para expresar su efecto potencial benéfico (Cano, 2011). Estas interacciones son complejas porque pueden presentar efectos sinérgicos benéficos o antagónicos a la planta (Cano, 2011). Además, dependen de la compatibilidad fisiológica y bioquímica en las distintas combinaciones que se den (Cano, 2011).

El género de hongo *Cladosporium* sp. ha sido foco de estudio debido a que se ha encontrado frecuentemente esporas en el aire (Sabariego *et al.*, 2004). Relacionado a esto, se sabe que causa enfermedades en las partes aéreas del chile pimiento (lesiones en ramas y hojas) (Delgado *et al.*, 2013). En este estudio, *Cladosporium* sp. fue el hongo más frecuente en el control, primer y segundo tratamiento (Cuadro 7), mas no en el tercer tratamiento. Cuando este hongo ocasiona lesiones graves hace que gran parte de la superficie de las hojas ya no pueda realizar la fotosíntesis (Torres *et al.*, 2008), se marchitan, ya no pueden cubrir a los frutos del sol, afectando la calidad de frutos. Debo mencionar que *Trichoderma* sp. controló la infección de *Cladosporium* sp. en el tercer tratamiento en las hojas del chile pimiento (Cuadro 9).

Cladosporium sp. ataca a cultivos de los invernaderos (Torres *et al.*, 2008) porque estos ambientes mantienen una humedad relativa adecuada para el hongo y lo convierte en una condición predisponente. La frecuencia de la enfermedad causada por este hongo es menor en campo abierto tomates (Balatti, 2018). Recomendaría comprobar este supuesto.

En el Cuadro 7 se puede observar que *Rhizopus* sp. y *Penicillium* sp. están presentes varias veces en los análisis fitopatógenos (26 y 15 apariciones respectivamente). Estos géneros son conocidos por sus infecciones post cosecha, son oportunistas pues se aprovechan de heridas en el fruto producidas por daños mecánicos o lesiones causadas por insectos. Estos pueden causar infección en el campo, permaneciendo latentes hasta la maduración del fruto. Es decir, no afectan en el campo sino en la etapa de almacenamiento. Es por esto que es importante el buen manejo de chiles pimientos posterior a la cosecha (Zapata, *et al.* 2018). Por ejemplo, una desinfección adecuada para disminuir o eliminar esporas presentes especialmente de hongos fitopatógenos en campo y en especial durante el almacenamiento.

El tercer tratamiento presenta cantidades altas de frecuencias de hongos fitopatógenos con 48 apariciones (Cuadro 7) de los diferentes hongos identificados. Sin embargo, como mencioné anteriormente, este tratamiento produce mayor cantidad de frutos de primera calidad que los demás ($p= 0.005$, $\alpha = 0.05$). Es decir que, aunque las plantas presentaran síntomas de hongos y estaban infectados, no influyó en la calidad de los frutos. Esto puede ser posible ya que *Trichoderma* sp. tiene acción quitinolítica (liberación de quitinasas), la

cual logra el desarrollo de cierta resistencia en las plantas. Cuando libera esta enzima, logra entrar al micelio del patógeno, absorbe sus nutrientes y así logra disolver el patógeno (Wu *et al.*, 2017). No significa que no se infecte, si no que logran frenar el proceso infeccioso (inhibe el efecto del patógeno) y ya no hay desarrollo de hifas (Wu *et al.*, 2017). Esto impide que se vea afectada la producción de frutos del chile pimiento. Cabe mencionar que, aunque las plantas desarrollen cierta inmunidad (liberando otras enzimas como xilanasas) (Wu *et al.*, 2017) no quedarán exentas del hongo porque el patógeno estará allí y se podrán detectar por las esporas. Cabe mencionar que los hongos que infectaron mayormente a este tratamiento fueron hongos como *Rhizopus* sp. que está en el ambiente y afecta durante la postcosecha. Es decir, en realidad no es fitopatógeno en el campo, si no que se aprovecha de daños en las heridas que tengan los frutos debido al ambiente generado en la post cosecha. Otra diferencia marcada es que *Cladosporium* sp., que, si es fitopatógeno, fue el que menos perjudicó con el 12% en este tratamiento en comparación con los demás con el 22% para el control, 29% para el primer tratamiento y 37% para segundo tratamiento (Cuadro 7).

Como había mencionado anteriormente, observé manchas solares en los chiles pimiento. La mancha solar es un problema en cultivos como las hortalizas, hay estudios publicados que explican las causas y los factores que las ocasionan. Entre estos están la elevada exposición de radiación solar, altas temperaturas y el componente genético (Dagmara *et al.*, 2009; Dagmara *et al.*, 2011).

La reevaluación de los frutos (no tomando en cuenta la mancha de sol) hubiera permitido mostrar si esta variable afecta de forma negativa entre tratamientos la clasificación de los frutos en primera, segunda o tercera categoría más que otra variable. Permitiría saber si perjudica en el crecimiento de los frutos, es decir, uniformidad, presencia de bultos o doblamientos. Si esta variable era la que afectaba significativamente a la clasificación, se podrían tomar medidas necesarias para evitar este daño ya que era controlable y al final, más rápido y fácil de resolver. Y así, permitiría obtener mayores ingresos al momento de tener la disposición de vender los frutos debido a su buena calidad. Sin embargo, no realicé esta reevaluación (eliminando el factor mancha de sol) debido a que la baja cantidad de

plantas que usé para este estudio. Al tener un número bajo de plantas, carecería de suficiente información para realizar comparaciones.

Durante todas las mediciones y los análisis fúngicos se observó posible presencia de cenicilla (Figura 34) en el dorso y reverso de las hojas y tallos de las plantas de chile pimiento. Al igual, se observó paratriozas (Figura 35) en el dorso de las hojas. Se detectó la presencia de este hongo y esta paratrioza (en estado inicial) antes de la cosecha. No se identificó el género fúngico ni de la paratrioza. Sin embargo, si efectivamente fuera este género de hongo, es crítico para el desarrollo, crecimiento y rendimiento de las plantas y frutos del chile pimiento.

Actualmente la cenicilla tiene importancia en cultivo bajo cubierta en regiones húmedas, así como en zonas áridas donde se cultivan variedades de pimiento. Presenta un amplio rango de hospedantes afectando a más de 1,000 especies pertenecientes a 74 familias, entre ellas, tomate (*Lycopersicon esculentum*), cebolla (*Allium cepa*), entre otros. A pesar de esta diversidad el chile pimiento *Capsicum* sp. es el que alcanza su mayor dispersión a nivel mundial. Esta enfermedad retrasa el crecimiento de las plantas, produce defoliación (quedando expuestos los frutos a quemaduras), las hojas se enrollan hacia arriba. Todo esto, afecta el potencial de rendimiento, reduce la actividad fotosintética, aumenta el proceso respiratorio (da lugar a la pérdida de energía), y permite la infección de otras enfermedades (Flores, 2018).

