



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

**INSTITUTO DE CIENCIAS
CENTRO DE AGROECOLOGÍA**

MAESTRÍA EN MANEJO SOSTENIBLE DE AGROECOSISTEMAS

**BIOPREPARADOS DE CEPAS NATIVAS DE *Trichoderma* spp.,
PARA EL CONTROL BIOLÓGICO EN EL CULTIVO DE JITOMATE**

TESIS PRESENTADA

Que para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN MANEJO SOSTENIBLE DE
AGROECOSISTEMAS**

Presenta

Ing. JOSÉ LUIS AMARO LEAL

Director de Tesis

Dr. OMAR ROMERO ARENAS

Puebla, Pue.

Diciembre 2016



La presente tesis, titulada: **“BIOPREPARADOS DE CEPAS NATIVAS DE *Trichoderma* spp., PARA EL CONTROL BIOLÓGICO EN EL CULTIVO DE JITOMATE”** realizada por el alumno Ingeniero **JOSÉ LUIS AMARO LEAL**, bajo la dirección del Comité Tutorial indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN
MANEJO SOSTENIBLE DE AGROECOSISTEMAS

COMITÉ TUTORAL:

DIRECTOR:

Dr. OMAR ROMERO ARENAS

ASESOR:

Dr. MANUEL HUERTA LARA

ASESOR:

Dr. JOSÉ ANTONIO RIVERA TAPIA

ASESOR:

Dr. JOSÉ CINCO PATRÓN IBARRA

REVISOR EXTERNO:

Dr. MIGUEL ÁNGEL DAMIÁN HUATO

Puebla, Pue., 08 de Diciembre de 2016.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación fue realizado dentro del marco de apoyo económico brindado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), durante el periodo que comprende de Agosto de 2014 a julio de 2016.

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), por haberme brindado la oportunidad de realizar mis estudios de Maestría en el programa de Manejo Sostenible de Agroecosistemas (MASAGRO), perteneciente al Instituto de Ciencias (ICUAP) y al Centro de Agroecología (CENAGRO).

Igualmente a la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado (VIEP-BUAP) por el apoyo recibido para realizar mi estancia de investigación en la Universidad de Vigo España, así mismo por la facilidad y la gestión para la participación en el V Congreso Latinoamericano de Agroecología celebrado en la Plata Argentina.

A mí consejero y director de tesis: Dr. Omar Romero Arenas por contribuir indiscutiblemente a mi formación profesional.

A los integrantes del consejo particular de esta investigación: Dr. Manuel Huerta Lara, Dr. José Antonio Rivera Tapia y Dr. José Cinco Patrón Ibarra, por su valiosa contribución en cuanto a conocimiento, consejo, tiempo y apoyo brindado para mejorar y concluir este trabajo de investigación, además extender un agradecimiento al Dr. Miguel Ángel Damián Huato quien fungió como revisor externo de esta investigación, además por su amistad y consejos vertidos en la presente tesis.

A toda la planta docente por compartirme su conocimiento; permitiendo con ello mi desarrollo académico y a los administrativos que facilitaron mi estancia en este posgrado.

“Esta investigación fue realizada gracias al apoyo del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Puebla”, número de expediente 5M, dentro del área de Tecnologías y Ciencias Agropecuarias en la convocatoria 2016.

DEDICATORIA

En primer lugar dedico a Dios este trabajo concluido; ya que sin su bendición esto no hubiese sido posible, agradezco me permitiera y siga permitiendo despertar día con día gozando de salud y con ganas de aprender algo nuevo en compañía de mi familia y seres queridos, de la misma forma agradezco la fortaleza brindada para sobreponerme de mis errores y problemas, siempre encausando por encontrar aquel camino hacia la felicidad.

A mis padres Luis Amaro Hernández y Obdulia Leal Zamora les dedico el presente logro por la vida concedida, el amor y todo el apoyo otorgado a lo largo de mi existencia que en este momento, sumo un logro más al concluir este presente trabajo.

A mis hermanos Fenevick, Yesenia, Josué, Abril, Diego y Felipe quienes gracias a su apoyo y cariño me vi fortalecido para afrontar problemas y cumplir metas.

A familiares y amigos quienes siempre me han brindado su apoyo en mis decisiones.

Al Dr. Omar Romero Arenas a quién más allá de cumplir con su papel de director del presente trabajo, me ha brindado su amistad, consejo y apoyo traspasando del ámbito laboral y académico a fungir como un verdadero amigo ¡Gracias!

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
AGRADECIMIENTOS.....	I
DEDICATORIA.....	III
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ÍNDICE TABLAS	VII
ÍNDICE FIGURAS	VIII
RESUMEN GENERAL	IX
GENERAL ABSTRACT	X
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	3
I. MARCO DE REFERENCIA.....	3
1.1 Jitomate (<i>Lycopersycon esculatum</i> Mill)	3
1.2 Origen del Jitomate	3
1.3 Clasificación Taxonómica de Jitomate	4
1.4 Diversidad Ecológica y Geográfica	5
1.5 Características Botánicas	5
1.6 Requerimientos Agroclimáticos	7
1.7 Etapas Fenológicas	7
1.8 Producción e Importancia del Cultivo	8
1.9 Usos del Jitomate	8
1.9.1 Problemas Fitosanitarios del Jitomate	9
1.9.2 Tizón Temprano.....	9
1.9.3 Tizón Tardío	10
1.9.4 Enfermedades Causadas por <i>Damping Off</i> ó secadera	11
CAPÍTULO II.....	12
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	12
2.1 Manejo Fitosanitario de las Enfermedades en Jitomate	12
2.2 Fundamentos del Control Biológico	12
2.3 Antecedentes del Control Biológico	13
2.4 Control Biológico en México	14
2.5 Productos Biológicos para el Control de Hongos Fitopatógenos	14
2.6 <i>Trichoderma</i> spp., para el Control de Enfermedades Fungosas	15
2.7 Biología de <i>Trichoderma</i> spp	15
2.8 Clasificación Taxonómica de <i>Trichoderma</i> spp	16
2.9 Generalidades de <i>Trichoderma</i> spp	17
2.9.1 Mecanismos de Acción.....	18
2.9.2 Antibiosis.....	18
2.9.3 Micoparasitismo	18
2.9.4 Mercado, Generalidades y Propuesta Innovadora de Biofungicida.....	19

CAPÍTULO III	21
III. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	21
3.1 Hipótesis	21
3.2 Objetivos	22
3.2.1 Objetivo general	22
3.2.2 Objetivos Particulares	22
CAPÍTULO IV	23
IV. METODOLOGÍA	23
4.1 Área de Estudio	23
4.2 Tecnológica	24
4.3 Económica	24
CAPÍTULO V	26
V. RESULTADOS	26
5.1 Resumen	26
5.2 Abstract	26
5.3 Introducción	27
5.4 Materiales y Métodos	29
5.4.1 Cepa	29
5.4.2 Tasa de Desarrollo y Velocidad de Crecimiento	29
5.4.3 Preparación Masiva de la cepa TH-CA1 de <i>T. harzianum</i> Rifai	29
5.4.4 Preparación de Biopreparados a base de <i>T. harzianum</i>	30
5.4.5 Preparación de Suspensiones y Viabilidad de Conidios	30
5.5 Resultados y Discusión	31
5.5.1 Tasa de Desarrollo y Velocidad de Crecimiento	31
5.5.2 Viabilidad y Germinación de Conidios de <i>T. harzianum</i> en biopreparados	32
5.6 Conclusiones	36
5.7 Agradecimientos	36
5.8 Literatura citada	37
CAPÍTULO VI	41
6.1 Resumen	41
6.2 Abstract	42
6.3 Introducción	42
6.4 Materiales y Métodos	45
6.4.1 Área de Estudio	45
6.4.2 Cepas	45
6.4.3 Preparación de Bio-fungicida a base de las cepas <i>T. harzianum</i> , <i>atroviridae</i> y <i>viridae</i>	45
6.4.4 Preparación y Cuantificación del Inóculo de <i>Phytophthora capsici</i> en Invernadero	46
6.4.5 Variables Evaluadas	47

6.4.6 Diseño Experimental y Diseño de Tratamientos	48
6.5 Resultados y Discusión	48
6.6 Conclusiones	53
6.7 Literatura citada	54
CAPÍTULO VII.....	59
7.1 Resumen	59
7.2 Abstract	59
7.3 Introducción	60
7.4 Materiales y Métodos	63
7.4.1 Indicadores de Evaluación de Rentabilidad Económica	63
7.5 Resultados	67
7.5.1 Cálculos indicativos:	72
7.6 Discusión	72
7.7 Conclusiones	74
7.8 Literatura citada	75
CAPÍTULO VIII	79
CONCLUSIONES GENERALES	79
CAPÍTULO IX.....	81
LITERATURA GENERAL.....	81

ÍNDICE TABLAS

Contenido	Página
Tabla 1. Descripción taxonómica de jitomate (<i>L. esculentum</i>).	4
Tabla 2. Descripción taxonómica de <i>Trichoderma</i> spp	16
Tabla 3. Formulación de biopreparados a base de conidios de <i>T. harzianum</i>	30
Tabla 4. Características macroscópicas de la cepa de <i>T. harzianum</i> en medio PDA.	31
Tabla 5. Características microscópicas de la cepa de <i>T. harzianum</i> en medio PDA.	34
Tabla 6. Formulación de biopreparados a base de <i>T. harzianum</i> , <i>T. atroviridae</i> y <i>T. viridae</i>	46
Tabla 7. Escala de severidad del ataque de <i>P. capsici</i> en el cultivo de jitomate.	47
Tabla 8. Porcentaje de Incidencia y severidad causada por <i>P. capsici</i> a los 15 días, después del trasplante en plantas de jitomate (<i>L. esculentum</i> Mill) bajo diferentes tratamientos, en condiciones de invernadero, en la comunidad de San Bernardino Tepenene en el Municipio de San Juan Tzicatlacoyan perteneciente al Estado de Puebla, 2015.....	49
Tabla 9. Comparación de medias de altura, diámetro de tallo y biomasa seca de plantas de jitomate (<i>L. esculentum</i> Mill) bajo diferentes tratamientos, en condiciones de invernadero, en la comunidad de San Bernardino Tepenene, Municipio de San Juan Tzicatlacoyan perteneciente al Estado de Puebla, 2015.	51
Tabla 10. Comparación de medias de rendimiento en kilogramos de plantas de jitomate (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill) bajo diferentes tratamientos, en condiciones de invernadero, en la comunidad de San Bernardino Tepenene en el Municipio de San Juan Tzicatlacoyan perteneciente al Estado de Puebla, 2015.	52
Tabla 11. Costos de producción de dos sistemas de jitomate bajo invernadero de 1 000 m ² en San Bernardino Tepenene, Tzicatlacoyan, Puebla, México, para el año 2015.	67
Tabla 12. Ingresos y egresos proyectados a 10 años para la producción convencional y orgánica de ambos sistemas de jitomate bajo condiciones de invernadero en la comunidad de San Bernardino Tepenene perteneciente al municipio de San Juan Tzicatlacoyan, Puebla-México, con una superficie de 1 000 m ² , para el año 2015.	69
Tabla 13. Cálculo del VAN y la relación B/C para la producción convencional y orgánica de ambos sistemas de jitomate bajo condiciones de invernadero en la comunidad de San Bernardino Tepenene perteneciente al municipio de San Juan Tzicatlacoyan, Puebla-México, con una superficie de 1 000 m ² , para el año 2015.....	70
Tabla 14. Cálculo de la relación N/K y la TIR para ambos sistemas de producción convencional y orgánico, bajo condiciones de invernadero en la comunidad de San Bernardino Tepenene perteneciente al municipio de San Juan Tzicatlacoyan, Puebla-México, con una superficie de 1 000 m ² , para el año 2015.....	71

ÍNDICE FIGURAS

Contenido	Página
Figura 1. Relación entre el logaritmo natural del número de esporas de las cepas de <i>T. harzianum</i> y % de germinación. ○= Th-ZFMAM, ◇= Th-FMAM, □= Th-ZFM, Δ= Th-Z.....	32
Figura 2. Microfotografía (1000X) de 4 biopreparado: a) Th-Z=Zeolita 90% + Conidios 10%; b) Th-ZFM= Zeolita 45% + Almidón de maíz 45% + Conidios 10%; c) Th-ZFMAM = Zeolita 45% +Almidón de maíz 22.5% + Alga marina 22.5% + Conidios 10%; d) Th-FMAM= Almidón de maíz 45% + Alga marina 45% + Conidios 10%, donde se pueden observar conidios de <i>T. harzianum</i> bien definidos (c), además se visualiza estructuras poliédrica del Almidón de maíz en la figura c y d, y el Alga marina.	33
Figura 3. Microfotografía (3000X) de biopreparado a base de Zeolita 90% y conidios de <i>T. harzianum</i> 10%, mostrando un gran número de esporas colapsadas.	34
Figura 4. Microfotografía (3000X) de biopreparado a base Zeolita 45% + Almidón de maíz 45% + Conidios 10% de <i>T. harzianum</i> , mostrando menor daño en los conidios.	35
Figura 5. Microfotografía (3000X) de biopreparado a base de Zeolita 45% + Almidón de maíz 45% + Alga marina 45% + Conidios 10% <i>T. harzianum</i> , mostrando una gran cantidad de conidios viables.	35
Figura 6. Microfotografía (3000X) de biopreparado a base de Almidón de maíz 45% + Alga marina 45% + <i>T. harzianum</i> , mostrando una gran cantidad de conidios viables.	36
Figura 7. Porcentaje de mortalidad y supervivencia causada por <i>P. capsici</i> , evaluada a los 30 días, después del trasplante en plantas de jitomate (<i>L. esculentum</i> Mill) bajo diferentes tratamientos, en condiciones de invernadero, en la comunidad de San Bernardino Tepenene perteneciente al Municipio de San Juan Tzicatlacoyan perteneciente al Estado de Puebla, 2015.	50
Figura 8. Comparación promedio de peso por fruto en gramos de los diferentes tratamientos aplicados a plantas de jitomate (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill) bajo invernadero, en la comunidad de San Bernardino Tepenene en el Municipio de San Juan Tzicatlacoyan perteneciente al Estado de Puebla, 2015.	53
Figura 9. Punto de equilibrio para la producción convencional y orgánica del cultivo de jitomate bajo condiciones de invernadero en la comunidad de San Bernardino Tepenene, perteneciente al municipio de San Juan Tzicatlacoyan, Puebla-México, para el año 2015.	68

RESUMEN GENERAL

La producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* M.) en invernadero está limitada por la incidencia del oomycete *Phytophthora capsici*, el cual es una de las enfermedades más destructivas a nivel mundial. El uso del control biológico para disminuir la incidencia de esta enfermedad, es una técnica alternativa al uso de fungicidas sintéticos; el género *Trichoderma*, es capaz de controlar un amplio número de fitopatógenos, incluyendo a *P. capsici*. Sin embargo, la producción de bio-fungicidas presentan limitantes en la viabilidad y concentración óptima de conidios, además se desconoce el potencial que pueden tener las cepas nativas. En este sentido el siguiente trabajo de investigación evaluó la influencia de cuatro bio-fungicidas a base de cepas nativas de *Trichoderma*, para ver la viabilidad en conidios de 90 días de almacenamiento a 18 °C, además de evaluar la incidencia y mortalidad de *P. capsici* en la producción de jitomate en invernadero. La formulación a base de alga marina, almidón de maíz, zeolita y conidios de la cepa TH-CA1, obtuvo una concentración de 83×10^4 con/mL con un 98% de viabilidad, la menor viabilidad de conidios se obtuvo en el biopreparado a base de zeolita. Estos resultados demuestran la factibilidad del uso de alga marina (*Porphyra umbilicales* R.) como preservante para la formulación de biopreparados hidratables a base de *Trichoderma* en polvo, además presentó los mejores resultados en el cultivo de jitomate, con una supervivencia de 76.4%, con un rendimiento promedio de 4.50 Kg por planta, mientras que el tratamiento inoculado con *P. capsici*, presentó la mayor incidencia con un 40%, la menor supervivencia de 26.3%, así como una producción de 0.67 Kg por planta con un peso promedio de fruto de 17.63 g. Así mismo, el análisis de rentabilidad de entre los dos sistemas de producción (convencional y orgánico) de jitomate, mostró para un periodo de diez años que la producción de jitomate bajo un manejo orgánico resulta más viable desde el punto de vista económico que la producción convencional, siendo la TIR de 22.90 y la VAN de 2,281,659.96. Estos resultados demuestran la factibilidad del biopreparado a base de cepas nativas de *Trichoderma* spp., como control biológico en la producción de jitomate en condiciones de invernadero, en la comunidad de San Bernardino Tepenene perteneciente al municipio San Juan Tzicatlacoyan en el Estado de Puebla-México.