En esta investigación obtuve una pérdida de Q5, 144.16 (Cuadro 10) en la producción de chile pimiento utilizando un control biológico (*Trichoderma asperellum*). Estos resultados pudieron haber sido influenciados por varios factores, ya sean por su ambiente o administrativos.

Uno de los factores ambientales que impactaron negativamente la producción de frutos de primera calidad fue la temperatura. Entre febrero y marzo, se alcanzó hasta 54 °C a medio día y 4.5 °C en horas de la tarde dentro del invernadero. La humedad relativa también presentó valores extremos. La máxima fue de 96.5 % la mínima de 6 % de humedad. Adicionando, la luz solar afectó directamente a los frutos (más a aquellos cuyas hojas estaban decaídas a causa de hongos fitopatógenos) y no se colocó sarán a tiempo. Sin embargo, el sol afectó por igual un bloque por cada tratamiento. El riego es otro de los

factores, pues observé que uno de los lados del invernadero estaba bastante seca la tierra, esto fue un obstáculo para que las plantas se desarrollaran de la mejor manera. Otro factor fue la reducida cantidad inicial de semillas utilizadas. Algunas de ellas no germinaron antes del trasplante y otras las extraje antes de la etapa de cosecha porque presentaban síntomas de enfermedades fúngicas (es por esto que realicé el presupuesto basado en 357 semillas).

Uno de los factores administrativos o de manejo que intervino fue el incumplimiento del uso exclusivo del invernadero para este proyecto. Esto disminuiría contaminación de hongos ajenos al chile pimiento. Las condiciones de la infraestructura del invernadero perjudicaron también, pues existen algunas aberturas en las esquinas. Al no estar presente todo el tiempo en el altiplano, no me permitió tomar medidas inmediatas para resolver cada uno de estos factores. Es por esto que sugiero tener un encargado en el Altiplano exclusivamente para un proyecto o ir con más frecuencia para detectar más temprano estas necesidades, controlar las condiciones y tener más ganancias. Otra variable que afectó bastante fue el precio final de venta de los frutos. Fue un error vender los frutos al primer comprador y no realizar antes una evaluación de mercado. Hubiera sido más conveniente venderlos en un supermercado de la ciudad como producto orgánico a un precio más valorado. Allí, las personas pagarían ese precio. Otro factor que pudo haber afectado la rentabilidad de la producción es el costo del análisis fúngico de algunas plantas de su cultivo. Muchos comerciantes o agricultores no consultan el estado de sus plantaciones a laboratorios. Al no realizar dichos análisis, bajaría el costo por fruto.

Para realizar el presupuesto de este estudio utilicé un total de 357 semillas germinadas, la cual cada una produjo un aproximado de 8 frutos, y cada fruto representó una inversión de Q 2.01. Obtuve una pérdida de Q5, 144.16. El tercer tratamiento tuvo la menor cantidad de frutos cosechados con un 14.19%, sin embargo, representó el mayor porcentaje de ganancias con el 67.24%. El primer tratamiento representó el 83.71% en cantidades de fruto, pero el 27.77% de las ganancias totales.

A simple vista, se puede percibir que la inversión es demasiada y no existe beneficios económicos al aplicar cantidades adicionales de *Trichoderma asperellum* al follaje del chile pimiento *C. annuum*. Sin embargo, este estudio me permitió detectar que el tercer

tratamiento tiene potencial si se controlan las condiciones ambientales porque presentó mayor cantidad de frutos cosechados (Cuadro 10).

Realicé también tres proyecciones (en donde cambio algunos factores del presupuesto para que sea más real) para conocer la rentabilidad y competitividad de un proyecto más grande. En la primera proyección (Cuadro 11) solamente agregué el pago de un jornalero, quité la inversión para análisis fitopatógenos y aumenté el valor de venta de los chiles para generar un caso más real. Con estos cambios, obtuve una ganancia de Q2,875.54. En la segunda proyección (Cuadro 12), agregué el pago de dos jornaleros, dupliqué la cantidad de semillas (714 unidades) y mantuve el precio de venta propuesto. Con estos cambios, obtuve una ganancia de Q5,751.08. En la tercera proyección (Cuadro 13) agregué tres jornaleros, y tripliqué la cantidad de semillas (1071) y mantuve el precio de venta propuesto. Obtuve una ganancia de Q8, 341.62. De esta manera puedo decir que la aplicación del hongo con el método del tercer tratamiento tiene el potencial de generar ganancias.

Otro posible proyecto rentable que también se puede realizar es la elaboración de las soluciones de *Trichoderma spp.* nativo o adaptado a la región de interés, pero no en condiciones artesanales y no de laboratorio. Muchas personas interesadas en esta opción bio-sustentable no tienen al alcance los diferentes equipos mínimos para trabajar en un laboratorio y lo más importante es la aplicación de esta alternativa. Por ejemplo, en lugar de determinar la concentración del hongo con la cámara de Neubauer, se podría estimar el tiempo que le toma al hongo alcanzar esa concentración. Con esta modalidad muchos agricultores estarían invirtiendo menos recursos y posiblemente tendrían resultados prometedores sin el uso de químicos. Pero para todo esto, deben ser capacitados porque si no pueden usar la tecnología con eficiencia, los resultados no serán los esperados. Actualmente ya hay estudios de cepas nativas de *Trichoderma spp.* en México (López y González, 2003) y Aceves *et al.*, 2013, pero no lo han evaluado a nivel económico, solo fúngico antagónico.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El tercer método de aplicación del hongo produce mayor cantidad de frutos de primera calidad y el primer método de aplicación del hongo produce mayor cantidad de frutos de segunda calidad.

El tercer método de aplicación del hongo ayuda a que hongos fitopatógenos que afectan el follaje como *Cladosporium* sp. no afecten al cultivo, además y esto hay que verificar con los resultados actúa contra *Rhizoctonia* sp., *Fusarium* sp. y *Phytium* sp. principalmente que son hongos de suelo, no describe la literatura otros hongos. Se encontró únicamente *Rhizopus* sp. que es un hongo necrotrófico que afecta en postcosecha principalmente y rara vez en el campo a chile verde. Este hongo puede controlarse en el campo evitando que el fruto sufra daños en donde este hongo pueda desarrollarse ya que este hongo se encuentra en el suelo degradando materia orgánica.

Los tratamientos no tuvieron ningún efecto en el crecimiento de la planta porque no existe diferencia significativa entre ellos.

Por medio del análisis microbiológico identifiqué 12 géneros de hongos fitopatógenos, los cuales, *Alternaria* sp., *Colletotrichum* sp., *Curvularia* sp., *Cladosporium* sp., *Fusarium* sp., *Drechslera* sp., *Paecilomyces* sp., *Chaetomium* sp. y *Bipolaris* sp. afectan al cultivo en el campo y *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp., y *Rhizopus* sp., que afectan aprovechándose de algún daño presente en el fruto.

Recomendaría realizar análisis fúngicos de muestras de suelo tomadas junto al pie de cada pilón después de cada aplicación de *Trichoderma* sp. para identificar qué hongos fitopatógenos tienen en común y cuáles difieren entre tratamiento.

En un futuro recomiendo verificar que la iluminación en el campo sea pareja u homogénea, y que no sea muy fuerte en un lado para evitar la caída de hojas y la mancha de sol en el fruto. Si esto sucede puede controlarse probablemente colocando un sarán que disminuya la irradiación solar en esa área.

Debo mencionar que en este estudio se cultivaron 352 plantas, algunas las extrajimos antes de la etapa de cosecha porque presentaban síntomas de enfermedades fúngicas, disminuyendo la cantidad potencial de frutos. Para conocer si existen ganancias en las ventas de frutos de primera calidad en comparación con los frutos de segunda y tercera calidad utilizando la aplicación de los diferentes tratamientos, recomiendo cultivar una cantidad mayor de semillas y buscar un mercado que valore y demande frutos de producción sustentable.

Basado en los resultados anteriores menciono varias recomendaciones generales. Primeramente, realizar el diseño de muestreo más específico mucho antes de empezar con la experimentación para obtener la cantidad necesaria de muestras y hacer análisis estadísticos más robustos; mejorar las condiciones ambientales dentro del invernadero como la temperatura (que no hayan cambios drásticos para evitar caídas de flores o disminución del desarrollo de la planta); mejorar el sistema de riego controlando la cantidad necesaria según demanden las plantas; arreglar los defectos físicos del invernadero como algunos agujeros presentes en las esquinas y controlar el uso exclusivo del invernadero para el cultivo del experimento. Sugiero, además tener un encargado en el altiplano exclusivamente para un proyecto o ir con más frecuencia para detectar más temprano estas necesidades.

Recomiendo hacer más estudios con el tercer tratamiento con mayores cantidades de semillas, con mayor control de las variables y con producción de *Trichoderma asperellum* de manera artesanal.

VI. LITERATURA CITADA

- Aceves, M. *et al.* 2013. *Eficiencia biológica de cepas nativas de Trichoderma spp., en el control de Sclerotium rolfsii Sacc., en cacahuete.* Avances en Investigación Agropecuaria. 17(3): 89-107 pp.
- Acuña, O. *et al.* 2006. *La importancia de los microorganismos en la calidad y salud de suelos.* ACORBAT. 222-233 pp.
- Agrequima. 2012. *Impacto social y económico del sector agrícola guatemalteco sobre la economía nacional.*
<https://agrequima.com.gt/site/wpcontent/uploads/2017/01/160512vvff.pdf> [con acceso el 07-10-2018].
- Agueda, M. *et al.* 2013. *Bipolaris sorghicola un patógeno emergente en cultivos de sorgo del NE de Argentina.* Summa Phytopathol., Botucatu 39 (4): 295-296 pp.
- Alarcón, L y Olivas, E. 2004. *Manual de prácticas de Microbiología básica y Microbiología de alimentos.* Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. México. 106 pp.
- Álvarez, G., M. Santos y L. Centes. 2015. *Extracción y formulación artesanal de Cladosporium uredinicola biocontrolador de Puccinia horiana.* Universidad de San Carlos de Guatemala. 49 pp.
- Andrade, R. 2013. *Observación y conteo de hongos aislados del ambiente aire, suelo, agua.* Escuela Politécnica del Ejército Carrera Ingeniería Agropecuaria Santo Domingo.
<https://es.slideshare.net/tato762/observacin-y-conteo-de-esporas-de-hongos-aislados-del-ambiente-aire-suelo-agua> [consultado el 16/09/2018].
- Ayala, F. *et al.* 2015. *Producción de pimiento morrón con mallas sombra de colores.* Revista fitotecnia mexicana. 38(1): 93-99.

- Babadoost, M. 2005. *Phytophthora mancha de cucurbitáceas*. El Instructor de Sanidad Vegetal. <https://www.apsnet.org/edcenter/intropp/lessons/fungi/oomyces/pages/phytophthora.aspx> [con acceso 21/02/19].
- Bachi, P. 2018. Phytothora blight (Phytophthora capsici). <https://www.ipmimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5368388> [con acceso el 17-01-2019].
- Badii, M. y L. Abreu. 2006. *Control biológico una forma sustentable de control de plagas*. International Journal of Good Conscience 1(1):82-89.
- Balatti, P. 2018. *Moho de la hoja del tomate. Manual Técnico en tomate y pimiento*. Equipo de Servicio técnico frutales y vegetales. Miravis Top. Syngenta. 24 pp.
- Bárcena, A. et al. 2004. *Los transgénicos en América Latina y el Caribe: un debate abierto*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Chile. 397 pp.
- Barnett, H y B. Hunter. 1972. *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. 3ª Edición. Burgess Publishing Company. 239 pp.
- Barrantes, L. 2010. *Manual de recomendaciones en el cultivo de chile, pimentón o ajó (Capsicum sp.)*. Costa Rica. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). 28 pp.
- Bastakoti, et al. 2017. Trichoderma species as biocontrol agent against soil Borne Fungal Pathogens. Nepal Journal of Biotechnology. 5(1): 39-45.
- Berlanger, I. y M. Powerson, 2000. Verticillium wilt. The Plant Health Instructor. <http://www.apsnet.org/edcenter/intropp/lessons/fungi/ascomycetes/pages/verticilliumwilt.aspx> [con acceso el 17-01-2019].
- Boughalleb, N., B., Ibtissem y M. M'Hamdi. 2018. *Evaluation of the efficiency of Trichoderma, Penicillium, and Aspergillus species as biological control agents against four soil-borne fungi of melon and watermelon*. Egyptian Journal of Biological Pest Control. 28(25): 1-12.