Palabras clave: Cepas nativas de *Trichoderma* spp., bio-fungicida, concentración de conidios, control biológico y manejo orgánico.

GENERAL ABSTRACT

The production of tomato (*Lycopersicon esculentum* M.) in greenhouse is limited by the incidence of the oomycete *Phytophthora capsici*, which is one of the most destructive diseases worldwide. The use of biological control to reduce the incidence of this disease is an alternative to using synthetic fungicides technique; the genus *Trichoderma*, is capable of controlling a large number of pathogens, including to *P. capsici*. However, the production of bio-fungicides have restrictions on the viability and optimal concentration of conidia also the potential that can have the native strains is unknown. In this regard the following research work evaluated the influence of four bio-based fungicides Native strains of *Trichoderma*, to see the viability of conidia 90 days of storage at 18 °C, in addition to assessing the incidence and mortality of *P. capsici* in the production of greenhouse tomatoes. The formulation based on seaweed, corn starch, zeolite and conidia of the TH-CA1 strain, obtained a concentration of 83×10^4 with/mL with 98% viability, reduced viability of conidia obtained in bioproduct based zeolite. These results demonstrate the feasibility of using seaweed (*Porphyra umbilicals* R.) as a preservative for the formulation of Biopharmaceuticals *Trichoderma* hydratable powder, also presented the best results in the cultivation of tomato, with a survival rate of 76.4%, with an average yield of 4.50 Kg per plant, while treatment inoculated with *P. capsici*, had the highest incidence with 40%, the lowest survival of 26.3% and a yield of 0.67 Kg per plant with an average fruit weight of 17.63 g. Likewise, the profitability analysis of the two systems (conventional and organic) tomato production showed for a period of ten years the tomato production under organic management is more feasible from the standpoint of economic production conventional, being the IRR and NPV 22.90 2,281,659.96. These results demonstrate the feasibility of bioproduct based Mexican strains of *Trichoderma* spp., as biocontrol in tomato production in greenhouse conditions in the community of San Bernardino Tepenene in the municipality of San Juan Tzicatlacoyan in the State of Puebla-Mexico.

Keywords: Strains of *Trichoderma* spp, bio-fungicide, concentration of conidia, biological control and organic handling.

INTRODUCCIÓN

El desmesurado crecimiento poblacional ha generado una mayor necesidad de alimentos y materias primas, aunado a la disminución de la producción agrícola por múltiples factores; siendo las enfermedades causadas por diversos fitopatógenos, una de las principales amenazas (Huerta-Lara *et al.*, 2009). Los daños más recurrentes son causados por algunos hongos como: *Pythium* spp., *Fusarium* spp., y *Rizhoctonia* spp., además del oomiceto *Phytophthora* spp., que en conjunto atacan la raíz y tallo, provocando marchitez, pudrición, enanismo, tizones y manchas foliares, con disminuciones del 10% del rendimiento hasta la pérdida total del cultivo (Bautista *et al.*, 2008; 2010). La forma de combate de estas enfermedades, bajo el sistema de producción convencional, se realiza principalmente con la aplicación de fungicidas de síntesis química, cuyo uso indiscriminado ha repercutido en problemas de contaminación ambiental por la persistencia de sustancias tóxicas en el suelo, agua, aire y la misma biodiversidad de los agroecosistemas, además de incidir en daños a la salud humana por la exposición directa a estos químicos y por la ingesta de residuos provenientes de alimentos contaminados (Zavaleta-Mejia, 2000). El constante uso de Agroquímicos dentro del mismo sistema de producción, causa inestabilidad al provocar resistencia a los patógeno, lo cual induce a una mayor incidencia de enfermedades en los cultivos (Fernández-Herrera *et al.*, 2007).

Dada la insostenibilidad a consecuencia de los altos costos económicos, ecológicos y sociales provocados por el uso de fungicidas en el control fitosanitario, se hace necesario desarrollar tecnologías que permitan de forma fácil, económica y efectiva obtener productos a partir de microorganismos endógenos con calidad y cantidad suficiente para su aplicación en áreas de cultivo (De los Santos *et al.*, 2012). Dado lo anterior, el control biológico en el cultivo de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), surge en respuesta como nueva tecnología para el control de enfermedades; entre los agentes más importantes para el control de hongos fitopatógenos, se encuentran los hongos pertenecientes al género *Trichoderma*, que son capaces de controlar un amplio número de hongos que afectan a las plantas, incluyendo al oomicete *Phytophthora capsici* en el cultivo de jitomate (Butt *et al.*, 2001).

La presente tesis esta estructurada en IX capítulos, donde abarca las generalidades de la investigación. En el capítulo I se describe la importancia del Jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), tomando en cuenta su origen, clasificación Taxonómica, diversidad y principales características botánicas, resaltando los problemas Fitosanitarios más graves como lo es el tizón temprano, tardío y *damping off*. Dentro del capítulo II podemos encontrar el manejo fitosanitario de las enfermedades en Jitomate, donde el control biológico a tenido gran relevancia en el mundo y en México, donde el uso del genero *Trichoderma* se pone a la vanguardia para el control de *P. capsici*, resaltando los mecanismos de acción de *T. harzianum* como lo es la antibiosis y el micoparasitismo, finalizando con la propuesta del biopreparado a base de cepas nativas de *Trichoderma*. En el capítulo III proponemos la hipótesis y los objetivos desarrollados para llevar a cabo la investigación. Para el capítulo IV hablamos de la metodología para el desarrollo de la investigación, siendo así, que presenta un enfoque ambiental, tecnológico y económico. En el capítulo V se avaluaron las diferentes formulaciones en cuestión de la vida útil de las diferentes cepas nativas de *Trichoderma* spp., la cual se encuentra ligada por diversos factores, entre los que destacan las características de la cepa, la temperatura, el método de producción y el tipo de formulación, por lo cual los estudios se basan en la evaluación de las características del biopreparado a través del tiempo. En el capítulo VI se evaluaron las diferentes cepas nativas de *Trichoderma* spp., aplicadas a la mejor formulación, siendo esta a base de alga marina, almidon de maíz, zeolita y conidios, donde se obtuvo una concentración de 83×10^4 con/mL con un 98% de viabilidad, esta formulación se aplico en el cultivo de jitomate bajo invernadero invernadero en la comunidad de San Bernardino Tepenene perteneciente al municipio de San Juan Tzicatlacoyan, Puebla-México, tomando en cuenta su eficacia por medio del rendimiento en kilogramos de cada uno de los tratamientos en evaluación. Cabe resaltar que atraves de esta investigación se logro conformar un bio-fungicida con registro MX/a/2016/012860 de patente ante el IMPI. En el capítulo VII se realizó un análisis comparativo de rentabilidad económica entre un sistema de producción convencional de jitomate en invernadero extrapolado a 1 000 m², es decir aquel que ocupa en su manejo todo tipo de agroquímicos, contra un sistema de producción de jitomate orgánico en invernadero. Finalmente encontramos el capítulo VIII, donde se describe las principales conclusiones de la presente investigación. Cabe destacar que todos los tratamientos a base de *Trichoderma* presentaron antagonismo a *P. capsici*, además de promover el crecimiento de las plantas de jitomate en invernadero.

CAPÍTULO I

I. MARCO DE REFERENCIA

1.1 Jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill)

El jitomate (*L. esculentum* Mill) es una de las hortalizas de mayor consumo *per-cápita* a nivel mundial (Sánchez *et al.*, 2009), además es considerado uno de los principales productos hortícolas en el sector agrícola mexicano, caracterizado por ser el cultivo de exportación con un alto valor en su producción, genera importantes divisas y empleo rural (Borja, 2012). Bajo esta perspectiva, las exportaciones de jitomate mexicano han crecido en términos absolutos, pero algunos autores mencionan que éstas han perdido competitividad, en este sentido Avedaño y Schwentesius (2005), señalaron que las exportaciones de jitomate han tenido una tasa anual de crecimiento positiva, pero su competitividad en el mercado internacional ha sido decreciente, debido a sequías prolongadas, suelos erosionados, plagas y enfermedades (Alonso *et al.*, 2015).

1.2 Origen del Jitomate

El jitomate es originario de América del Sur, específicamente de la región Andina (Chile, Colombia, Ecuador, Bolivia y Perú) donde se encuentra la mayor variabilidad genética y abundancia de tipos silvestres (Jenkins, 1948; George 1989; Rodríguez, 2001). En este sentido, Álvarez-Hernández *et al.* (2009) muestran evidencias de que en México existe una gran reserva genética tanto silvestre como cultivada, pero poco explotada; ya que el jitomate mejorado o cultivado posee una pobre o nula representación de las reservas del nativo. Dado lo anterior, el cultivo fue introducido en Europa en el siglo XVI, al principio sólo se utilizaba como planta de adorno, sin embargo, fue hasta 1900 cuando el cultivo se extendió como alimento humano (Moreno y Ramírez, 2009). Así mismo, se cultiva en zonas templadas y cálidas, existiendo notables diferencias en cuanto a los sistemas y técnicas culturales empleadas por horticultores (Von Haeff, 1983). Estudios recientes con poblaciones nativas de jitomate cultivado y silvestre, muestran una variación amplia en formas de planta y fruto. Esta diversidad tiene su origen en la diversidad agrícola de ecosistemas, además de la orografía accidentada y de la presencia de diferentes grupos étnicos (Juárez *et al.*, 2009; Vásquez *et al.*, 2010; Ramírez 2010; Ramírez *et al.*, 2013).

1.3 Clasificación Taxonómica de Jitomate

El jitomate es una planta dicotiledónea, perteneciente a la familia *Solanace* y al género *Lycopersicon*; *L. esculatum* es la especie más cultivada y posee nueve especies silvestres relacionadas (Vallejo y Estrada, 2004). Así mismo el nombre genérico y específico del jitomate fue dado por Miller en 1788 (tabla 1), la mayoría de los investigadores consideran que el género *Lycopersicon* posee las siguientes especies (Vallejo, 1999).

Tabla 1. Descripción taxonómica de jitomate (*L. esculatum*).

Subreino	Tracheobionta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Asteridae
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Género	<i>Lycopersicon</i>
Especie	<i>Esculetum</i>

Miller, 1788.

Lycopersicon spp., está dividido en dos subgéneros (a) *Eulycopersicon* en el que se agrupa la forma domesticada *L. esculatum* y las semidomesticas *L. esculatum* var *esculetum*, que se distingue por ser frutos de tonalidad roja, naranja y con semillas de pubescencia sedosa y brácteas en las inflorescencias y, (b) *Ericopersicon*, el cual se caracterizan por su coloración verde y distintos grados de entrecruzamiento con el jitomate domesticado (Moreno, 2010).

Lycopersicon esculatum es el jitomate cultivado en todo el mundo, el interior del fruto es rojo cuando madura con semillas de 1.5 mm o más largas; los márgenes de las hojas son típicamente aserradas (Estrada, 2013). Tradicionalmente se ha considerado como el probable ancestro directo de la planta cultivada hoy en día, pero evidencias genéticas moleculares han cambiado este punto de vista (Tanksley, 2002).

1.4 Diversidad Ecológica y Geográfica

Las poblaciones de jitomate silvestre crecen en diferentes altitudes, en valles aislados reducidos geográficamente, adaptados a condiciones de suelos y microclimas particulares; de esta forma, la geografía andina, los diversos hábitat ecológicos y los diferentes climas contribuyen a la diversidad del jitomate silvestre (Wamock, 1988).

En México, el jitomate silvestre se encuentra ampliamente distribuido en zonas de reserva ecológica y asociado a campos de cultivos (Rodríguez *et al.*, 2003; Sánchez *et al.*, 2006). La mayoría de las poblaciones de jitomate se han colectado en altitudes entre 0 y 1,200 m y en regiones cálidas menores de 3,000 msnm, además las poblaciones se asocian con especie que les brindan sombra y protección al frío (Sánchez *et al.*, 2006). La amplia distribución del jitomate silvestre ha determinado que las poblaciones presentan características específicas para responder a los distintos factores bióticos y abióticos de manera de adaptación (Ramanatha y Hodgkin, 2002). Álvarez *et al.* (2009) señalan que la diversidad de las condiciones ambientales en los que se desarrollan las poblaciones silvestres de jitomate en Michoacán y México, se asocia a la amplia diversidad de esta especie. En este sentido, la presión de selección ejercida por el hombre a través de la diversidad y los diferentes tipos de clima, han originado una gran variabilidad genética existente en el género *Lycopersicon* y sus parientes silvestres con fines comerciales (Ascencio *et al.*, 2008).

1.5 Características Botánicas

La planta presenta una raíz principal que crece unos 3 cm al día hasta alcanzar los 60 cm de profundidad, produciéndose al mismo tiempo raíces adventicias y ramificaciones que forman una masa densa; pero este sistema radical puede ser modificado por las prácticas culturales, de tal forma, que cuando la planta procede de un transplante, la raíz pivotante desaparece siendo mucho más importante el desarrollo de forma horizontal, donde las raíces laterales y adventicias crecen como la principal (Curtis, 1996; Rodríguez *et al.*, 2001).

El tallo puede llegar a medir de 40 a 250 cm, mostrando ramificaciones abundantes y yemas axilares, si al final del crecimiento todas las ramificaciones exhiben yemas reproductivas, estas se clasifican como de crecimiento determinado y si terminan con yemas vegetativas, son de crecimiento intermedio (Valadéz, 1990).

La ramificación del tallo principal da lugar a dos grupos: determinado e indeterminado; el primero termina sus ramificaciones en inflorescencia, limitándose en consecuencia el crecimiento vertical, en el segundo también se forman racimos en la última hoja; sin embargo, se forma una nueva rama dando origen a un crecimiento ilimitado (Garza, 1985).

Las hojas son pinnadas compuestas, (Cruz, 2007); pueden ser cortas, de tamaño medio o largas y tipo patata (George, 1999); una hoja típica de las plantas cultivadas mide alrededor de 0.5 m de largo (Chamarro, 2001). En este sentido, las hojas en el jitomate rústico presentan un tamaño pequeño (Huerres y Caraballo, 1988).

La flor del tomate es pequeña y muy expuesta (Retana *et al.*, 2012). Asimismo su cáliz es de 5 sépalos angostamente triangulares y puntiagudos; su corola es amarilla en forma de estrella de 5 puntas raramente más; cuenta con 5 estambres hasta 9 principalmente en plantas cultivadas, las anteras con sus ápices delgados están unidas entre sí rodeando al estilo (CONABIO, 1997). La flor de tomate presenta mecanismos que le permiten lograr su autopolinización, la cual, no es suficiente para producir frutos de alta calidad; ya que el tamaño del fruto depende directamente de la cantidad de granos de polen que se depositan sobre el estigma (Aldana *et al.*, 2007).

Botánicamente, un fruto de tomate es una baya compuesta de varios lóculos, consistente de semilla dentro de un pericarpio carnoso desarrollado de un ovario; su forma puede ser redondeada, achatada o en forma de pera y su superficie lisa o asurcada, están compuestos de carne (paredes del pericarpio carnoso desarrollado de un ovario). Una variedad comercial contiene alrededor de 150 a 300 semillas por fruto (Desai *et al.*, 1997). El color rosado se debe al gen singular (Y) que previene la formación de pigmentos amarillos en la epidermis del fruto (Jones, 1999).

La semilla es una unidad reproductiva compleja, característica de las plantas vasculares superiores, que se forma a partir del óvulo vegetal, generalmente después de la fertilización. Se encuentra en las plantas con flores (angiospermas) y en las gimnospermas (Doria, 2010). De ahí que la semilla del jitomate presente diferentes tonalidades en su color, desde el grisáceo, hasta el color paja de forma oval aplastada, con un tamaño de 3 y 5 mm de diámetro y 2.5 mm de longitud y cubierta de vellosidades, llegándose a encontrar en un gramo alrededor de 300 a 350 semillas (Huerres y Caraballo, 1988; Rodríguez *et al.*, 2001).