- Bush, E. 2018. Late Blight (*Phytophthora infestans*).
<https://www.ipmimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5479866> [con acceso el 17-01-2019].
- Bustillo, Alex. 2010. *Método para cuantificar suspensiones de esporas de hongos y otros organismos*. Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma. Colombia.
- Cabalceta, E. y J. Monge, 2016. *Caracterización morfológica de 12 genotipos de chile duce (Capsicum annuum L.) cultivados en invernadero en Costa Rica*. Tecnología en Marcha 29 (3): 60-72.
- Cano, M. 2011. *Interacción de microorganismos benéficos en plantas: Micorrizas, Trichoderma spp. Y Pseudomonas spp.* Una revisión. Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica 14(2): 15-31.
- Cárdenas, Y. et al. 2014. *Actividad antagónica de cepas autóctonas de Trichoderma spp. frente a fitopatógenos de suelo*. Fitosanidad. 18(1): 45-48.
- Checha, O., M. Criollo y J. Descanse. 2016. *Antagonism of Trichoderma spp. strains against pea (Pisum sativum L.) Fusarium wilt caused by Fusarium oxysporum f. sp. Pisi*. Universidad de Nariño. 21 pp.
- Chong, W. et al. 2017. *Identification of a novel fungus, Trichoderma asperellum GDFS1009, and comprehensive evaluation of its biocontrol efficacy*. Plos One 12(6): 1-20.
- Cifuentes, R., et al. 2013. *Efecto de la sustitución parcial de fertilizante inorgánico sobre el rendimiento y la calidad del tomate del invernadero (Solanum lycopersicum L.) en Sololá*. Revista de la Universidad del Valle de Guatemala. 26: 25-34.
- Ciriaco, L. et al. 2015. *Biocontrol in vitro con Trichoderma spp. de Phytophthora capsici Leo, Fusarium Oxisporum y Rizoctonia spp. causante de la marchitez del chile*. Agrotecnología Mexicana. 2: 48-51.
- Ciriaco, L. et al. 2015. *Biocontrol in vitro con Trichoderma spp. de Phytophthora capsici Leo, Fusarium oxisporum y Rizoctonia spp. causante de la marchitez del chile*. Agrotecnología Mexicana 2: 48-51.

- Conn, K. 2006. *Pepper & Eggplant Disease Guide*. Seminis. 74 pp.
- Crop Science. 2007. *Tizón tardío*.
<https://www.cropscience.bayer.cl/soluciones/fichaproblema.asp?id=152> [con acceso 21/02/19]
- Cúndom, et al. 2001. *Evaluación de Trichoderma spp. contra Rhizoctonia solani in vitro e invernáculo*. Argentina. <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2001/5-Agrarias/A-051.pdf> [con acceso el 18-01-2019].
- Curtis, H. y Schnek, A. 2006. *Invitación a la Biología*. Editorial Médica Panamericana. 6ª Edición. Argentina. 675 pp.
- Dagmara, et al. 2009. *Evaluación de la presencia de mancha solar en frutos de tomate (Solanum lycopersicum)*. Cultivos tropicales 30(4): 53-56 pp.
- Dagmara, et al. 2011. *Caracterización de la mancha solar en frutos de tomate (Solanum lycopersicum) cosechados en Cuba*. Cultivos tropicales 32(3): 36-41 pp.
- De la Cruz, M. et al. 2015. *Diversidad de Trichoderma en el agrosistema cacao del estado de Tabasco, México*. Revista Mexicana de Biodiversidad 86: 947-961 pp.
- De Loma-Ossorio, E. R. Castillo y M. De Nevado. 2000. *Estudio de la Industria Agroalimentaria en Guatemala*.
<http://repiica.iica.int/docs/BV/AGRIN/B/E21/XL2000600220.pdf> 104 pp [con acceso 20-11-18].
- Delgado, C. J. Castaño, y B. Villegas. 2013. *Caracterización del agente causante de la roña del maracuyá (Passiflora edulis f. flavicarpa DEGENER) en Colombia*. Revista Acad. Colomb. Cienci 143(37): 215-227 pp.
- Díaz, J. et al. 2018. *Diagnosis and Integrated Management of Fruit Rot in Cucurbita argyrosperma, Caused by Sclerotium rolfsii*. The plant pathology journal 34(3): 1-11 pp.
- Díaz, R. 2008. *Caracterización de la zona productora de chile pimiento (Capsicum frutescens) de los municipios de Camotan, Ipala, Esquipulas y Chiquimula para la*

- propuesta de líneas de acción en la producción y comercialización de las asociaciones de FASAGUA*. Tesis. Universidad de San Carlos de Guatemala. 50pp.
- Domínguez, D. *et al.* 2016. *Identificación y alternativas de manejo de la cenicilla del rosal*. Revista mexicana fitopatología. 34(1): 22-42 pp.
- Elizondo, E. y J. Monge. 2016. *Caracterización morfológica de 12 genotipos de chile dulce (Capsicum annuum L.) cultivados en invernadero en Costa Rica*. Tecnología en Marcha 29(3): 60-72.
- Elizondo, E. y J. Monge. 2017. *Evaluación de rendimiento y calidad de 15 genotipos de pimiento (Capsicum annuum L.) cultivados bajo invernadero en Costa Rica*. Tecnología en Marcha. 30(4):3-4.
- Escalone, A. y R. Pire. 2008. *Crecimiento y extracción de N-P-K por plantas de pimentón (Capsicum annuum L.) abonadas con estiércol de pollo en Quíbor, estado Lara, Venezuela*. Rev. Fac. Agron 25(2): 243-260.
- FAO. 2006. *Ensayos de germinación*
<http://www.fao.org/docrep/006/AD232S/ad232s12.htm> [con acceso el 20-11-2018].
- Farr, D., *et al.* 1995. *Fungi on plants and plant products in the United States*. APS Press. 1252 pp.
- Florentino, N. *et al.*, 2018. *Trichoderma-Based Biostimulants Modulate Rhizosphere Microbial Populations and Improve N Uptake Efficiency, Yield, and Nutritional Quality of Leafy Vegetables*. Frontiers in Plant Science. 9(743):1-15.
- Flores C. 2018. *Oidiopsis del pimiento. Manual Técnico en tomate y pimiento*. Equipo de Servicio técnico frutales y vegetales. Miravis Top. Syngenta. 24 pp.
- García, *et al.* 2017. *Caracterización morfológica y molecular de cepas nativas de Trichoderma y su potencial de biocontrol sobre Phytophthora infestans*. Revista Mexicana de Fitopatología 35: 58-79.
- García, M., C. Watson y F. Salcedo. 2001. *Evaluación de métodos para determinar resistencia al acame de raíces en maíz dulce (Zea mays L.)* Bioagro 13(1):22-31.