1.6 Requerimientos Agroclimáticos

El cultivo del jitomate requiere de factores ambientales para su producción entre los que destacan la temperatura, la humedad relativa y la radiación (Ortega, 2010). Según Bastida (2006), se requiere de una temperatura para el crecimiento de dicho cultivo de 22 ± 7 °C; mientras que para el desarrollo del fruto, el intervalo óptimo de temperatura es de 18 a 22 °C (Leopold y Scott, 1952). Así mismo Resh (1993), demostró que una humedad relativa del 70% es la mejor para la polinización de fruto y posterior desarrollo de éste; coincidiendo con Lucero-Flores (2012), que menciona que la humedad relativa debe oscilar entre 60 y 80%. Al respecto, la humedad del ambiente mayor de 70% disminuye la posibilidad de que se transfiera suficiente polen al estigma, causando la desecación (Ortega *et al.*, 2010). Por otro lado, la energía solar radiante es un factor ambiental que ejerce influencia sobre el crecimiento y atributos de la calidad del fruto (Flores, 2012). La productividad en el proceso de la fotosíntesis, determina el uso del agua por el proceso involucrado en la evotranspiración y transpiración (Díaz, 2013), ya que la escasez de agua es el principal obstáculo para la producción en las zonas áridas y semiáridas (Nangare *et al.*, 2016); aunado a la sensibilidad de condiciones de baja luminosidad, ya que el cultivo requiere un mínimo de 6 horas diarias de la luz directa para florecer (Gálvez, 2015).

1.7 Etapas Fenológicas

La fenología del cultivo del jitomate comprende dos etapas, la fase de desarrollo vegetativo y la reproductiva, las cuales determinan demandas nutricionales, necesidades hídricas, susceptibilidades o resistencias a insectos y enfermedades. La fase de desarrollo vegetativa inicia a partir de los 21 días después de la germinación y dura entre 25 a 30 días antes de la floración. Requiere de mayores cantidades de nutrientes para satisfacer las necesidades de las hojas y ramas en crecimiento y expansión (Pérez *et al.*, 2001). La fase reproductiva, tiene una duración cercana de 180 días, incluye la fase de floración que se inicia a los 25-30 días después del trasplante, desde la formación del fruto y su llenado hasta su madurez para su cosecha, entre los 85 a 100 días después del trasplante (Jaramillo *et al.*, 2007 y 2012). Cabe destacar que la duración del ciclo fenológico del jitomate es determinado en su mayoría por las condiciones climáticas, el suelo, el manejo agronómico, el número de racimos que dejen en la panta y la variedad utilizada (Lino, 2014).

1.8 Producción e Importancia del Cultivo

El crecimiento de la producción de hortalizas es dinámico (Ferrato y Mondino, 2008), debido a su orientación hacia el mercado; su amplia competencia internacional y a su elevado consumo y diversas formas de preparación (Anido *et al.*, 2010). Es una de las hortalizas más importantes, respecto a su producción, la cual, se cultiva en todo tipo de suelos para uso familiar y comercial (Adekiya y Agbede, 2016); a nivel mundial, los principales productores menciona FAO (2012), son China, Estados Unidos, India, Egipto, Turquía, Italia, Irán, España, Brasil y México, este último se ubica en la décima posición respecto a producción (FAO, 2014).

En México, a nivel estatal, las estadísticas del Sistema de Información Agropecuaria (SIAP, 2014), reportan que en 2014, Sinaloa, San Luis Potosí y Michoacán fueron los principales productores de jitomate; Puebla ocupó el decimocuarto lugar (SIAP, 2014). Pocos productos agrícolas como el jitomate presentan tantos usos, aunado a que es considerado fuente de proteína y vitamina C en altos contenidos (Villareal, 1982). Debido a su importancia económica a partir del Tratado de Libre Comercio se ha requerido una mayor cantidad de mano de obra (Zuloaga, 1994); y de cambios tecnológicos (Barrón, 2013). Sin embargo, Avedaño (2008), menciona que existe una pérdida de competitividad que se asocia a los repetidos brotes epidemiológicos que han provocado el cierre de la frontera, afectando fuertemente a los productores.

Cabe destacar que en México, el uso de tecnologías como el invernadero y micro túnel disminuyen las tendencias negativas en la producción de jitomate (Sánchez del Castillo *et al.*, 2009). Por ello, los invernaderos fungen según Ortega *et al.* (2014) como protección contra los riesgos inherentes a la producción de cultivos a libre exposición, su función principal es recrear las condiciones óptimas y apropiadas de radiación, temperatura, humedad y dióxido de carbono, para generar la reproducción, desarrollo y crecimiento de plantas, incrementando la producción en cantidad, calidad y oportunidad comercial.

1.9 Usos del Jitomate

Pocos productos hortícolas permiten tal diversidad de usos como el jitomate, para consumo en fresco o procesado industrial en base a las diferencias en características de calidad. Sin embargo, las tendencias modernas para comer de manera saludable y el aumento de

conciencia del consumidor han incrementado la popularidad del jitomate (Labate *et al.*, 2007). El fruto es particularmente rico en antioxidantes como licopeno, β caroteno y vitamina C, aportando otros antioxidantes como vitamina E y diversos compuestos fenólicos (Flores, 2012). De las cualidades que posee el jitomate, el contenido del licopeno ha recibido especial atención en años recientes, debido a la capacidad de esta sustancia para ayudar a proteger el cuerpo humano contra radicales libres mutagénicos (Tucker *et al.*, 2007). En este sentido el jitomate es consumido como fruta fresca, en ensaladas, como ingrediente en diversas recetas o en forma de diversos productos procesados ya sea como pastas, jitomates totalmente pelados cortados en cubos o en varias formas de jugos y sopas (Manrubbio *et al.*, 1995).

1.9.1 Problemas Fitosanitarios del Jitomate

El género *Phytophthora* (del griego *Phyton*: planta; *phthora*: destructor) fue creado por de Bary en 1876 con *P. infestans* de Bary, se reconoció como causante del tizon tardío en la patata, previamente identificado como *Botrytis infestans* Montagne y luego como *Peronospora infestans* (Echemendia, 2016). Otros géneros terrestres como *Phytophthora* y *Pythium* son relacionados y pertenecen a la familia *Pythiaceae*, los cuales causan enfermedades en las plantas, pero requieren del agua líquida para la movilidad de las zoosporas en el suelo o en el follaje (Pérez *et al.*, 2010).

Phytophthora spp., es un agente fitopatógeno que produce manchas necróticas en hojas, folíolos y tallos, amarillamiento del follaje, pérdida de turgor y marchitez, necrosis interna en tallos y raíces, pudrición radical y de frutos (Goto, 1990). Según Bernal (2010), es muy severa en suelos húmedos, pero se observa más predisposición a esta enfermedad cuando hay períodos de sequía previos a un alto contenido de humedad en el suelo. Estos organismos se reproducen generalmente a través de zoosporas, las cuales pueden ser diseminadas por el agua, viento, e incluso insectos. Estas estructuras de diseminación se pueden formar ya sea a través de mecanismos sexuales o asexuales (Sandoval, 2004).

1.9.2 Tizón Temprano

La pudrición de cuello y raíz es una enfermedad criptogámica, produce un marchitamiento, irreversible, se combina con un amarillamiento desde la base hasta la yema terminal deteniendo el crecimiento en la planta, pero sin llegar a morir, su mayor manifestación

ocurre cuando está próxima la primera cosecha de frutos (Tello, 1988). La enfermedad pudrición de cuello y raíz en el cultivo de jitomate es causada por el oomicete *Phytophthora capsici*, donde el primer síntoma inequívoco de la mala asimilación de nitrógeno debido a su sistema radicular destruido son las hojas con amarillentas del nervio central (Syngenta, 2016). En este sentido (Jones, *et al.*, 2001), menciona que los daños aéreos más frecuentes en tallos y ramas son lesiones alargadas a manera de tizón de color oscuro a negro que muchos de los casos inicia en el cuello o en las ramas que están en contacto con el suelo, la lesión se desarrolla en condiciones de alta humedad y logra matar a la planta al afectar el tallo. No de forma infrecuente, los tallos de las plantas enfermas están recorridos en su epidermis por una necrosis marrón (Tello, 1988).

1.9.3 Tizón Tardío

Enfermedad causada por *Phytophthora infestans*, la enfermedad se manifiesta según Obregón (2014), en las hojas con manchas acuosas oscuras de color marrón grisáceo que se expanden rápidamente alcanzando tallos y pecíolos; si las condiciones ambientales son favorables para el hongo, en la parte inferior de la hoja se puede formar una masa de micelio blanco de aspecto aterciopelado, el follaje se vuelve de color marrón, los frutos verdes presentan un moteado irregular color oliva, de aspecto aceitoso, que puede extenderse dañando el fruto entero provocando podredumbre blanda; cabe destacar que las condiciones predisponentes para desarrollar esta enfermedad no son muy común en invernadero. *P. infestans* se activa en clima fresco de 18 a 22 °C, con una humedad de 90 al 100%, donde la amplitud térmica también favorece el crecimiento del hongo. *P. infestans* sobrevive en tejido vivo ya sea tubérculos-semilla, desechos de plantas, en plantas voluntarias y otros hospederos susceptibles, siendo éstos principales fuente de enfermedad. Desde estos, los tejidos infectados, el micelio alcanza la parte aérea de la planta produce las estructuras reproductivas (esporangios), los cuales se producen en temperaturas bajas, acompañadas de alta humedad relativa, requiriéndose al menos de 12 hrs en estas condiciones para que se produzca la infección y entre 5 a 7 días para desarrollar los primeros síntomas. El hongo se dispersa por el agua de lluvia y el viento, depositándose en hojas y tallos húmedos, donde inician una nueva infección. Comienza principalmente en los sectores más bajos y húmedos de la plantación (Geuens, 2013).

1.9.4 Enfermedades Causadas por *Damping Off* ó Secadera

El cultivo de jitomate es atacado por una gran cantidad de enfermedades que están consideradas entre los principales factores limitantes de la producción. *Damping-off* es causada por *Fusarium* sp., *Phytium* sp., *Rhizoctonia* y *Phytophthora* sp., (González *et al.*, 2013). Esta enfermedad ataca plántulas de jitomate desde el vivero y primeras etapas de desarrollo en campo e invernadero. Los síntomas de esta enfermedad empiezan como plantas aisladas que después se extienden en manchones, y en algunos casos se observa crecimiento de micelio del hongo, las condiciones favorables para que se desarrolle la enfermedad son el exceso de humedad del suelo, terrenos mal nivelados con mal drenaje y temperaturas de 12 a 17 °C (SAGARPA, 2011).

CAPÍTULO II

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Manejo Fitosanitario de las Enfermedades en Jitomate

La intensificación de la producción agrícola en muchos países de bajos y medianos ingresos suele ir acompañada de problemas de uso excesivo de pesticidas, causando riesgo para la salud pública (Schreinemachers y Tipraqsa, 2012). Por ello el manejo fitosanitario de enfermedades en jitomate se ha fundamentado en prácticas de manejo convencional que resultan dispendiosas para los agricultores, teniendo que recurrir a la aplicación de fungicidas que a veces, resultan ineficientes, incrementan los costos de producción, contribuyen a la contaminación ambiental y deterioran la biota del suelo (Cubillos *et al.*, 2011). Frente a esta situación, es conveniente el desarrollo de insumos para el control biológico de los fitopatógenos, contribuyendo además con la producción de carácter ecológico (Cubillos *et al.*, 2008).

2.2 Fundamentos del Control Biológico

El control biológico es definido como “el uso de organismos para suprimir la densidad de población o el impacto de un organismo plaga específico, haciéndolo menos abundante de lo que sería si no se usaran dichos organismos” (DeBach, 1964). Bajo esta línea, el control biológico menciona (Stirling, 2014) puede observarse desde tres perspectivas, desde el remplazamiento de pesticidas tóxicos con productos biológicos seguros (control biológico inundativo); desde la deliberación de un parásito o un predador introducido y designado de forma permanente en su nuevo entorno, reduciendo la población de plagas a niveles aceptables (control biológico inoculativo) y desde la proporción de recursos que los enemigos naturales endémicos necesitan para mejorar su eficacia y reducir los factores que les impiden ser parásitos o depredadores efectivos (control biológico de conservación), este último, según Paredes *et al.* (2013) utiliza los términos enemigos naturales, fauna auxiliar u organismos beneficiosos para denominar a aquellos agentes del agroecosistema que van a actuar contra las plagas.

El control biológico ideal considera que el antagonista se introduce cuando existe la necesidad de una mayor efectividad; la población antagonista no necesita ser más grande que aquella que suprime adecuadamente al inóculo primario del patógeno de la enfermedad, por lo tanto para utilizar agentes de control biológico y tener una mayor efectividad en el registro, el mejor aliado en el control de enfermedades de plantas es contar con una gran variedad de microorganismos nativos factibles de utilizarse (Michell, 2008). En este sentido, las plantas rodeadas por una amplia gama de organismos en su entorno pueden tener un impacto negativo, sin embargo también pueden ejercer efectos beneficiosos mediante la mejora de la aptitud general la supresión de enfermedades a través de bacterias, omicetos, nematodos, insectos virus y hongos (Vos *et al.*, 2015). Los hongos antagonistas resultan ser muy importantes para el control biológico de los fitopatógenos, estos microorganismos presentan diferentes mecanismos de acción como la competencia por el sustrato, microparasitismo, antibiosis, desactivación de enzimas de patógeno, resistencia inducida (Cortes, 2015). Por ello, mientras mayores mecanismos de acción presente el antagonista, mayor será la eficacia de control sobre el patógeno (Infante *et al.*, 2009). De ahí que, los agentes de control biológico utilizados actualmente para el combate de patógenos fungosos del suelo, incluyen especies de *Trichoderma*, *Gliocladium* y *Fusarium* no patógeno (Paulitz y Bélanger, 2001); cabe destacar que el control de cepas de *Trichoderma* spp., y hongos micorrizicos arbusculares, es a veces impredecible debido a que los agentes de control biológico son organismos cuyas actividades dependen de las condiciones ambientales (Ferrigo, 2014), por ello la comprensión tanto de la diversidad genética de las cepas de *Trichoderma* spp., y sus mecanismos de control biológico dará lugar a una mejor aplicación de las diferentes cepas como agentes de control biológico (Ibarra, 2015).

2.3 Antecedentes del Control Biológico

La contaminación ambiental, la destrucción de la fauna, los residuos de agroquímicos en cadenas tróficas y la resistencia de las plagas a plaguicidas sintéticos orgánicos, provocó el regreso a la práctica del control biológico, basada principios naturales, congruente con el desarrollo sustentable y la conservación de los recursos (Badi y Abreu, 2006). La investigación sobre este tipo de organismos de control biológico se ha intensificado durante las últimas décadas y su importancia se incrementó como parte de las prácticas de gestión integradas para reducir el uso de pesticidas químicos (Glare *et al.*, 2012).

A principios del siglo XIX se concibe la importancia del control biológico, debido a que intenta restablecer el perturbado equilibrio ecológico mediante la utilización de organismos vivos o metabolitos que eliminan y reducen los daños causados por organismos perjudiciales a través organismos entomófagos en la naturaleza y controladores biológicos (Badii *et al.*, 2000).

2.4 Control Biológico en México

El control biológico es una herramienta prometedora para mantener el nivel actual de la producción agrícola a la vez que reduce la contaminación por pesticidas químicos en el ambiente (Dikshit *et al.*, 2011). En México son escasas las investigaciones que se han realizado para el manejo biológico de fitopatógenos habitantes del suelo mediante el uso de microorganismos antagonistas. La mayoría se han realizado a nivel laboratorio y en menor número en campo (Fernández *et al.*, 2006). Sin embargo varios autores han realizado estudios tendientes a evaluar la capacidad antagonista in vivo de *Trichoderma* spp., sobre diferentes hongos, por ejemplo: Puño en (2011), menciona que la concentración pura del fermento de la cepa *Trichoderma inhamatum* tiene una acción significativa en la reducción de la incidencia a *Phytophthora infestans* en campo y del mismo modo para el fitopatógeno *Septoria lycopersici*; así mismo Singh *et al.* (2013) menciona que los tratamientos con semillas y plántulas de jitomate y en conjunto con agentes biológicos (*Trichoderma* spp., *Pseudomonas* spp.) da como resultado la estimulación del crecimiento de la planta y reducen la gravedad de la enfermedad.

2.5 Productos Biológicos para el Control de Hongos Fitopatogenos

Uno de los principales objetivos de la Fitopatología es aplicar métodos adecuados para combatir las diversas enfermedades originadas por agentes bióticos y/o abióticos en las plantas cultivadas o de interés humano, mediante una serie de principios, principios, medidas medidas y procedimientos. El control biológico es un método que se emplea conjuntamente con prácticas culturales, ayudan a mejorar la resistencia del hospedante favoreciendo el desarrollo de microorganismos que son antagonistas de patógenos (Sanabria, 2010). Los agentes de control biológico o sus ingredientes activos pueden ser aplicados por tratamientos tópicos, colonización endofítica de las semillas o por transformación genética de las plantas hospederas.

Los microorganismos pueden ser utilizados en el control de fitopatógenos y por lo tanto reducir el uso de pesticidas (Acosta *et al.*, 2009).

2.6 *Trichoderma* spp., para el Control de Enfermedades Fungosas

El biocontrol actualmente ocupa un lugar importante dentro de las prácticas de manejo de enfermedades de las plantas causadas por los patógenos fúngicos del suelo, principalmente de los géneros *Rhizoctonia*, *Sclerotium*, *Pythium*, *Phytophthora* y *Fusarium* entre otros. Las especies de *Trichoderma* poseen buenas posibilidades en este sentido como hiperparásitos competitivos que producen metabolitos antifúngicos y enzimas hidrolíticas a los que se les atribuyen los cambios estructurales a nivel celular, tales como vacuolación, granulación, desintegración del citoplasma y lisis celular (Stefanova *et al.*, 1999). Los mecanismos por los que las cepas del género *Trichoderma* desplazan al fitopatógeno están fundamentalmente asociados a competición directa por el espacio o por los nutrientes, producción de metabolitos (antibióticos), ya sean de naturaleza volátil o no volátil y parasitismo directo de determinadas especies de *Trichoderma* sobre los hongos fitopatógenos (Chavez, 2006).

El control de enfermedades producidas por hongos por parte del agente de control biológico *Trichoderma* spp., ha resultado eficiente en el control de diversas enfermedades, edáficas, foliares, con efectos comparables o superiores a productos químicos de amplio uso, reduce la marchitez y muerte causadas por *F. oxysporum* f.sp. *Dianthi*, además actúa como promotor del crecimiento, provoca la inducción de resistencia sistémica en las plantas, permitiéndoles defenderse de enfermedades foliares aún siendo aplicado en las raíces (Casanova *et al.*, 2016). Hasta el momento no se conoce que dicho hongo sea patógeno de ninguna planta, exceptuando a *T. viride*. Sin embargo es capaz de controlar e hiperparasitar muchos hongos, nematodos y otros fitopatógenos, que atacan y destruyen los cultivos agrícolas (Robles 2016).

2.7 Biología de *Trichoderma* spp

Trichoderma spp., es un tipo de hongo anaerobio facultativo que se encuentra de manera natural, existen más de 30 especies, todas con efectos benéficos para la agricultura y otras ramas. Este hongo se encuentra en diferentes zonas y hábitats, especialmente en aquellos que contienen materia orgánica o desechos vegetales en descomposición, en residuos de cultivos, atacados por

otros hongos (Cholango, 2009). Bajo esta línea, Tovar (2008), menciona que *Trichoderma* spp, es un habitante natural del suelo, caracterizado por un comportamiento saprófito o parásito, propiedades que benefician su actividad antagónica, colonizador secundario dado su frecuente aislamiento a partir de materia orgánica en descomposición, parasita estructuras de diferentes hongos patógenos, debido a la competencia por nutrientes y microparasitismos; así mismo, produce compuestos que actúan sobre la pared y la membrana celular de otros hongos, algunos de estos compuestos son: alamethicina, trichotoxina, suzukacillina, gliovirina, gliodeliquesina y gliotoxina (Rojas, 2014). Por lo anterior, los requerimientos nutrimentales de estos hongos filamentosos son pocos, aunque su crecimiento es favorecido por la materia orgánica, y su humedad y temperaturas óptimas de crecimiento, se encuentran en un rango de 25 a 30 °C (Argumedo 2009).

2.8 Clasificación Taxonómica de *Trichoderma* spp

El género *Trichoderma* fue introducido por Persoon hace casi 400 años (tabla 2), consiste de hongos anamórficos aislados principalmente del suelo y de materia orgánica en descomposición, dicho género pertenece al grupo de hongos Deuteromicetes u hongos imperfectos, a la orden Hifales (Widden, 1998; Zhang *et al.*, 2005).

Tabla 2. Descripción taxonómica de *Trichoderma* spp

Reino	Fungi
División	Eumycota
Subdivisión	Deuteromycota
Clase	Hyphomycetes
Orden	Moniliales
Familia	Moniliaceae
Género	<i>Trichoderma</i>

Zhang *et al.*, 2005.

Algunas especies de *Trichoderma* spp., son de vida libre en el suelo, oportunistas, simbioses de plantas, y otras son micoparásitas; pueden colonizar distintos ambientes, debido a su alta capacidad reproductiva; sobreviven en condiciones extremas de temperatura, es importante para

las plantas, al contribuir en el control de hongos fitopatógenos ya que poseen propiedades micoparasíticas y antibióticas para diferentes plantas hortícolas (Bissett 1991; Harman *et al.*, 2004).

Las cepas de *Trichoderma* spp., más comercializadas para el control biológico son *Trichoderma viride*, *T. polysporum* y *T. harzianum*, donde esta última es la más utilizada y reportada en la literatura. Los miembros del género *Trichoderma* tienen el potencial de sintetizar y liberar enzimas como polisacaridasas, celulasas, xilanasas y quitinasas, las cuales se han aprovechado en procesos industriales (Argumedo, 2009).

2.9 Generalidades de *Trichoderma* spp

Las especies de *Trichoderma* actúan como hiperparásitos competitivos, que producen metabolitos antifúngicos y enzimas hidrolíticas a los que se atribuyen los cambios estructurales a nivel celular, tales como vacuolización, granulación, desintegración del citoplasma y lisis celular, encontrados en los organismos con los que interactúa (Chávez, 2006). Muchas cepas de *Trichoderma* spp., crecen eficientemente en medios sólidos o líquidos y en un amplio rango de temperaturas, además son relativamente tolerantes a humedades bajas y tienden a crecer en suelos ácidos (Robles, 2016). En este sentido, las especies de *Trichoderma* pueden colonizar diversos sustratos bajo distintas condiciones (Nicolás *et al.*, 2014), por su alta capacidad reproductiva (Harman *et al.*, 2004) lo cual le da una distribución tan amplia, aunado a su plasticidad ecológica. Las mejores condiciones de crecimiento para este hongo según Sánchez (2009):

- a) Temperatura: Se desarrolla en un rango de 15-35 °C, siendo la óptima de 25 °C.
- b) Humedad relativa: Capaz de crecer entre el 20 y 80% siendo de 70% la mejor.
- c) pH: De 6 a 6.5, es el adecuado para su desarrollo pero puede sobrevivir en rangos mayores, debido a la capacidad que tiene de acidificar el medio en el se encuentra, mediante secreción de ácidos orgánicos.
- d) Carbono: La principal fuente de carbono que asimila es celulosa.

2.9.1 Mecanismos de Acción

El género *Trichoderma* presenta diversos mecanismos de acción que le permiten el control de los fitopatógenos. Entre estos mecanismos se encuentran: competencia por el sustrato, micoparasitismo, solubilización de nutrientes inorgánicos de la planta, antibiosis, desactivación de enzimas del patógeno involucradas en el proceso de infección, además de mejorar el crecimiento vegetativo y desarrollo de las raíces al hacer más disponibles los nutrientes a la planta (Harman 2000; Howell, 2003; Benítez *et al.*, 2004; Vinale *et al.*, 2004; Shoresn *et al.*, 2005; Lara y Ferrera-Cerrato, 2007; Infante *et al.*, 2009; Romero *et al.*, 2009; Victoria *et al.*, 2015). Mientras mayor sea la probabilidad de que un aislamiento de *Trichoderma* spp., manifieste varios modos de acción; más eficiente y duradero será el control sobre el patógeno, lo anterior, son aspectos que no poseen los plaguicidas químicos (Infante *et al.*, 2009).

2.9.2 Antibiosis

La antibiosis es una interacción biológica, consiste en la imposibilidad de organismos de vivir en la inmediación de otros, usando estructuras denominadas apresorios, que liberan enzimas (glucanasas, citobiosis y quitinasas) o antibióticos (viridina, gliotoxina o peptaiboles) [Howell *et al.*, 1993; Mukherjee *et al.*, 2006]. Lino (2014), menciona que la antibiosis ocurre durante la interacción de los compuestos difusibles de bajo peso molecular o antibióticos producidos por cepas de *Trichoderma* spp. que inhiben el crecimiento de otros microorganismos; es decir, existe una interacción positiva con la planta huésped, la cual se relaciona con la capacidad del hongo para parasitar a hongos patógenos (Zachow *et al.*, 2016), dado lo anterior las especies del género *Tricoderma* se destacan entre las más utilizadas para el biocontrol de patógenos fúngicos del suelo (Amaro *et al.*, 2015).

2.9.3 Micoparasitismo

El micoparasitismo es definido como una simbiosis antagónica entre organismos (Martínez *et al.*, 2008) o bien, como un proceso complejo en la interacción antagonista-

patógeno, el cual ocurre en cuatro etapas: crecimiento quimiotrófico, reconocimiento, adhesión o enrollamiento y actividad lítica (Harman, 2000).

Cuando un hongo micoparasítico ataca directamente a un hongo fitopatógeno (hospedero) en un sistema biótico, este es considerado como micoparásito (Ochoa, 2002), de acuerdo a su utilización de nutrientes. Barnett y Binder (1973), clasifican el micoparasitismo en dos grupos, en necrotróficos y biotróficos. Los micoparásitos necrotróficos o destructivos matan a la células del hospedero a menudo antes del contacto y de la penetración y absorben los nutrientes mientras que los biotróficos o balanceados tienen un contacto persistente con ocupación de las células vivas. De ahí que los micoparásitos necrófitos adquieren nutrientes de los huéspedes en formas menos controladas que los biotróficos y son por lo tanto más destructivos y tienen amplios rangos de huéspedes como se observa en especies de *Trichoderma* (Van Gelderen, 2009).

El micoparasitismo por *Trichoderma* spp., como un modo de interacción antagónico, se inicia al ser envueltas las hifas del hospedante por las especies de *Trichoderma* y formar apresorios relacionados con la penetración en la célula del primero, las paredes celulares son degradadas por enzimas dependientes del aislamiento y culmina con la pérdida del contenido citoplasmático de la célula hospedante (Sandoval y López, 2002; Ezziyyani M, *et al.*, 2004). Es decir, según Martínez *et al.* (2013) las enzimas desempeñan una función esencial durante el proceso de micoparasitismo, ya que la penetración de la hifa de *Trichoderma* en su hospedante está regida por la maquinaria enzimática de este antagonista y, depende más del aislamiento y del hospedante, que de la propia especie del bio regulador. Así mismo, estudios por Landero *et al.* (2015) han demostrado que *Trichoderma* spp., secreta grandes enzimas de lisis, tales como celulasas, quitinasas y glucanasas.

2.9.4 Mercado, Generalidades y Propuesta Innovadora de Bio-fungicida

En la actualidad la necesidad por Agroquímicos de origen químico se encuentra al alza, debido a un eminente crecimiento poblacional que precisará a la producción de alimentos para solventar las necesidades alimenticias de la sociedad, sin ver las afectaciones hacia el

medio ambiente y la salud. Desde hace varios años, el empleo de bacterias y hongos han sido incorporados a las buenas prácticas agrícolas, encaminadas principalmente a la producción de alimentos sanos, libres de fertilizantes y funguicidas de origen sintético. Por tal motivo los productos en base a *Trichoderma* spp., se han multiplicado en los últimos años, existiendo alrededor de 60 productos a nivel mundial, como: BIOBEN, fungicida biológico de uso agrícola de forma farmacéutica: polvo humectable, NATU CONTROL *Trichoderma harzianum*, fungicida biológico de uso agrícola, forma farmacéutica: polvo humectable, PHC fungicida biológico a base de *Trichoderma harzianum* cepa T-22, forma Farmacéutica polvo soluble, TRICHO-SIN WP. *Trichoderma harzianum*, forma farmacéutica, polvo humectable, BACTIVA, bacterias benéficas y *T. harzianum*, de forma farmacéutica polvo humectable. Sin embargo, la mayoría de los biofungicidas actuales presentan limitantes en la viabilidad y concentración óptima de conidios, además se desconoce el potencial que pueden tener las cepas nativas. Por este motivo el siguiente trabajo promueve la innovación de biopreparados que garanticen la eficacia presentada por los fungicidas químicos y biofungicidas existentes, esto mediante el uso de cepas nativas de *Trichoderma* spp., para el control biológico de *P. capsici*, garantizando su efecto de acción antagonico que aunado a una formulación correcta como lo es el uso de alga marina *Porphyra umbilicales* R, como preservador de conidios evitando el secado de estos mediante un efecto osmorregulador sobre, evitando su desecación, además de presentar de 400 a 636 mg de potasio, 272 mg de magnesio, de 6.2 de proteínas y 16% de fibra dietética, que al igual que el almidon de maíz, que también brinda compuestos importantes para el desarrollo de *Trichoderma* spp., y la zeolita por medio de sus estructuras cristalinas poliedricas con dimensiones cercanas a 4 μm y le brindan soporte a los racimos de esporas con forma esferica aproximadamente de 2.5 μm , gracias a esta formulación se obtuvo una concentración de 83×10^4 con/mL con un 98% de viabilidad, estos resultados demuestran la factibilidad del uso de alga marina (*Porphyra umbilicales* R.) como preservante para la formulación de biopreparados hidratables a base de *Trichoderma* en polvo con un tiempo de vida en anaquel de 90 días.

CAPÍTULO III

III. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

3.1 Hipótesis

La formulación de los biopreparados a base de alga marina (*Porphyra umbilicales* R) con cepas nativas de *Trichoderma* spp., obtendrá características preservantes, conservando la mayor concentración de conidios viables a 180 días de almacenamiento a una temperatura de 18 °C, además de inhibir la incidencia y severidad de *Phytophthora capsici* en el cultivo de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en invernadero, reduciendo los costos de inversión.

3.2 Objetivos

3.2.1 Objetivo general

Evaluación y caracterización de cepas nativas de *Trichoderma* spp., en sustratos inertes a base de zeolita, alga marina deshidratada (*Porphyra umbilicales* R) y fécula de maíz, para el control biológico de *Phytophthora capsici* con origen en suelo, en el cultivo de jitomate.

3.2.2 Objetivos Particulares

a) Caracterizar de los biopreparados de cepas de *T. harzianum*, *viride*, *atroviride* y multiesporado en sustratos inertes a base de zeolita para determinar vida de anaquel a los 3 y 12 meses de almacenamiento.

b) Evaluar del biopreparado a base de alga marina (*Porphyra umbilicales* R) + fécula de maíz y zeolita utilizando las cepas de *T. harzianum*, *viride*, *atroviride* y multiesporado, en el cultivo de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo invernadero en la comunidad de San Bernardino Tepenene en el Municipio de San Juan Tzicatlacoyan perteneciente al Estado de Puebla.

c) Comparar dos sistemas de producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en invernadero en la comunidad de San Bernardino Tepenene en el Municipio de San Juan Tzicatlacoyan, Puebla en base al análisis financiero de los costos de producción convencional y orgánico.