- Gato, Y., et al. 2014. *Actividad antagónica de cepas autóctonas de Trichoderma spp. frente a fitopatógenos de suelo*. Fitosanidad 18(1): 45-48.
- Glawe, D. et al. 2005. *First record and characterization of a powdery mildew on a member of the Juncaginaceae: Leveillula taurica on Triglochin maritime*. Mycological Progress 4(4): 291–298 pp,
- Gómez, L. 2001. *Verticillium*. NS State University. dahlie. <https://projects.ncsu.edu/cals/course/pp728/Verticillium/Vertifin.htm> [con acceso 21/02/19].
- González, M. et al. 2005. *Efectividad de Trichoderma spp. para el control de hongos patógenos de la semilla y el suelo en el cultivo del frijol*. Fitosanidad. 9(1): 37-41.
- Hernández, A., A. Sierra y A. Carr. 2006. *Evaluación in vitro del antagonismo de especies de Trichoderma sobre hongos fitopatógenos que afectan las vitroplantas de piña (Ananas comosus (L.) Merr.)*. Fitosanidad 10(2):105-108.
- Hernández, F. 2019. *Toxicidad de los agroquímicos y prevenir la resistencia a los plaguicidas*. http://www.agro-tecnologia_tropical.com/toxicidad_agroquimicos.html [con acceso 20/02/19].
- Hernandez, K. 2016. *Evaluación de tres tipos de sombra para evitar la quemadura del fruto en el cultivo hidropónico de chile pimienta (capsicum annum l.) híbrido fascinato, diagnóstico y servicios prestados en empresa semillas del campo, s.a., Finca el Valle, Nueva Santa Rosa, Santa Rosa, Guatemala, C.A*. Tesis Universidad de San Carlos de Guatemala. 129 pp. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/6019/1/Karla%20Marisol%20Hern%C3%A1ndez%20Pocasangre.pdf> [con acceso el 17/01/18].
- HortoInfo. 2014. *El mundo produce 31.167 millones de kilos de pimienta*. <https://www.hortoinfo.es/index.php/noticias/3888-prod-pimiento-almeria-110814> [con acceso 19/02/19].

- Hoseinkhaniha, S., *et al.* 2012. *Powdery mildew of tomato in Qazvin province of Iran: host range, morphological and molecular characterization*. *Crop Prot.* 1 (2): 143-152 pp.
- Ibáñez, J. 2011. *Riesgos de los Nanomateriales para el medio ambiente: biomagnificación en la cadena trófica (el suelo como reservorio)*. <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2011/04/07/137772> [con acceso el 19/02/19].
- Ibarra, J. *et al.* 2006. *Los microorganismos en el control biológico de insectos y fitopatógenos*. *Revista Latinoamericana Microbiología.* 48(2): 113-120 pp.
- Infante, D. *et al.* 2009. *Mecanismos de Acción de Trichoderma frente a hongos fitopatógenos*. *Revista Protección Vegetal.* 24 (1): 14-21.
- Instituto Nacional de Ciencias Forenses de Guatemala (Inacif). 2018. *Intoxicación por Plaguicidas; Un Riesgo Latente*. <https://www.inacif.gob.gt/index.php/therapies/k2-blog/item/24-intoxicacion-por-plaguicidas-un-riesgo-latente> [con acceso 19-05-2019].
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología – INSIVUMEH-. 2018. http://www.insivumeh.gob.gt/?page_id=1004 [con acceso el 20/11/18]
- Jaimes, Y. *et al.* 2009. *Inducción de resistencia sistémica contra Fusarium oxysporum en tomate por Trichoderma koningiopsis Th003*. *Acta Biológica Colombiana* 14(3): 111-120 pp.
- Jones, C., *et al.* 2006. *Pepper Eggplant Disease Guide*. Seminis. 59 pp.
- Junta de Andalucía. 2013. *Normativa Verduras y Hortalizas*. España http://www.juntadeandalucia.es/defensacompetencia/sites/all/themes/competencia/files/fichas/pdf/10_Pimiento.pdf [con acceso el 18-10-2018]
- Kareem, T. 2018. *Morphology and molecular identification of Rhizoctonia solani*. Lambert Academic Publishing. 102 pp.
- López, A. 2003. *Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas del campo al mercado*. Argentina. Boletín de servicios agrícolas de la FAO. 171 pp.

- López, C. y P. González. 2003. *Selección d Cepas Nativas de Trichoderma spp. con actividad antagónica sobre Phytophthora capsici Leonian y promotoras de crecimiento en el cultivo de Chile (Capsicum annuum L.)*. Revista Mexicana de Fitopatología 22(1):117-124 pp.
- López, R. 2011. *Detección y cuantificación de Trichoderma harzianum, y evaluación de su actividad biocontrol frente a la fusariosis vascular del melón mediante la aplicación de herramientas moleculares*. Tesis doctoral. Departamento de Ciencias de Mar y Biología Aplicada, Universidad de Alicante. 162 pp.
- López, S. y A. Gil. 2017. *Efecto del acondicionamiento osmótico en la germinación de semillas de Caesalpinia spinosa (Feuillée ex Molina) Kuntze (Fabaceae) "taya"*. Arnaldoa 24(1): 333-342 pp.
- López, J., et al. 2016. *Estudio de la rentabilidad del cultivo de pimiento (Capsicum annuum) en invernadero con el uso de sombreo*. ITEA. 112(1): 57-71 pp.
- Luro, Pedro. 1982. *Cultivo de pimiento, análisis de costos y evaluación económica de una hectárea*. Argentina. 52 pp.
- Marienfield Laboratory Glassware. 2007. *Información Cámara de Recuento*. http://www.laboquimia.es/pdf_catalogo/MARIENFELD_Catalogo_general.pdf [consultado el 15/09/2018].
- Martínez, B., D. Infante y Y. Reyes. 2013. *Trichoderma spp. y su función en el control de plagas en los cultivos*. Revista Protección Vegetal. 28(1): 1-11.
- McKenzie, E. 2013. *Cercospora capsici*. <http://www.padil.gov.au/maf-border/pest/main/143002/50971> [con acceso el 17-01-2019].
- Mendoza, R. 2006. *Sistemática e historia del ají Capsicum*. Tourn. Universalia 11(2): 80-88.
- Michel, A. et al. 2004. *Producción y actividad antibiótica del 6 pentil-a-pirona de Trichoderma spp, sobre especies de Fusarium*. Revista Mexicana de Fitopatología. 22(1): 14-21.

- Miclea, R., Suciú, A y PUIA, C. 2012. *In Vitro Studies Regarding the Morphology of Botrytis cinerea Pers. Isolated from Geranium Plants*. ProEnvironment 5: 60-66 pp.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural –MADR-. 2000. *Manual de Exportador de Frutas, Hortalizas y Tubérculos en Colombia*.
<http://interletras.com/manualCCI/Hortalizas/Pimenton/Calidad01.htm#top> [con acceso el 18-10-2018].
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación- MAGA- 2014. *Épocas de siembra y cosecha en Guatemala* <http://web.maga.gob.gt/download/epoca-cultivo-nov14.pdf> [con acceso el 30-09-2018].
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación-MAGA-. 2016. *Chile pimiento (Capsicum annuum var. Grossum)*.
- Monge, J. 2015. *Efecto de la poda y la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del pimiento cuadrado (Capsicum annuum L.) cultivado bajo invernadero en Costa Rica*. Tecnología en Marcha. 29(2): 125-136.
- Moreno, E. et al. 2011. *Fenología y rendimiento de híbridos de pimiento morrón (Capsicum annuum L.) cultivados en hidroponía*. Revista Chapingo Serie Horticultura 17(2): 5-18.
- Mullen, J. 2001. *Tizón del Sur. Tizón del tallo del sur, Moho blanco*. El Instructor de Sanidad Vegetal. <https://www.apsnet.org/edcenter/intropp/lessons/fungi/Basidiomycetes/Pages/SouthernBlight.aspx> [con acceso 21/02/19].
- Namesny, A. et al. 2006. *Compendios de Horticultura*. Ediciones de Horticultura. 254 pp.
- Navarro, D. 2010. *Manejo Integrado de Plagas*. University of Kentucky. <http://www2.ca.uky.edu/agcomm/pubs/id/id181/id181.pdf> [con acceso el 14-01-2019].
- Neher, O. 2018. *Rhizoctonia damping-off, blight and rot (Rhizoctonia solani)*. <https://www.ipmimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5449450> [con acceso el 17-01-2019].

- Nicholls, C. 2008. *Control biológico de insectos: un enfoque agroecológico*. Colección Ciencia y tecnología. Universidad de Antioquia. Colombia. 282pp.
- Obregón, V. 2016. *Guía para la Identificación de las Enfermedades del Pimiento en Invernadero*. 1ª Edición .INTA Ediciones. 44 pp.
- Orellana, F. et al. 2002. *Guía técnica Cultivo de chile dulce*. 50 pp.
- Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA). 2015. *El psílido de la papa y tomate *Bactericera (=Paratrioza) cockerelli (Sulc) (Hemiptera: Triozidae)*: ciclo biológico; la relación con las enfermedades de las plantas y la estrategia del manejo integrado de plagas en la región del OIRSA*. Coporativo Editorial Tauro. México. 58 pp.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). 2017. *Informe de la Relatora Especial sobre el derecho a la alimentación*. 27 pp.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación -FAO-. 2003. *Manual para la Preparación y Venta de Frutas y Hortalizas del Campo al mercado*. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO.
<http://www.fao.org/docrep/006/Y4893S/y4893s00.htm#Contents> [con acceso el 01-10-2018].
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2019. *Inocuidad Alimentaria*. <http://www.fao.org/food-safety/es/> [con acceso 19-05-2019].
- Pérez, A, et al. 2018. *Fenología, biomasa y análisis de crecimiento de cultivares de sorgo forrajero en valles altos*. *Agronomía Costarricense* 42(2):107-117.
- Pérez, et al. 2003. *Caracterización morfológica y patogénica de *Colletotrichum sp.* como agente causal de la antracnosis en ñame *Dioscorea sp.** *Revista Colombiana de Biotecnología*. 5(1): 24-35.
- Pérez, F. y J. Pita. 2016. *Viabilidad, vigor, longevidad y conservación de semillas*. Universidad Politécnica de Madrid. 16 pp.

- Pérez, M. *et al.* 2016. *Parámetros de calidad de post cosecha en pimiento paprika y chile guajillo (Capsicum annuum L.)* Valle Santa. Perú. 46 pp.
- Pérez, V. *et al.* 2015. *Trichoderma: hongo promotor del crecimiento de plantas de maíz.* *Agrotecnología Mexicana.* 2:107-109.
- Pineda, J. 2001. *Evaluación de métodos de aplicación de Trichoderma harzianum al suelo para el control de Macrophomina phaseolina en ajonjolí.* *Rev Fitopatología* 14(2): 31-34.
- Pino, M. *et al.* 2018. *Pimientos para la industria de alimentos e ingredientes.* Instituto de investigaciones agropecuarias. Chile. Boletín 360. 110 p.
- Polyproductos de Guatemala. 2019. *Sarán.* <http://www.polyproductos.com/index.php/telas-agricolas/22-productos/telas-agricolas/49-saran> [con acceso 19-05-2019].
- Porres, V., R. Cifuentes y E. De León. 2014. *Evaluación de tres tipos de cubierta para macrotúneles sobre el microclima y la productividad de chile pimiento (Capsicum annuum) en Escuintla y Sololá.* *Revista 27 de la Universidad del Valle de Guatemala.* 82-92.
- Presidencia de Gobierno de Aragón. 1984. ***Reglamento de aplicación de las normas de calidad para frutas y hortalizas frescas comercializadas en el mercado interior.*** España
https://www.aragon.es/estaticos/GobiernoAragon/Departamentos/SaludConsumo/Documentos/docs/Profesionales/13_07_30_02_Normativa/produccion_comercializacion_calidad/Normativa%20nacional/NORMA+DE+CALIDAD+PARA+PIMIENTOS+FRESCOS+DESTINADOS+AL+ME.PDF [con acceso el 18-10-2018]
- Raven, P. *et al.* 1992. *Biología de las plantas.* Editorial Reverte. España. 773 pp.
- Rivas, L. y M. Muhlhauser. 2014. *Alternaria. Spp.* *Rev Chilena Infectol* 31 (5): 605-606.
- Robinson, J. 2010. *Producción de pimientos bajo malla sobra. Hortalizas.* <https://www.hortalizas.com/horticultura-prottegida/produccion-de-pimientos-bajo-malla-sombra/> [con acceso el 18-01-2019].

- Rodríguez, L. y H., Arredondo. 2007. *Teoría y aplicación del control biológico*. Sociedad Mexicana de Control Biológico. México. 303 pp.
- Rodríguez, M. 2001. *Biodiversidad de los hongos fitopatógenos del suelo de México*. Acta Zoológica Mexicana 1: 53-78 pp.
- Rojas, L. 2014. *Respuesta del cultivo de pimentón (Capsicum annuum) a la inoculación con Glomus manihotis y Acaulospora lacunosa en el suelo con niveles altos de fósforo*. Respuestas. 14(1): 27-30.
- Roldán, N. 2017. *Bioacumulación y biomagnificación de elementos potencialmente tóxicos en el pulpo Octopus hubbsorum del puerto minero de Santa Rosalía, Golfo de California*. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. California. 36 pp.
- Romero-Arenas, O. et al. 2009. *Características de Trichoderma harzianum, como agente limitante en el cultivo de hongos comestibles*. Revista Colombiana de Biotecnología. 11(2): 143-151.
- Rubio, T. 2009. *Recuento celular*. España. <https://www.preparadores.eu/formacion-profesional/Procedimientos-de-Diagnostico/Procedimientos-de-Diagnostico-Tema.pdf> [consultado el 16/09/2018].
- Sabariego, S., C. Díaz y F. Alba. 2004. *Estudio aerobiológico de los conidios de Alternaria y Cladosporium en la atmósfera de la ciudad de Almería (SE de España)*. Revista Iberoamericana Micológica. 21:121-127 pp.
- Sánchez, K. y M. Almaguer. 2018. *Efecto de la temperatura sobre aislados de Cladosporium cladosporioides recolectados del aire de La Habana, Cuba*. Nova Acta Científica Compostelana (Biología). 25: 21-29 pp.
- Sánchez, L. et al. 2018. *Diversidad del género Trichoderma (Hypocraceae) en un Área Natural Protegida en Tabasco, México*. Acta Botánica Mexicana. 123: 167-182.
- Santana, T. y L. Castellanos. 2018. *Efecto bioestimulante de Trichoderma harzianum Rifai en posturas de Leucaena, Cedro y Samán*. Colombia Forestal 21(1): 81-90.