CAPÍTULO IV

IV. METODOLOGÍA

La necesidad de creación de nuevas tecnologías sustentables, las cuales contribuyan a resolver distintas problemáticas siempre han constituido un tema de primera importancia para los grupos de investigación de las universidades en este rubro la BUAP (MASAGRO), le ha prestado sumo interés a estas temáticas; tal es el caso del presente trabajo de estudio, el cual propone un mejoramiento de la tecnología alternativa ya existente para el control de *Phytophthora capsici* mediante la formulación de un biofungicida a base de cepas nativas de *Trichoderma* spp., el cual al ser conservado en formulaciones adecuadas garantiza su viabilidad, capacidad de desarrollo y vida de almacenamiento, de esta forma se promueve una nueva alternativa para el manejo de los agroecosistemas, reduciendo los altos costos económicos, ecológicos y sociales. Para la realización de la presente investigación, se describen los componentes principales para la producción sustentable de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en condiciones de invernadero en la comunidad de San Bernardino Tepenene en el Municipio de San Juan Tzicatlacoyan-Puebla, dentro de las siguientes líneas estratégicas:

4.1 Área de Estudio

El trabajo de campo se realizó en la comunidad de San Bernardino Tepenene en el Municipio de San Juan Tzicatlacoyan-Puebla, México, el Municipio de Tzicatlacoyan se localiza en la parte central del estado de Puebla, sus coordenadas geográficas son: los paralelos 18° 44' 30" y 18° 54' 12" de latitud norte, y los meridianos 97° 54' 54" y 97° 07' 54" de longitud oeste. La localidad se encuentra a una mediana altura de 2,120 metros sobre el nivel del mar, presenta una población de 713 personas, de cuales 358 son hombres y 355 mujeres. Presenta un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, con una precipitación anual de 600 mm y una temperatura media de 16 a 22 °C. Tiene una superficie de 279.11 Km² que lo ubica en el lugar 75 con respecto a los demás municipios del estado. Cuenta una gran diversidad de vegetación; desde vegetación secundaria arbustiva y selva baja caducifolia y matorral desértico rosetófilo asociado a crasirosurifolios (INEGI, 2009; Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México, 2016).

4.2 Tecnológica

Trichoderma es un género de hongos filamentosos, antagonistas de muchos hongos fitopatógenos que viven en asociación con numerosas plantas, entran en contacto con las raíces y las cubren con su micelio formando una barrera que las protege de la actividad de algunos hongos patógenos, esta barrera avanza a medida que las raíces crecen. Se alimentan de exudados radicales y de los desechos que se producen; por su parte, favorecen la solubilización de diferentes nutrientes como el fósforo que pasan a disposición de la planta. No se ha observado que se desarrollen sobre las plantas vivas ni como endofitos de ellas. Su modo de acción es complejo y comprende quimiotaxis, antibiosis y parasitismo. Parece ser que la primera interacción entre el parásito y el hospedante es un desarrollo quimiotrópico; las hifas del parásito se dirigen hacia el hospedante respondiendo a la secreción de lectinas. Es posible que las lectinas se combinen con residuos de galactosa de las paredes celulares de *Trichoderma* y éste identifique a su presa. Las enzimas hidrolíticas, quitinasas, b-1,3-glucanasas y proteinasas segregadas por los *Trichoderma* spp., que desintegran las paredes celulares de las hifas y esclerocios del hongo patógeno hasta causarle la muerte. También se han identificado varios antibióticos volátiles y no volátiles, como: diterpenos, butenolidas, furanonas, piridonas, etc. El agente patógeno pasa a ser alimento de la microflora del suelo; el desarrollo del sistema radical se ve favorecido con lo que su desarrollo supera al que sería normal. Estas quitinasas actúan en medio ácido de forma que no afectan a la cutícula de los insectos, en particular de las abejas; tampoco afectan a las aves, mamíferos, peces o plantas. Del género *Trichoderma* se utilizan las especies: *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma viridae* y *Trichoderma atroviridae*, así como su interacción entre ellas. Cabe mencionar que en esta propuesta las cepas nativas de *Trichoderma* Rifai fueron recolectada del municipio de Tetela de Ocampo e identificada en el Centro de Detección Molecular de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

4.3 Económica

La línea económica se basó principalmente en la disminución de costos de producción de jitomate, esto al reducir la inversión destinada para el control de *Phytophthora capsici*, al sustituir los costosos productos químicos por el biofungicida producido en este trabajo de investigación, el cual, es de un bajo costo apoyando de esta manera a la economía del productor, además de que

este cambio tecnológico promueve un crecimiento en cuanto al autoempleo de la unidad de producción familiar; ya que este manejo necesita de más mano, de obra promoviendo con esto una reconversión del agroecosistema hacia la sustentabilidad al incidir en lo ecológico, social y económico.

Los resultados de la tesis se encuentran estructurados en los capítulos seis a ocho. En el capítulo seis se evaluaron las diferentes formulaciones en cuestión de la vida útil de las diferentes cepas nativas de *Trichoderma* spp., la cual se encuentra ligada por diversos factores, entre los que destacan las características de la cepa, la temperatura, el método de producción y el tipo de formulación, por lo cual los estudios se basan en la evaluación de las características del biopreparado a través del tiempo. En el capítulo siete se evaluaron las diferentes cepas nativas aplicadas a la mejor formulación siendo probadas en el cultivo de jitomate bajo invernadero, tomando en cuenta su eficacia por medio del rendimiento en kilogramos de cada uno de los tratamientos en evaluación. En el capítulo ocho, se realizó un análisis comparativo de rentabilidad económica entre un sistema de producción convencional de jitomate en invernadero extrapolado a 1 000 m², es decir aquel que ocupa en su manejo todo tipo de agroquímicos, contra un sistema de producción de jitomate con manejo orgánico no certificado en invernadero.

CAPÍTULO V

V. RESULTADOS

Efecto de la formulación de alga marina (*Porphyra umbilicales* R.) en biopreparados a base de *Trichoderma harzianum* Rifai

5.1 Resumen

El uso del control biológico para disminuir la incidencia de enfermedades con origen del suelo es una técnica alternativa al uso de fungicidas sintéticos. Entre los agentes más importantes, se encuentran los hongos pertenecientes al género *Trichoderma*, que son capaces de controlar un amplio número de fitopatógenos en plantas de interés agrícola. Sin embargo, la producción de biofungicidas presentan limitantes en la viabilidad y concentración óptima de conidios, además se desconoce el potencial que pueden tener las cepas nativas. En la presente investigación, se elaboró un fungicida biológico hidratable a base del hongo *Trichoderma harzianum* Rifai para evaluar la viabilidad y capacidad de germinación de conidios de 90 días de almacenamiento a 18 °C. Los 4 biopreparados se obtuvieron de compuestos orgánicos e inorgánicos, más una cepa colectada en el estado de Puebla-México, procedente de un suelo erosionado del municipio de Tetela de Ocampo. La formulación a base de alga marina, almidón de maíz, zeolita y conidios de la cepa TH-CA1, obtuvo una concentración de 83×10^4 con/mL con un 98% de viabilidad, la menor viabilidad de conidios se obtuvo en el biopreparado a base de zeolita, donde se observó a través de una Microfotografía (3000X) una gran cantidad de conidios amorfos y colapsados. Estos resultados demuestran la factibilidad del uso de alga marina (*Porphyra umbilicales* R.) como preservante para la formulación de biopreparados hidratables a base de *Trichoderma harzianum* en polvo.

Palabras clave: *Trichoderma harzianum*, cepa nativa, concentración de conidios y microfotografía.

5.2 Abstract

The use of biological control to reduce the incidence of diseases originated in soil is an alternative technique to using synthetic fungicides. Among the most important agents are fungi of

the genus *Trichoderma*, which are able to control a large number of phytopathogens in plants of agricultural interest. However, the productions of biofungicides have restrictions on the viability and optimal concentration of conidia, as well the potential that may have native strains is unknown. In the current investigation, a hydratable biological fungicide was developed based on the fungus *Trichoderma harzianum* Rifai to assess the viability and germination capacity of conidia with 90 days of storage at 18 °C. The 4 biopreparations were obtained from organic and inorganic compounds, plus a native strain of Puebla-Mexico, from an eroded soil of the municipality of Tetela de Ocampo. The formulation based on seaweed, corn starch, zeolite and conidia of the TH-CA1 strain, obtained a concentration of 83×10^4 / mL with 98% viability, reduced viability of conidia was obtained based on zeolite biopreparation, which was observed through a microphotograph (3000 X) a lot of amorphous and collapsed conidia. These results demonstrate the feasibility of using seaweed (*Porphyra umbilical* R.) as a preservative in the formulation of hydratable biopreparations *Trichoderma harzianum* based powder.

Key words: *Trichoderma harzianum*, native strain, concentration of conidia and microphotography.

5.3 Introducción

La necesidad de reducir el uso de fungicidas en el control fitosanitario, hace necesario desarrollar tecnologías que permitan de forma fácil, económica y efectiva obtener productos a partir de microorganismos endogenos con calidad y cantidad suficiente para su aplicación en áreas de cultivo (Santos-Villalobos *et al.*, 2012).

En el suelo existen microorganismos con capacidad antagónica, el más estudiado es *Trichoderma* spp (Howell and Stipanovic 1995). Además, las especies del género *Trichoderma* son los más utilizados a nivel mundial por su ubicuidad, su facilidad para ser aisladas y de presentar crecimiento rápido en un gran número de sustratos (Candela *et al.*, 2007; Verma *et al.*, 2007).

En los últimos 10 años se han realizado trabajos de investigación, en los cuales se ha aislado, seleccionado y evaluado especies nativas de *Trichoderma* spp., con potencial para establecer un control biológico frente a diversas enfermedades, lo cual; ha propuesto diversos mecanismos de innovación para la implementación de este hongo con resultados satisfactorios (Cook and Baker

1989; Chet *et al.*, 1998; Sandoval and Noelting, 2011). Estos mecanismos de acción pueden actuar de manera sinérgica sobre diversos fitopatógenos como *Septoria triticii* en trigo, *Sclerotinia sclerotiorum* en soya y lechuga, *Rhizoctonia solani* en soya, *Sclerotium rolfsii* en pepino cohombro, *Alternaria alternata* y *Fusarium* spp., en tomate y *Pythium splendens* en frijol (Ghisalberti and Sivasithamparam, 1991; Cotes *et al.*, 1996; Perello *et al.*, 1997; Soglio *et al.*, 1998; Harman *et al.*, 2004; Roco and Pérez, 2011).

Los mecanismos por los que las cepas del género *Trichoderma* desplazan al fitopatógeno son fundamentalmente de tres tipos: a) Competición directa por el espacio o por los nutrientes (Eland and Baker, 1985; Eland and Chet, 1987; Chet and Ibar 1994; Belanger *et al.*, 1995), b) Producción de metabolitos antibióticos, ya sean de naturaleza volátil o no volátil (Chet *et al.*, 1997; Sid *et al.*, 2000; Sid *et al.*, 2003) y c) parasitismo directo de algunas especies de *Trichoderma* spp; (Yedidia *et al.*, 1999; Ezziyyani *et al.*, 2003).

Las especies de *Trichoderma harzianum* Rifai actúan como hiperparásitos competitivos que producen metabolitos antifúngicos y enzimas hidrolíticas a los que se les atribuyen los cambios estructurales a nivel celular, tales como vacuolización, granulación, desintegración del citoplasma y lisis celular, encontrados en los organismos con los que interactúa. De ahí, esta especie es la más usada en la agricultura para el control de enfermedades fúngicas, así como bioestimulantes en plantas (Harman *et al.*, 2004; Lorito, 2006; Martínez, 2007).

Para la utilización de *T. harzianum*, como agente de control biológico, es necesario desarrollar sistemas de producción y formulación masiva que permitan mayor o igual eficacia que los productos químicos, siendo uno de los requisitos para la aceptación y comercialización de un producto biológico, además desarrollar formulaciones que garanticen su viabilidad, capacidad de desarrollo y almacenamiento (Butt *et al.*, 2001). Los productos a base de microorganismos biocontroladores presentan una vida útil corta y se ve afectada por diversos factores, entre los que destacan las características de la cepa, la temperatura, el método de producción y el tipo de formulación, estos estudios se basan en la evaluación de las características del biopreparado a través del tiempo (Branch, 2005). En este sentido se eligió como preservador de conidios a *Porphyra umbilicales* R, donde las características que más llaman la atención de esta variedad de alga marina, es su pequeño tamaño y su gran cantidad de pliegues, además de presentar de 400 a 636 mg de potasio, 272 mg de magnesio, de 6.2 de proteínas y 16% de fibra dietética,

compuestos importantes para el desarrollo de microorganismos (Fajardo, 1998).

Con estos antecedentes y dada la necesidad de contar con un bioproducto adecuado para el control de enfermedades con origen en suelo, se realizó el presente estudio con el objetivo de evaluar la producción masiva de *T. harzianum* Rifai en cuatro biopreparados y determinar el efecto de la formulación sobre la estabilidad de los conidios mediante la estimación de la vida útil a los 90 días de almacenamiento a 18 °C.

5.4 Materiales y Métodos

5.4.1 Cepa

Se utilizó la cepa nativa TH-CA1 de *T. harzianum* Rifai, la cual pertenece al cepario del Centro de Recursos Genéticos del Centro de Agroecología del Instituto de Ciencias de la BUAP y se encuentran mantenida en medio de cultivo PDA (Agar Papa Dextrosa)

5.4.2 Tasa de Desarrollo y Velocidad de Crecimiento

La tasa de desarrollo y velocidad de crecimiento de la cepas de *TH-CA1* se determino en cajas de Petri (4.5 cm de diámetro) en medio de cultivo (PDA), se incubaron a temperatura ambiente durante 7 días, se midió la velocidad de crecimiento cada 24 h hasta la culminación de la colonización total de la cepa, se registraron las características morfológicas macroscópicas de las colonias en cuanto a textura, densidad, micelio aéreo y color. La tasa de desarrollo y velocidad de crecimiento se determinaron utilizando la siguiente fórmula: $TD = \frac{VCF - VCI}{\text{No. de días}}$ (Romero *et al.*, 2012).

5.4.3 Preparación Masiva de la cepa TH-CA1 de *T. harzianum* Rifai

El medio de cultivo empleado para el desarrollo del micelio es agar de papa y dextrosa (PDA, Bioxon), donde se preparó siguiendo las indicaciones del proveedor. Las cajas de Petri se inocularon con rodajas de 5 mm diámetro del medio de cultivo previamente colonizado con la cepa TH-CA1 y se incubaron a 28 °C por 7 días (Romero *et al.*, 2013). Se prepararon inóculos (matrices) a través de fermentación sólida en 2.5 Kg de grano de trigo y 2.5 Kg maíz quebrado, se incubaron a 25 °C durante 20 días.

5.4.4 Preparación de Biopreparados a base de *T. harzianum*

Se prepararon 4 formulaciones de 60 g (tabla 3), utilizando 2 compuestos orgánicos como preservantes (almidón de maíz y alga marina) y un ingrediente inerte como soporte (zeolita). Se envasó al alto vacío en bolsas de aluminio con capacidad de 100 g y se conservaron por 90 días en condiciones de obscuridad a 18 °C.

Tabla 3. Formulación de biopreparados a base de conidios de *T. harzianum*.

Clave	Zeolita	Almidón de maíz	Alga marina <i>P. umbilicales</i> R.	Conidios de <i>T. harzianum</i>	Total
	(		- g -	)	
Th-Z	50			10	60
Th-ZFM	25	25		10	60
Th-ZFMAM	25	12.5	12.5	10	60
Th-FMAM		25	25	10	60

Leal, 2016.

5.4.5 Preparación de Suspensiones y Viabilidad de Conidios

Se tomaron preparaciones de 4 biopreparados de 90 días de preparación a 18 °C, posteriormente se agregaron 10 mL de agua destilada estéril (ADE) para suspender y remover 1 g del tratamiento. Después de 15 minutos se realizó la recuperación y aforación de la mezcla a 10 mL en una probeta graduada, de esta forma quedó preparada la suspensión madre; de la cual, se tomó un 1 mL y se depositó en tubos de ensayo con 9 mL de ADE, quedando de esta manera preparada la dilución 10^{-1} ; se repitió el procedimiento llevando 1 mL de esta dilución (10^{-1}) a tubos con 9 mL de ADE, hasta obtener una dilución de 10-10 (Benítez, 2002; Romero *et al.*, 2014). A partir de las diluciones que se realizaron anteriormente, se determinó la concentración de conidios de cada uno de los biopreparados, tomando una muestra de 60 µL con una micropipeta y visualizándola en la cámara de Neubauer (Marienfeld, Alemania) y un microscopio compuesto (Leica Inc., USA), se observó al microscopio a 10 y 40x. El proceso de recuento de conidios, se realizó tres veces con la siguiente fórmula: Esporas Totales = No. de esporas / 8×10^4 .

Para la evaluación de la germinación de conidios se siguió la metodología de Marín y Bustillo (2012), donde se colocaron cinco puntos con una suspensión de 1×10^4 conidios/mL en cajas de Petri (100 x 15 mm) con PDA. Se observaron 100 conidios y se registró el número de conidios germinados de los cinco puntos y este valor representó directamente la tasa de germinación en porcentaje de una unidad experimental.

Los datos obtenidos se procesaron en el paquete estadístico SPSS Statistics versión 17 (Statistical Package for the Social Sciences) para realizar el análisis de varianza (ANOVA) y posteriormente se aplicó la prueba de comparación múltiples de Tukey ($p < 0.05$), para determinar diferencias entre los tratamientos.

5.5 Resultados y Discusión

5.5.1 Tasa de Desarrollo y Velocidad de Crecimiento

La tasa de desarrollo (TD) de la cepa de *T. harzianum* fue de 12.78 mm/día (tabla 4), los valores observados en el presente trabajo son similares a los encontrados por Romero *et al.* (2012) quien al evaluar la cepa de *T. viride* sobre PDA a 28 °C, registró un TD de 11.30 mm/día. Por su parte, Michel *et al.* (2013) reporta valores de crecimiento micelial de 27.5 mm/día, para aislamientos de *Trichoderma* spp., los cuales son superiores a los encontrados en el presente estudio.

Tabla 4. Características macroscópicas de la cepa de *T. harzianum* en medio PDA.

Características macroscópicas de las colonias de cepas de <i>T. harzianum</i>							
Medio de Cultivo	Clave	Textura	Densidad	Micelio aéreo	Color	Crecimiento radial (cm/día)	Tasa de desarrollo (mm/día)
PDA	TH-CA1	Algodonosa	Abundante	Abundante	Verde oscuro	1.82	12.78

Leal, 2016.

5.5.2 Viabilidad y Germinación de Conidios de *T. harzianum* en biopreparados

Los biopreparados en polvo a base de alga marina de 3 meses de almacenamiento, mostraron germinaciones superiores al 90% en conidios, valores que se encontraron dentro de lo establecido por algunos estándares nacionales e internacionales de calidad que sugieren dicha viabilidad como límite mínimo de aceptación para este tipo de bioplaguicidas (Jenkins and Grzywacz, 2000). Sin embargo, las formulaciones a base de zeolita y almidón de maíz presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el porcentaje de concentración de conidios, además se vio afectada la viabilidad de germinación, presentando una relación lineal entre el logaritmo natural del número de esporas y la viabilidad de germinación (fig.1). El alga marina presentó un efecto protector en las formulaciones para la elaboración de biopreparados sobre los conidios, posiblemente relacionado con los componentes empleados, en este sentido; los biopreparados con alga marina (fig. 2) presentan cualidades protectoras al secado y compuestos que tienen un efecto osmorregulador sobre *T. harzianum*. Varios autores han evidenciado este efecto positivo de las formulaciones, por ejemplo: Melin *et al.* (2006) Evaluaron la viabilidad y la concentración de formulados líquidos a base de la levadura *Pichia anomala*, almacenados a diferentes temperaturas y a los cuales se les incorporaron sustancias protectoras de la desecación.

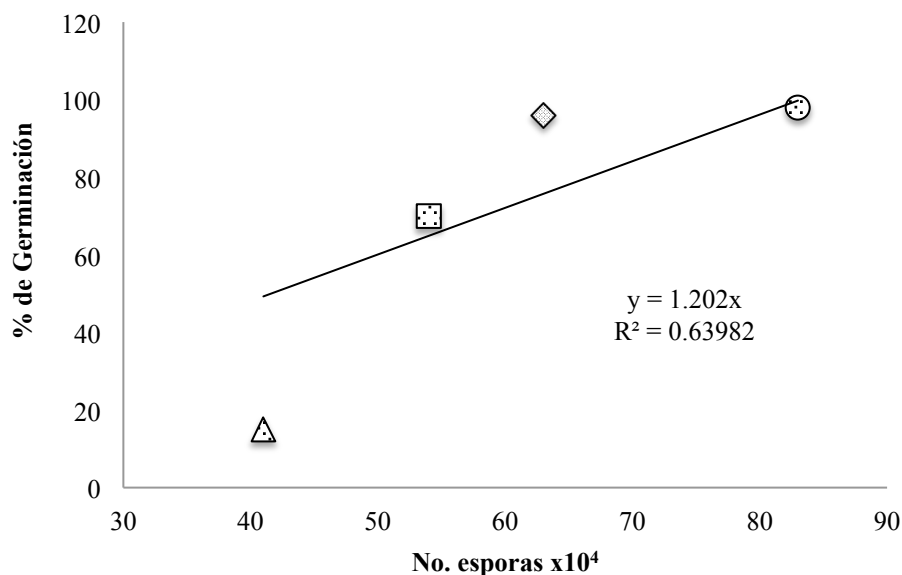


Figura 1. Relación entre el logaritmo natural del número de esporas de las cepas de *T. harzianum* y % de germinación. ○= Th-ZFMAM, ◊= Th-FMAM, ◻= Th-ZFM, Δ= Th-Z.

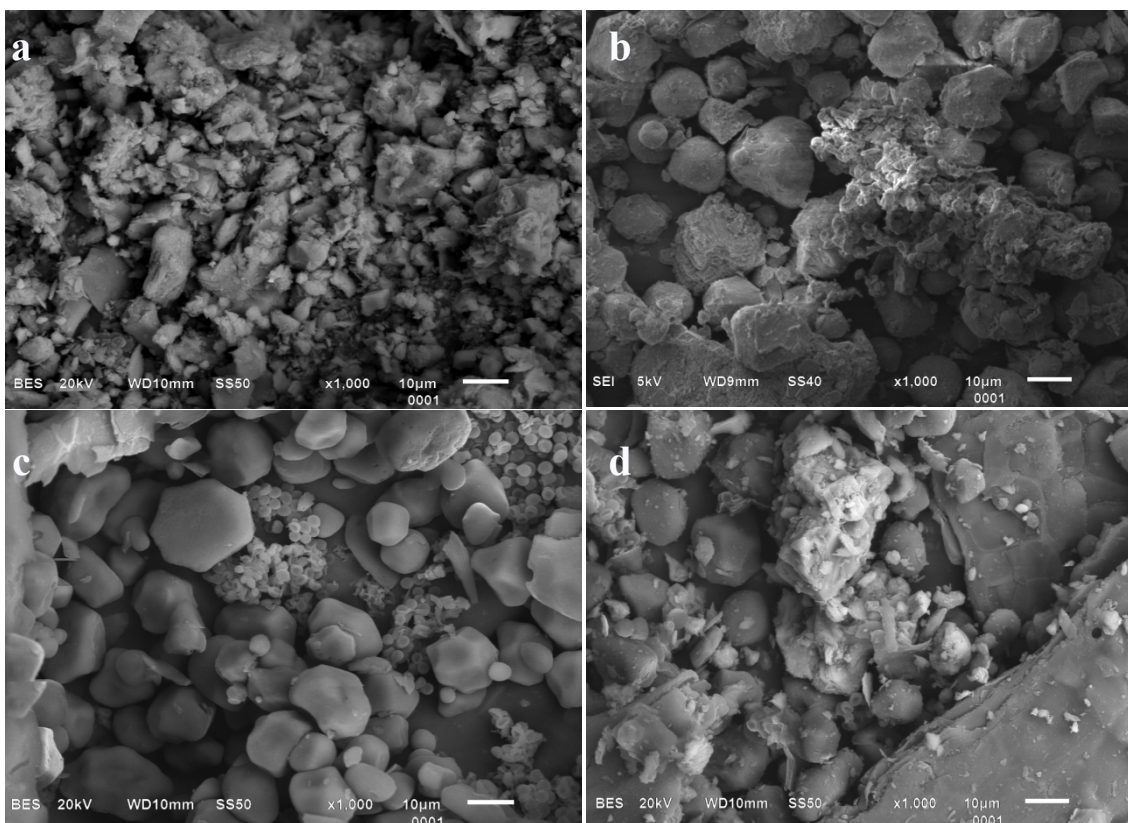


Figura 2. Microfotografía (1000X) de 4 biopreparado: a) Th-Z=Zeolita 90% + Conidios 10%; b) Th-ZFM= Zeolita 45% + Almidón de maíz 45% + Conidios 10%; c) Th-ZFMAM = Zeolita 45% + Almidón de maíz 22.5% + Alga marina 22.5% + Conidios 10%; d) Th-FMAM= Almidón de maíz 45% + Alga marina 45% + Conidios 10%, donde se pueden observar conidios de *T. harzianum* bien definidos (c), además se visualiza estructuras poliédrica del Almidón de maíz en la figura c y d, y el Alga marina.

Mediante el conteo directo en cámara Neubauer, se determinó la concentración de conidios de cada uno de los biopreparados utilizados, observando diferencias significativa ($p < 0.05$). La mayor concentración de conidios se obtuvo en Th-ZFMAM con 83×10^4 con/mL y Th-FMAM con 63×10^4 con/mL. Las concentraciones más bajas se obtuvieron en Th-ZFM y Th-Z, 54×10^4 y 41×10^4 con/mL respectivamente. Ezziyyani *et al.* (2001) obtuvo un recuento de 32×10^4 conidios / mL, en caldo de arroz al 3%, Otalora *et al.* (2001) reporta una concentración de 1.9×10^8 conidios / mL en polvo de arroz puro, mientras que Romero *et al.* (2013) alcanzó un concentración de 74.37×10^4 / mL en grano de trigo estéril. Los rangos del porcentaje de viabilidad son muy heterogéneos entre las diferentes formulaciones, ya que la diferencia entre el mayor fue de 83 % con respecto al menor 15 % de viabilidad (tabla 5).

Tabla 5. Características microscópicas de la cepa de *T. harzianum* en medio PDA.

Formulación	Clave	Características microscópicas de las colonias de cepas de <i>T. harzianum</i>			
		% PEx10 ⁴ /g *		% Viabilidad *	
Zeolita 90% + Conidios 10%	Th-Z	41	c	15	c
Zeolita 45% + Almidón de maíz 45% + Conidios 10%	Th-ZFM	54	bc	70	b
Zeolita 45% + Almidón de maíz 22.5% + Alga marina 22.5% + Conidios 10%	Th-ZFMAM	83	a	98	a
Almidón de maíz 45% + Alga marina 45% + Conidios 10%	Th-FMAM	63	b	96	a

Leal, 2016.

* Medias con letras diferentes en la columna indican diferencias significativas con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

La microscopía electrónica de barrido (MEB) muestra la conformación estructural de los biopreparados obtenidos a base de zeolita, alga marina, almidón de maíz y *T. harzianum*. La micrografía obtenida fue ampliada a 30,000 veces respecto a su tamaño original observando en la formulación Th-Z cristales poliédricos que poseen dimensiones cercanas a 4 μm y racimos de esporas con forma esférica aproximadamente de 2.5 μm , que se reducen al presentar daño mecánico o por desecación (fig. 3), en cambio el tratamiento Th-ZFM presenta granulos de almidón de maíz de forma poliédrica y un tamaño aproximado de 8 a 10 μm , estas características son similares a las reportadas por Tester y Karkalas (2002) y Singh *et al.* (2003) donde se muestra menor daño en los conidios de *T. harzianum* (fig. 4).

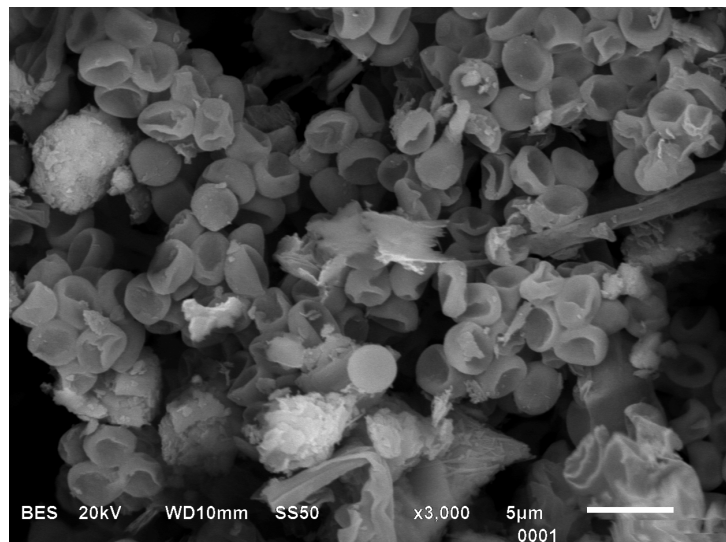


Figura 3. Microfotografía (3000X) de biopreparado a base de zeolita 90% y conidios 10% de *T. harzianum*, mostrando un gran número de esporas colapsadas.

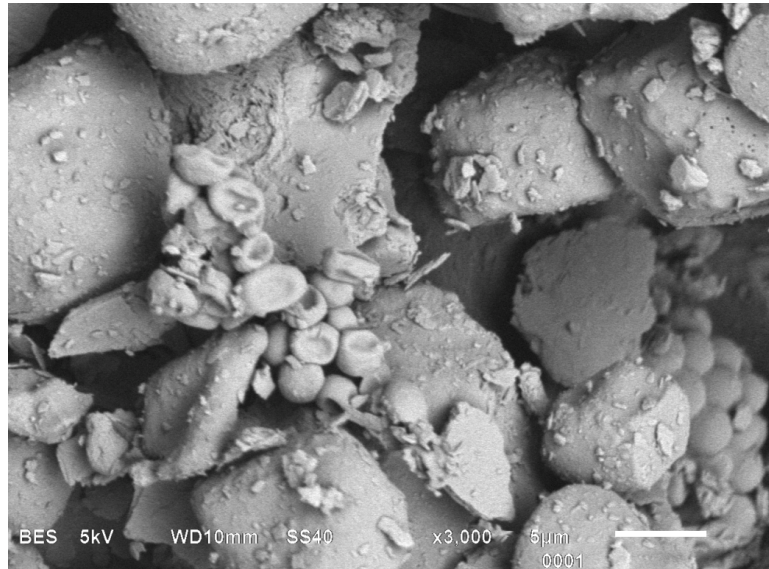


Figura 4. Microfotografía (3000X) de biopreparado a base Zeolita 45% + Almidón de maíz 45% + Conidios 10% de *T. harzianum*, mostrando menor daño en los conidios.

En los biopreparados a base de alga marina Th-FMAM y Th-ZFMAM (fig. 5,6), se observan racimos de esporas con forma esférica de aproximadamente 2 a 2.5 μm , donde presentaron menor daño mecánico o por desecación, además cabe señalar que obtuvieron el mayor índice de viabilidad en la germinación a los 30 días de su almacenamiento a 18 °C.

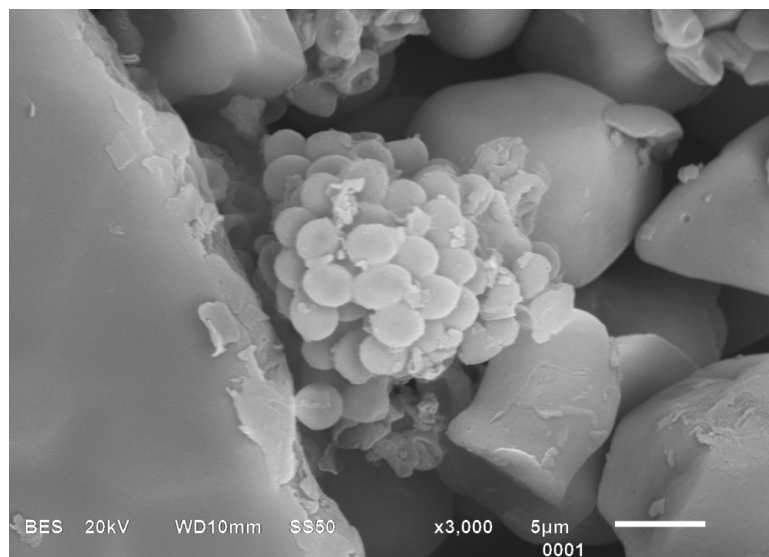


Figura 5. Microfotografía (3000X) de biopreparado a base de Zeolita 45% + Almidon de maíz 22.5 + Alga marina 22.5% + Conidios 10% *T. harzianum*, mostrando una gran cantidad de conidios viables.