- Sayyed, K. *et al.* 2017. *Bioefficacy of Native Trichoderma spp. Against Pathogenic Fusarium Sp Causing Wilt Diseases.* Journal of Pure and Applied Microbiology 11(1): 401-405.
- Sayyed, K., *et al.* 2017. *Bioefficacy of Native Trichoderma spp against Pathogenic Fusarium sp. Causing Wilt Diseases.* Journal of Pure and Applied Microbiology. 11(1): 401-405.
- Sosof, J. 2008. *Estudio de pre-factibilidad para el establecimiento de una empresa de producción de chile pimienta (Capsicum annum L.), bajo condiciones de invernadero, en el municipio de San Antonio Suchitepéquez, del departamento de Suchitepéquez.* Tesis Universidad de San Carlos de Guatemala. 157pp. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03_3796.pdf.
- Staller, M. 2012. *Caracterización morfológica, agronómica y de calidad del pimienta y pimentón de la variedad tap de cortí.* Tesis. Universitat de les Illes Balears. 127 pp.
- Studholme, D. *et al.* 2013. *Investigating the beneficial traits of Trichoderma hamatum GD12 for sustainable agriculture insights from genomics.* Frontiers in Plant Science 4(258): 1-13.
- Suryanto, D. *et al.* 2017. *An Assay on Potential of Local Trichoderma spp. To control white root Rot Disease Caused by Rigidoporus microporus in Rubber Plant Stump.* Journal of pure and applied microbiology. 11(2):717-723.
- Top Seeds Inc. 2017. <https://www.ahernseeds.com/products/top-141-2/?lang=es> [con acceso el 02-10-2018].
- Torres, E., J. Iannacone y H. Gomez. 2008. *Biocontrol del moho foliar del tomate Cladosporium fulvum empleando cuatro hongos antagonistas.* Bragantia, Campinas 1(67): 169-178.
- Vásquez y Casaño. 2017. *Manejo integrado de la marchitez vascular del tomate [Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici (Sacc.) W.C Snyder & H.N Hansen]: una revisión.* Rev.U.D.C.A Act & Div. Cient.20(2):363-374.

- Vásquez, L. y Castaño, J. 2017. *Manejo integrado de la marchitez vascular del tomate (Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici (SACC.) W. C. Snyder & Hansen): Una revisión*. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica. 20(2): 363-374.
- Velázquez, M. et al. 2008. *Control strategies of Rhizopus stolonifer Ehrenb. (Ex Fr.) Lind, causal agent of posharvest rots in agricultural products*. Rev. mex. Fitopatol 26(1): 49-55.
- Veliz, Y. y R. León. 2017. *Fractal Model for Morphological Representation of Capsicum annuum L. in 3D*. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 26(2): 71-79.
- Wu, Q. et al. 2017. *Identification of a novel fungus, Trichoderma asperellum GDFS1009, and comprehensive evaluation of its biocontrol efficacy*. PlosOne 12(6): 1-20.
- Zamora, J. et al. 2009. *Sanidad Vegetal*. http://ocwus.us.es/produccion-vegetal/sanidad-vegetal/tema_23/page_08.htm [con acceso 19-05-2019].
- Zapata, Y. et al. 2018. *Control biológico de patógenos en poscosecha*. <https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/34060/CB%20CAPITULO%203%20%20WEB.pdf?sequence=5&isAllowed=yfile:///C:/Users/katty/Downloads/5AlterativasparaelcontroldehongospostcosechaennaranjasValencia.pdf> [con acceso 05-02-2020].

VII. APÉNDICE

CUADRO 11. Proyección 1 del presupuesto general de costos y producción del cultivo de chile pimiento tratados con *Trichoderma* sp. basados en la calidad de los frutos.

Descripción del ítem	Unidad	Precio por unidad	Cantidad	Monto total	Sub total	Total
GASTOS						Q3,721.46
Honorarios					Q2,000.00	
Jornalero 1 (40 días*Q50.00 al día)		Q50.00	40	Q2,000.00		
Material de campo					Q793.26	
Mulch rollo 1000 mts * 0.75m	rollo	Q450.00	0.08	Q36.00		
Fertilizante soluble triple 20	kilo	Q30.00	9	Q270.00		
Lombricompost/quintal	quintal	Q52.00	1	Q52.00		
Insecticida Nematicida Mocap	kilo	Q34.00	2	Q68.00		
Insecticida Act botánico	litro	Q75.00	0.5	Q37.50		
Fertilizante Foliar Poliquel multi	litro	Q52.00	0.2	Q10.40		
Fertilizante Foliar Poliquel calcio	litro	Q70.00	0.2	Q14.00		
Fertilizante Foliar K-fol	500g	Q75.00	1	Q75.00		
Regulador de Ph INDICATE		Q80.00	0.192	Q15.36		
Insecticida Teraboveria	litro	Q250.00	0.5	Q125.00		
Pita para tutorear	rollo	Q90.00	1	Q90.00		
Semillas					Q928.20	
Top Seed 141		Q2.60	357	Q928.20		
Análisis fúngico					Q0.00	
Laboratorio Protección Vegetal -UVG	muestra	Q175.00	0	Q0.00		

INGRESOS						Q6,597.00
Frutos de primera calidad						
Unidades de venta con precio más reales		Q4.00	416	Q1,664.00		Q1,664.00
Frutos de segunda calidad						
Unidades de venta con precio más reales		Q3.00	55	Q165.00		Q165.00
Frutos de tercera calidad						
Unidades de venta con precio más reales		Q2.00	2384	Q4,768.00		Q4,768.00
GASTOS-INGRESOS						Q2,875.54

CUADRO 12. Proyección 2 del presupuesto general de costos y producción del cultivo de chile pimiento tratados con *Trichoderma* sp. basados en la calidad de los frutos.