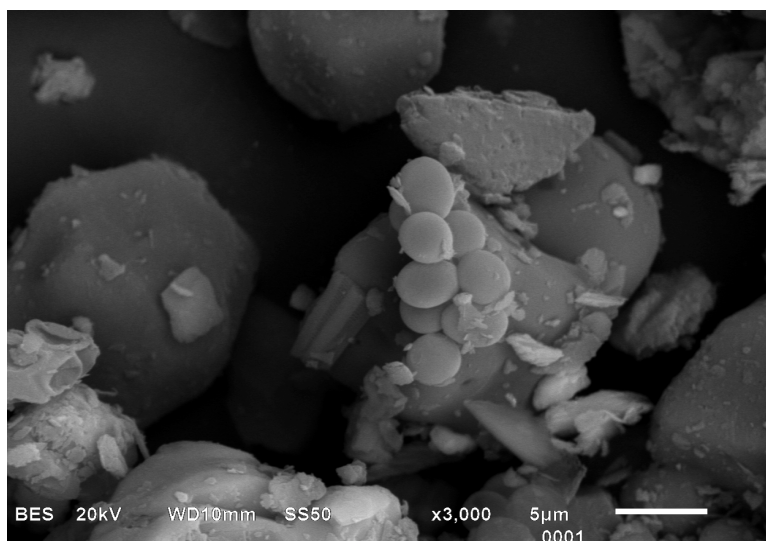


Figura 6. Microfotografía (3000X) de biopreparado a base de Almidón de maíz 45% + Alga marina 45% + *T. harzianum*, mostrando una gran cantidad de conidios viables.

5.6 Conclusiones

La mayor concentración de conidios se presentó en el biopreparado Th-ZFMAM con 83×10^4 con/mL en medio de cultivo PDA, representando el 98% de viabilidad de estructuras reproductivas de *T. harzianum*, mayor en comparación a las demás formulaciones.

La formulación Th-Z elaborada a base de zeolita y *T. harzianum*, presentó mayor porcentaje de mortalidad y daño estructural de estructuras reproductivas, representando el 15% de viabilidad de conidios a los 90 días de almacenamiento a 18°C .

Estos resultados demuestran la factibilidad del uso de alga marina (*Porphyra umbilicales* R.), para la formulación de biofungicidas utilizando *T. harzianum* como agente antagónico.

5.7 Agradecimientos

Los autores agradecen a la Vicerrectora de Investigación y Estudios de Posgrados de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) y al Centro Universitario de Vinculación y Tránsito de Tecnología-BUAP por los apoyos financieros a este proyecto de investigación.

5.8 Literatura citada

- Belanger, R., Dufuor, N., Caron, J., Benhamou, N. 1995. Chronological events associated with the antagonistic properties of *Trichoderma harzianum* against *Botrytis cinerea*: Indirect evidence for sequential role of antibiotics and parasitism. *Biocontrol Science Technology*. 5: 41-54.
- Benítez, N. 2002. Manual de laboratorio de Microbiología. Dpto. de Biología. Universidad del Valle. Cali, Colombia. 147 p.
- Branch, S. 2005. Guide lines from the International Conference on Harmoni Sation (ICH). *Journal Pharm Biomed Anal*. 38: 798-805.
- Butt, T.M., Jackson, C., Magan, N. Magan. 2001. *Fungi as Biocontrol Agents*: Progress, Problems and Potential. CABI Publishing, Wallingford, United Kingdom. 385 p.
- Candela, ME., Egea-Gilabert, C., Ezziyyani, M., Requena, ME. 2007. Biological control of *Phytophthora* root of pepper using *Trichoderma harzianum* and *Streptomyces rochei* in combination. *Journal of Phytopathology*. 155: 342-349.
- Cook, J. y Baker, K. 1989. The Nature and practice of biological control of plant pathogens. The American Phytopathological Society. II Edition, USA. 539 p.
- Cotes, A., Lepoivre, P., Semal, J. 1996. Correlation between hydrolytic enzyme activities measured in bean seedlings after *Trichoderma koningii* treatment combined with pregermination and the protective effect against *Pythium splendens*. *Europ J Plant Pathol*. 102: 497-506.
- Chet, I., and Ibar, J. 1994. Biological control of fungal patho-gens. *Applied Biochemistry & Biotechnology*. 48: 37-43.
- Chet, I., Benhamou, N., Haran, S. 1998. Mycoparasitism and lytic enzymes. In: *Trichoderma and Gliocladium*. Vol. 2. Harman, G.E., Kubicek, C.P. (Eds.). Tylor y Francis. Inc. Bristol, PA. USA. pp 153-169.
- Chet, I., Ibar, J., Hadar, I. 1997. Fungal antagonists and mycoparasites. In *The Mycota IV: Environmental and Microbial Relationships* (Wicklow, D.T. & Soderstrom, B. Eds.). New York: Springer Verlag. pp. 165-192.
- Dal Soglio, FK., Bertagnolli, BL., Sinclair, JB., Yu, GY., Eastburn, DM. 1998. Production of chitinolytic enzymes and endoglucanase in the soybean rhizosphere in the presence of *Trichoderma harzianum* and *Rhizoctonia solani*. *Biol Control*. 12: 111-117.

- De los Santos-Villalobos, S., Hernández-Rodríguez, L., Villaseñor-Ortega, F., and Peña-Cabriales, J. 2012. Production of *Trichoderma asperellum* (t8a) spores by a “home-made” solid-state fermentation of mango industrial wastes. *BioResources*. 7(4): 4938-4951.
- Elad, Y., Baker, R. 1985. The role of competition for iron and carbon in suppression of chlamidospore germination of *Fusarium* spp by *Pseudomonas* spp. *Phytopathology*. 75(9): 1985-1053.
- Elad, Y., Chet, I. 1987. Possible role of competition for nutrients in biocontrol of *Pythium* damping-off by bacteria. *Phytopathology*. 77: 190-195.
- Ezziyyani, M., Requena, M., Pérez, S., Egea, G., Candela, M. 2003. Mecanismos de biocontrol de la «tristeza» del pimiento (*Capsicum annuum* L.) por microorganismos antagonistas. Actas de la XV Reunión de la Sociedad Española y VIII Congreso Hispano Luso de Fisiología Vegetal.
- Ezziyyani, M., Sid, A., Pérez, C., Candela, E. 2001. Interacción de la planta de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) con *Streptomyces Rochei* Ziyani y su efecto sobre la necrosis en el tallo causado por *Phytophthora capsici*. Actas de la XIV Reunión de la Soc. Española de Fisiología Vegetal y VII Congreso Hispano-Luso de Fisiología Vegetal. Badajoz, España.
- Fajardo, M.A. 1998. Estudio de las algas patagónicas del género *Porphyra* para su aprovechamiento en la alimentación humana. Tesis doctoral. Universidad Nacional de la Patagonia, San Juan Bosco. Chubut, Argentina. 198 p.
- Ghisalberti, E., 1991. Sivasithamparam, K. Antifungal antibiotics produced by *Trichoderma* spp. *Soil Bio Biochem*. 23:1011-1020.
- Harman, G., Howell, C., Viterbo, A., Chet, I., Lorito, M. 2004. *Trichoderma* species opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nat Rev Microbiol*. 2: 43-56.
- Howell, R., Stipanovic, D. 1995. Mechanisms in the biocontrol of *Rhizoctonia solani* induced cotton seedling diseases by *Gliocladium virens*: Antibiosis. *Phytopathology*. 85: 469-472.
- Jenkins, N., Grzywacz, J. 2000. Quality control of fungal and viral biocontrol agents “Assurance of product performance”. *Biocontrol Sci Tech*. 10: 753-77.

- Lorito, M. 2006. The Molecular Biology of the Interactions Between *Trichoderma*, Phytopathogenic Fungi and Plants: Opportunities for Developing Novel Disease Control Methods; Memorias del Taller Latinoamericano Biocontrol de Fitopatógenos con *Trichoderma* y Otros Antagonistas. La Habana, Cuba.
- Marín, P., Bustillo, A.E. 2002. Pruebas microbiológicas y físicoquímicas para el control de calidad de los hongos entomopatógenos. In: Memorias Curso Internacional Teórico Práctico sobre entomopatógenos, parasitoides y otros enemigos naturales de la broca del café. Chinchiná, Colombia. pp 72-89.
- Martínez, L.C. 2007. Estandarización del proceso de producción masiva del hongo *T. koningii* Th003 mediante fermentación bifásica a escala piloto; Tesis de Microbiología Industrial, Facultad de Ciencias. Colombia.
- Melin, P., Hakansson, S., Eberhard, T., Schnurer, J. 2006. Survival of the biocontrol yeast *Pichia anomala* after longterm storage in liquid formulations at different temperatures, assessed by flow cytometry. *J Appl Microb.* 100: 264-271.
- Michel-Aceves, A.C., Otero-Sánchez, M.A., Ariza-Flores, R., Barrios-Ayala, A., Alarcón, N. 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.
- Otalora, A., Martínez, M., Pedroza, A. 2001. Evaluación de medios de cultivo alternos para la producción de *T. harzianum*. Trabajo de grado microbiología industrial. Pontificia Universidad Javeriana. Santa Fé de Bogotá. 153 p.
- Perello, A., Monaco, C., Cordo, C. 1997. Evaluation of *Trichoderma harzianum* and *Gliocladium roseum* in controlling leaf blotch of wheat (*Septoria tritici*) under *in vitro* and greenhouse conditions. *Pflanzenforschung.* 2: 588-598.
- Roco, A., Pérez, L. 2001. In vitro biocontrol activity of *Trichoderma harzianum* on *Alternaria alternata* in the presence of growth regulators. *Electron J Biotechnol.* 4: 68-73.
- Romero-Arenas, O., Damián, H., Hernández, I., Parraguire, L., Aragón, García., Victoria A. 2012. Effect of pH on growth of the mycelium of *Trichoderma viride* and *Pleurotus ostreatus* in solid cultivation mediums. *African Journal of Agricultural Research.* 7(34): 4724-4730.

- Romero-Arenas, O., Rivera, A., Aragón, A., Parraguirre, C., Cabrera, E., López, F. 2014. Mortality Evaluation of Armyworm (*S. frugiperda* J. E. Smith) by using *Metarhizium anisopliae* In vitro. *Journal of Pure & Applied Microbiology*. 8 (Spl. Edn. 2): 59-67.
- Romero-Arenas, O., Tello, I., Damián H., Villareal O., Agustin A., Parraguirre C. 2013. Identification and Evaluation of *Trichoderma* spp Native, Present on eroded soils in Tetela de Ocampo, Puebla-Mexico. *International Research Journal of Biological Sciences*. 2(4): 1-7.
- Sandoval, M., Noelting, Z. 2011. Producción de conidios de *Trichoderma harzianum* rifai en dos medios de multiplicación. *Fitosanidad*. 15(4): 215-221.
- Sid, A., Ezziyyani, M., Pérez, S., Candela, M. 2003. Effect of chitin on biological control activity of *Bacillus* spp and *Trichoderma harzianum* against root rot disease in pepper (*Capsicum annuum*) plants. *European Journal of Plant Pathology*. 109: 418-426.
- Sid, A., Pérez, S., Candela, M. 2000. Evaluation of induction of systemic resistance in pepper plants (*Capsicum annuum*) to *Phytophthora capsici* using *Trichoderma harzianum* and its relation with capsidiol accumulation. *European Journal of Plant Pathology*. 106: 817-824.
- Singh, N., Singh, L., Kaur, N., Singh-Sodhi, Singh-Gill, B. 2003. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chem*. 81: 219-231.
- Singh, N., Singh, L., Kaur, N., Singh-Sodhi, Singh-Gill, B. 2003. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chem*. 81: 219-231.
- Tester, R.F., Karkalas, J. 2002. "Polysaccharides. II. Polysaccharides from eukaryotes," In: Vandamme, E. J., De Baets, S., and Steinbuchel, A. (Eds.), *Starch in Biopolymers*, Wiley-VCH, Weinheim. pp. 381-438.
- Verma, M., Brar, K., Tyagi, R., Surampalli, T., Valero, J. 2007. Antagonistic fungi *Trichoderma* spp. Panoply of biological control. *Biochemical Engineering Journal*. 37: 1-20.
- Yedidia, I., Benhamou, N., Chet, I. 1999. Induction of defence responses in cucumber plants (*Cucumis sativus* L.) by the biocontrol agent *Trichoderma harzianum*. *Applied and Environmental Microbiology*. 65: 1061-1070.

CAPÍTULO VI

Control Biológico de *Phytophthora capsici* en la Producción de Jitomate con Biopreparados de Cepas Nativas de *Trichoderma*

6.1 Resumen

La producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* M.) en invernadero está limitada por la incidencia del oomycete *Phytophthora capsici*, el cual se presenta en raíces, tallos, hojas y frutos, siendo una de las enfermedades más destructivas a nivel mundial. Los Problemas y limitaciones del control de enfermedades fúngicas, mediante el uso de fungicidas hacen que el control biológico de hongos fitopatógenos, se presente como un método de control alternativo; en este sentido el siguiente trabajo de investigación evaluó la influencia de cuatro bio-fungicidas a base de cepas nativas del genero *Trichoderma* contra *P. capsici*, más grupo control en la producción de jitomate variedad Ramses en condiciones de invernadero, el cual tiene una superficie de 1 000 m², la densidad de siembra fue de 4,704 plantas en arreglo de tresbolillo con distanciamiento de 30 cm entre planta y 50 cm entre cama, dando un total de 8 camas de 70 centímetros de ancho y 98 metros de largo. Se usó un diseño de bloques completamente al azar, donde cada cama es un bloque que alberga a los seis tratamientos, cada tratamiento consta de 98 plantas sembradas en 16.33 m² de las cuales se evaluaron 20 unidades experimentales de cada tratamiento dando un total de 160 plantas evaluadas en la comunidad de San Bernardino Tepenene perteneciente al municipio San Juan Tzicatlacoyan en el Estado de Puebla. Los resultados obtenidos de los biopreparados evaluados presentaron un mayor rango de inhibición a *P. capsici* en las variables evaluadas como: incidencia, severidad, porcentaje de mortalidad, supervivencia, altura, grosor de tallo, biomasa seca, producción total por planta y peso promedio de fruto, esto en comparación del testigo. El bio-fungicida a base e *T. harzianum* presento los mejores resultados promedios con una supervivencia de 76.4%, altura de 190.7 cm , grosor de tallo de 1.32 cm, producción de biomasa seca de 0.26 g, peso por fruto de 118 g y un rendimiento promedio de 4.50 Kg por planta, mientras que el tratamiento inoculado con *P. capsici*, presento la mayor incidencia con un 40%, la menor supervivencia de 26.3%, así como una altura de 54.4 cm, y una producción de 0.67 Kg por planta con un peso promedio de fruto de 17.63 g.

Palabras clave: Biopreparados, Invernadero, *Phytophthora capsici*, incidencia y severidad.

6.2 Abstract

The production of tomato (*Lycopersicon esculentum* M.) in the greenhouse is limited by the incidence of *Phytophthora capsici* oomycete, which occurs in roots, stems, leaves and fruit, one of the most destructive diseases worldwide. Problems and limitations of the control of fungal diseases by using fungicides cause the biological control of plant pathogenic fungi, is presented as an alternative control method; in this regard the following research work evaluated the influence of four bio-based fungicides Mexican strains of the genus *Trichoderma*, against *P. capsici* on tomato production ramones variety in the greenhouse, which covers an area of 1 000 m², planting density was 4,704 plants in staggered arrangement with spacing of 30 cm between plants and 50 cm between bed, giving a total of 8 beds 70 centimeters wide and 98 meters long. block design was used completely random, where each bed is a block that houses the six treatments, each treatment consisting of 98 plants sown in 16.33 m² of which 20 experimental units of each treatment were evaluated for a total of 160 plants evaluated in the community of San Bernardino in the municipality he Tepenene in San Juan Tzicatlacoyan in the State of Puebla. The results of the Biopharmaceuticals evaluated showed a wider range of *P. capsici* inhibition in the evaluated variables such as incidence, severity, mortality rate, survival, height, stem thickness, dry biomass, total production per plant and average weight fruit, compared this witness. The bio-fungicide and *T. harzianum* present the best average results with a survival rate of 76.4%, 190.7 cm height, stem thickness of 1.32 cm, production of dry biomass of 0.26 g, fruit weight of 118 g and a yield average of 4.50 Kg per plant, while treatment inoculated with *P. capsici*, had the highest incidence with 40%, the lowest survival of 26.3% and a height of 54.4 cm, and a production of 0.67 Kg per plant an average fruit weight of 17.63 g.