Descripción del ítem	Unidad	Precio por unidad	Cantidad	Monto total	Sub total	Total
GASTOS						Q7,442.92
Honorarios						
Jornalero 1 y 2 (40 días*Q50.00 al día)		Q50.00	80	Q4,000.00		Q4,000.00
Material de campo						
Mulch rollo 1000 mts * 0.75m	rollo	Q450.00	0.16	Q72.00		Q1,586.52
Fertilizante soluble triple 20	kilo	Q30.00	18	Q540.00		
Lombricompost/quintal	quintal	Q52.00	2	Q104.00		
Insecticida Nematicida Mocap	kilo	Q34.00	4	Q136.00		
Insecticida Act botánico	litro	Q75.00	1	Q75.00		
Fertilizante Foliar Poliquel multi	litro	Q52.00	0.4	Q20.80		
Fertilizante Foliar Poliquel calcio	litro	Q70.00	0.4	Q28.00		

Fertilizante Foliar K-fol	500g	Q75.00	2	Q150.00		
Regulador de Ph INDICATE		Q80.00	0.384	Q30.72		
Insecticida Teraboveria	litro	Q250.00	1	Q250.00		
Pita para tutorear	rollo	Q90.00	2	Q180.00		
Semillas					Q1,856.40	
Top Seed 141		Q2.60	714	Q1,856.40		
80nálisis fúngico					Q0.00	
Laboratorio Protección Vegetal -UVG	muestra	Q175.00	0	Q0.00		
INGRESOS						Q13,194.00
Frutos de primera calidad					Q3,328.00	
Unidades de venta con precio más reales		Q4.00	832	Q3,328.00		
Frutos de segunda calidad					Q330.00	
Unidades de venta con precio más reales		Q3.00	110	Q330.00		
Frutos de tercera calidad					Q9,536.00	
Unidades de venta con precio más reales		Q2.00	4768	Q9,536.00		
GASTOS-INGRESOS						Q5,751.08

CUADRO 13. Proyección 3 del presupuesto general de costos y producción del cultivo de chile pimiento tratados con *Trichoderma* sp. basados en la calidad de los frutos.

Descripción del ítem	Unidad	Precio por unidad	Cantidad	Monto total	Sub total	Total
GASTOS						Q11,449.38
Honorarios					Q6,000.00	
Jornalero 1, 2, 3 (40 días*Q50.00 al día)		Q50.00	120	Q6,000.00		
Material de campo					Q2,664.78	

Mulch rollo 1000 mts * 0.75m	rollo	Q450.00	0.24	Q108.00		
Fertilizante soluble triple 20	kilo	Q30.00	27	Q810.00		
Lombricompost/quintal	quintal	Q52.00	3	Q156.00		
Insecticida Nematicida Mocap	kilo	Q34.00	6	Q204.00		
Insecticida Act botánico	litro	Q75.00	1.5	Q112.50		
Fertilizante Foliar Poliquel multi	litro	Q52.00	0.6	Q31.20		
Fertilizante Foliar Poliquel calcio	litro	Q70.00	0.6	Q42.00		
Fertilizante Foliar K-fol	500g	Q75.00	3	Q225.00		
Regulador de Ph INDICATE		Q80.00	0.576	Q46.08		
Insecticida Teraboveria	litro	Q250.00	3	Q750.00		
Pita para tutorear	rollo	Q90.00	2	Q180.00		
Semillas					Q2,784.60	
Top Seed 141		Q2.60	1071	Q2,784.60		
Análisis fúngico					Q0.00	
Laboratorio Protección Vegetal -UVG	muestra	Q175.00	0	Q0.00		
INGRESOS						Q19,791.00
Frutos de primera calidad					Q4,992.00	
Unidades de venta con precio más reales		Q4.00	1248	Q4,992.00		
Frutos de segunda calidad					Q495.00	
Unidades de venta con precio más reales		Q3.00	165	Q495.00		
Frutos de tercera calidad					Q14,304.00	
Unidades de venta con precio más reales		Q2.00	7152	Q14,304.00		
GASTOS-INGRESOS						Q8,341.62

CUADRO 14. Machote para toma de datos (crecimiento) de los tratamientos en el primer y segundo muestreo del chile pimienta.

	Código LPV	% germinación	% de vigor	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Distancia mienta entre nudos (cm)	Peso de la raíz (g)		Peso seco de la raíz (g)	Peso de la planta (g)		Peso seco de la planta completa (g)	Peso de partes extraídas	Volumen de raíces secundarias (cm ³)		Número de frutos	Observaciones	Muestra por muerte
														altura	ancho			
T1	T1R1-1																	
	T1R1-2																	
	T1R1-3																	
T2	T2R1-1																	
	T2R1-2																	
	T2R1-3																	
T3	T3R1-1																	
	T3R1-2																	
	T3R1-3																	
C	C1R1-1																	
	C1R1-2																	
	C1R1-3																	

CUADRO 15. Machote para toma de datos sobre calidad de frutos según características cuantitativas (longitud y ancho) entre los distintos tratamientos.

Muestra	Longitud del fruto (cm)	Ancho del fruto (cm)	Observaciones	Categoría
T1R1				
T1R2				
T1R3				
T1R4				
T2R1				
T2R2				
T2R3				
T2R4				
T3R1				
T3R2				
T3R3				
T3R4				
C1R1				
C1R2				
C1R3				
C1R4				

VIII. GLOSARIO

Bioacumulación: Se refiere a la cantidad total de un contaminante presente en los organismos por medio de absorción y retención a través de diferentes medios (agua, aire y sólidos) (Roldán, 2017).

Biomagnificación: Incremento de la concentración de un contaminante a lo largo del nivel trófico en donde los depredadores tienen mayores concentraciones debido a la presencia de dichos contaminantes adheridos en los tejidos de sus presas (Roldán, 2017).

Cenicilla: Causada por diferentes especies de hongos (por ejemplo, *Podosphaera pannosa*). Es una de las enfermedades más destructivas. Puede infectar las partes aéreas de las plantas y bajo condiciones favorables provoca la distorsión de hojas y defoliación prematura (Domínguez *et al.*, 2016).

Conidio: Esporas asexuales no móviles (Zamora *et al.*, 2007).

Conidióforo: Células terminales o laterales de hifas especializadas (Zamora *et al.*, 2007).

Germinación: La germinación es un parámetro que evidencia la viabilidad de las semillas. La FAO (2006) define germinación al surgimiento de estructuras esenciales, Sanhueza y Zalba (2014) y Pérez y Pita (2016) se basan en la emergencia de la radícula (de 2 mm). La germinación se define como los eventos que empiezan con la captación de agua por la semilla y finaliza con la elongación de los ejes embrionarios (radícula y plúmula) (López y Gil, 2017).

Inocuidad alimentaria: Ausencia, o niveles seguros aceptables, de peligro en los alimentos que pueden dañar la salud de los consumidores (FAO, 2019).

Micelio: Hifa o masa de hifas que constituyen el soma de un hongo (Zamora *et al.*, 2007).

Nudo: Está entre dos entrenudos, tiene al menos una hoja y un brote. El crecimiento de entrenudos y nudos es generado por el brote apical del nodo anterior (Veliz y León, 2017).

Paratrioza: Psílido causante de plagas de cultivos de solanáceas (OIRSA, 2015).

Sarán: Malla sombra color negra que es utilizado para proteger cultivos. Evita el golpe directo de los rayos solares y mitiga los niveles de temperatura en el invernadero (Polyproductos de Guatemala, 2019).

Vigor: Es el potencial o capacidad de desarrollo, tallo grueso y mayor área foliar.