Keywords: Biologicals, Greenhouse, *Phytophthora capsici*, incidence and severity.

6.3 Introducción

La seguridad alimentaria se ve amenazada por la disminución en el rendimiento de los sistemas de producción agrícola, siendo una amenaza recurrente las enfermedades por hongos fitopatógenos de origen en suelo en los cultivos agrícolas (Huerta-Lara *et al.*, 2009). Bautista *et al.* (2010) mencionan que los principales hongos presentes en las hortalizas son: *Pythium* spp, *Fusarium* spp y *Rizhoctonia* spp., además del oomiceto *Phytophthora capsici*, en conjunto atacan

la raíz y tallo induciendo marchitez, pudrición, enanismo, tizones y manchas foliares que provocan disminuciones del 60% del rendimiento hasta la pérdida total de cultivos.

El jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), se cultiva en todo tipo de suelos para uso familiar y comercial (Adekiya y Agbede, 2016); para el año 2013, ocupó el primer lugar con una superficie sembrada total de 4,734 millones de hectáreas y una producción de 163 millones de toneladas (FAOSTAT, 2013). La FAO (2012), indicó que cerca del 80% de la producción se encontró en China, Estados Unidos, India, Egipto, Turquía, Italia, Irán, España, Brasil y México. A la fecha China es el primer productor con 50 millones de toneladas, seguido por India con 18 millones de toneladas, Estados Unidos con 12 millones de toneladas y México se ubica en la décima posición con 3,282 millones de toneladas (FAOSTAT, 2013).

En México, las estadísticas del Sistema de Información Agropecuaria (SIAP, 2014), reportaron que en el año 2014 se sembraron 52,374 mil hectáreas de jitomate con una producción de 2,875.164 toneladas, con un valor de 15.735 millones de pesos. En tanto que datos del Sistema Producto, indicaron que las exportaciones ascendieron a 20 mil millones de pesos, siendo Estados Unidos y Canadá los principales compradores, donde los principales productores fueron Sinaloa con 867,832.04 toneladas, San Luis Potosí con 196,011.25 toneladas y Michoacán con 169,768.98 (SAGARPA 2015).

En esta perspectiva, el cambio tecnológico (cubierta plástica) ha reclamado más mano de obra, por ejemplo: en 1991 para la producción de jitomate a cielo abierto se requerían 122 jornadas de trabajo por hectárea (Zuloaga *et al.*, 1994) y para 2010 fue de 199 jornadas en invernadero, cabe mencionar que en este periodo se redujo la superficie cosechada de jitomate a cielo abierto de 22.5 mil hectáreas (Barrón, 2013). Por lo que Avedaño (2008), menciona que existe una pérdida de competitividad que se asocia a los repetidos brotes epidemiológicos que han provocado el cierre de la frontera, afectando fuertemente a los productores de jitomate. Cabe destacar que en México, el uso de tecnologías como el invernadero y micro túnel contrarrestan las tendencias negativas en el cultivo del jitomate (Sánchez del Castillo *et al.*, 2009; Galindo, 2015). La producción de jitomate bajo condiciones de invernadero durante el año 2014, representó el 26.2% nacional, con rendimientos promedios de 171.82 toneladas por hectárea, donde el Estado de Puebla ocupó el decimocuarto lugar con un rendimiento promedio de 75,219.09 toneladas de jitomate por hectárea (SIAP, 2014).

La producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* M.) en invernadero está limitada por la enfermedad conocida como pudrición basal del tallo o maya, causada por el oomycete *Phytophthora capsici* Leonian (Kim *et al.*, 2008). La enfermedad se presenta en raíces, tallos, hojas y frutos (Kim *et al.*, 1997), siendo una de las enfermedades más destructivas a nivel mundial (Ristaino y Johnston, 1999; Hausbeck y Lamour, 2004). El patógeno causa pudrición de las raíces de la planta y lesiones negras en el tallo; circulares, acuosas y de color café grisáceo en las hojas, cubiertas de esporangios blancos en los frutos (Ristaino y Johnston, 1999).

La forma de combate de *P. capsici* bajo el sistema de producción convencional, se realiza principalmente con la aplicación de fungicidas de síntesis química, sin embargo, menciona Fernández-Herrera *et al.* (2007) que el constante uso de estos agroquímicos dentro del mismo sistema de producción causa inestabilidad; ya que generan resistencia de los patógenos a estos productos, cuyo uso indiscriminado según Zavaleta (2000), ha hecho persistir sustancias tóxicas que impactan negativamente en los agroecosistemas y dada la exposición e ingesta de residuos provenientes de alimentos contaminados inciden en la salud humana. Dada la insostenibilidad a consecuencia de los altos costos económicos, ecológicos y sociales provocados por el uso de fungicidas en el control fitosanitario, se hace necesario desarrollar tecnologías que permitan de forma fácil, económica y efectiva obtener productos a partir de microorganismos endógenos con calidad y cantidad suficiente para su aplicación en áreas de cultivo (De los Santos *et al.*, 2012). Dado lo anterior, el control biológico surge en respuesta como nueva tecnología para el control y manejo de plagas y enfermedades; entre los agentes más importantes para el control de hongos fitopatógenos, se encuentran los hongos pertenecientes al género *Trichoderma*, que son capaces de controlar un amplio número de hongos que afectan a las plantas de interés agrícola (Butt *et al.*, 2001).

Los mecanismos por los que las cepas del género *Trichoderma* desplazan al fitopatógeno son fundamentalmente de tres tipos: a) Competición directa por el espacio o por los nutrientes (Elad and Baker 1985; Elad and Chet 1987; Chet and Ibar 1994; Belanger *et al.*, 1995), b) Producción de metabolitos antibióticos, ya sean de naturaleza volátil o no volátil (Chet *et al.*, 1997; Sid *et al.*, 2000, 2003) y, c) parasitismo directo de algunas especies de *Trichoderma* spp (Yedidia *et al.*, 1999; Ezziyyani *et al.*, 2003).

En la presente investigación se evaluó un bio-fungicida con registro MX/a/2016/012860 de patente ante el IMPI, para la producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) variedad Ramses, bajo invernadero, el cual se enfoca en la mejora de una nueva tecnología alternativa, usando cepas nativas de *Trichoderma* spp, del estado de Puebla-México preservadas en un biopreparado integrado por 2 compuestos orgánicos como preservantes “almidón de maíz y alga marina (*Porphyra umbilicales* R)” y un ingrediente inerte como soporte (zeolita).

6.4 Materiales y Métodos

6.4.1 Área de Estudio

La presente investigación se desarrolló en condiciones de invernadero de 1 000 m², durante los meses de febrero a agosto de 2015, en la comunidad de San Bernardino Tepenene perteneciente al municipio de San Juan Tzicatlacoyan en el Estado de Puebla. Se utilizó plántula de jitomate tipo saladet (variedad Ramses) de 30 días de crecimiento después de germinadas, la densidad de siembra fue de 4,704 plantas en 1000 m², en arreglo de tresbolillo con distanciamiento de 30 cm entre planta y 50 cm entre cama, dando un total de 8 camas de 70 centímetros de ancho y 98 metros de largo, dejando un metro de pasillo a la entrada y otro al final de las camas.

6.4.2 Cepas

Se utilizaron las cepas nativas del estado de Puebla, Th-T4 (3) de *Trichoderma harzianum* Rifai, Tav-T7 (2) de *Trichoderma atroviridae*, Tv-T3 (1) de *Trichoderma viridae* y la cepa (PC-A) de *Phytophthora capsici*, las cuales pertenecen al cepario del Centro de Recursos Genéticos del Centro de Agroecología del Instituto de Ciencias de la BUAP y se encuentran en medio de cultivo PDA (Agar Papa Dextrosa).

6.4.3 Preparación de Bio-fungicida a base de las cepas *T. harzianum*, *T. atroviridae* y *T. viridae*

El medio de cultivo empleado para el desarrollo del micelio es agar de papa y dextrosa (PDA, Bioxon®), donde se preparó siguiendo las indicaciones del proveedor. Las cajas de Petri se inocularon con rodajas de 5 mm diámetro del medio de cultivo previamente colonizado cada

una de las cepas en estudio y se incubaron a 28 °C por 7 días. Se prepararon inóculos (matrices) a través de fermentación sólida en 2.5 Kg de grano de trigo y 2.5 Kg maíz quebrado, se incubaron a 25 °C durante 20 días.

Se prepararon 4 formulaciones de 60 g para cada una de las cepas en estudio (tabla 6), utilizando 2 compuestos orgánicos como preservantes (almidón de maíz y alga marina) y un ingrediente inerte como soporte (zeolita), se envasó al alto vacío en bolsas de aluminio con capacidad de 100 g, el bio-fungicida presenta una concentración de conidios de 83×10^4 mL con un porcentaje de viabilidad de 96%.

Tabla 6. Formulación de biopreparados a base de *T. harzianum*, *T. atroviridae* y *T. viridae*.

Clave	Zeolita	Fécula de maíz	Alga marina <i>P. umbilicales</i> R.	Conidios de <i>T. harzianum</i> <i>T. atroviridae</i> <i>T. viridae</i>	Total
				(g)	
a) Conidios de <i>T. harzianum</i>					
b) Conidios de <i>T. atroviridae</i> .	25	12,5	12,5	10	60
c) Conidios de <i>T. viridae</i> .					
d) Conidios de <i>T. harzianum</i> , <i>T. atroviridae</i> y <i>T. viridae</i> .				3.3	

Leal, 2016.

A cada planta de jitomate se le colocó 50 mL de biopreparados con una concentración total de 4150×10^4 conidios, siendo la primera aplicación a los 5 días después del trasplante, posteriormente se re-inoculó a los 30 y 60 días. Las plantas del grupo control se trataron con agua desionizada estéril.

6.4.4 Preparación y Cuantificación del Inóculo de *Phytophthora capsici* en Invernadero

La cepa (PC-A) de *Phytophthora capsici* se cultivó en medio PDA para su crecimiento y desarrollo. Posteriormente, con un sacabocados de cobre estéril se extrajeron discos de 5 mm y se inocularon en 10 placas de 90 mm de medio de cultivo V8; las placas fueron expuestas a luz artificial a 60 cm de altura durante 10 días, al término de su crecimiento se agregaron 10 mL de agua destilada estéril a todas las placas para inducir la formación de esporangios y se incubaron a 28 °C durante cuatro días más. Al término de este período, las placas se colocaron en un cuarto

frío (6 °C) durante 20 min y después se colocaron en una incubadora a 28 °C durante 1 h para inducir la liberación de zoosporas (Ramírez-Villapudua y Romero-Cova, 1980; Gómez *et al.*, 2008). El número de zoosporas obtenida se cuantificó con un hematocitómetro mediante diluciones seriadas y se ajustó a 5×10^4 mL (Redondo *et al.*, 1989). A cada planta de jitomate se le colocó 5 mL de la suspensión de zoosporas con una concentración de 25×10^4 zoosporas por mL con la ayuda de una jeringa a la hora del trasplante y una replicación a los 15 y 30 días después del trasplante. Las plantas del grupo control se trataron con agua desionizada estéril.

6.4.5 Variables Evaluadas

Las variables evaluadas fueron incidencia y severidad de la enfermedad a los 15 días después del trasplante, tanto para la parte radical como para la parte aérea utilizando la escala propuesta por Centro de Investigaciones Agronómicas, de la Universidad de Costa Rica (tabla 7). Asimismo se evaluó el porcentaje de mortalidad y supervivencia de las plántulas de jitomate a los 30 días, además se evaluó la altura, el grosor de tallo y biomasa seca total a los 60 días de edad. La producción total por planta se evaluó del tercer hasta el sexto mes, mediante la recolección y el pesado de cada uno de los frutos.

Tabla 7. Escala de severidad del ataque de *P. capsici* en el cultivo de jitomate.

Escala de severidad en raíz de las plantas		Escala de severidad de la parte aérea de las plantas	
Código	Descripción	Código	Descripción
a	Lesión circular seca.	A	Planta sana.
b	Necrosis ligera en la base de la raíz, lesión mayor de 0,5 cm.	B	Planta con algunas hojas con pérdida de turgencia.
c	Necrosis seca aprox 1,5 cm, suberizadas, raíces adventicias.	C	Plantas con todas las hojas con pérdida de turgencia
d	Raíz que presenta lesiones con necrosis de 2 cm.	D	Plantas con hojas marchitas.
e	Lesiones con necrosis de 2 cm, raíces empiezan a desprenderse.		
f	Lesiones con necrosis de 2 cm, se desprende gran cantidad de raíces.		
g	Se desprende epidermis dejando tejido vascular, pérdida de 50% de raíces.		
h	Desprendimiento 80% raíces se expone tejido pérdida de epidermis, raíces necróticas.		

Centro de Investigaciones Agronomicas de la Universidad de Costa Rica (2011), Modificada por Leal, 2016.

6.4.6 Diseño Experimental y Diseño de Tratamientos

Se usó un diseño de bloques completamente al azar, donde cada cama es un bloque y este alberga a los seis tratamientos en evaluación, cada tratamiento constó de 98 plantas sembradas en 16.33 m² de las cuales se evaluaron 20 unidades experimentales (Plantas) de cada tratamiento dando un total de 160 plantas evaluadas por toda la unidad experimental. Los datos obtenidos se procesaron en el paquete estadístico SPSS Statistics versión 17 (Statistical Package for the Social Sciences) para realizar el análisis de varianza (ANOVA) y posteriormente se aplicó la prueba de comparación múltiples de Tukey ($p < 0.05$), para determinar diferencias entre los tratamientos.

6.5 Resultados y Discusión

El tratamiento inoculado con *P. capsici* mostró síntomas de la enfermedad en la parte radical y aérea (tabla 8), presentando los valores más altos en incidencia y severidad, esto en comparación con los demás tratamientos evaluados en este estudio. Estos resultados coinciden con lo observado por Kim *et al.* (1997) quienes señalan el daño causado por *Phytophthora* sp., en la raíz y en la corona del tallo de plantas de chile, además redujeron el peso seco de raíces y tallos. Por otro parte, Ezziyyani *et al.* (2004) reportaron que al inocular plantas de pimiento (*Capsicum annuum* L.) con *T. harzianum*, observaron 56% en la disminución de la marchitez en condiciones de invernadero, en comparación con las plantas no tratadas con *T. harzianum* e inoculadas con *P. capsici*, resultados similares en esta investigación.

La protección lograda con el producto a base de *T. harzianum* se puede deber a la cualidad que tiene esta especie para producir enzimas como celulasas, β -1,3- glucanasa y quitinasas, las cuales degradan la pared celular de los fitopatógenos (Kücük y Kivanc, 2003), así como al parasitismo directo que ejerce *T. harzianum* sobre los hongos fitopatógenos (Kücük y Kivanc, 2004; Ozbay *et al.*, 2004). En la presente investigación la menor incidencia y severidad se obtuvo en el tratamiento a base de *T. harzianum* con 3.7%, al presentar ligeras Lesiones circulares secas en la raíz y sin sintomología en la parte aérea.

Tabla 8. Porcentaje de Incidencia y severidad causada por *P. capsici* a los 15 días, después del trasplante en plantas de jitomate (*L. esculentum* Mill) bajo diferentes tratamientos, en condiciones de invernadero, en la comunidad de San Bernardino Tepenene en el Municipio de San Juan Tzicatlacoyan perteneciente al Estado de Puebla, 2015.

Tratamiento	Escala de severidad en raíz de las plantas		Escala de severidad de la parte aérea de las plantas	
	% de incidencia	*Escala de Severidad	% de incidencia	*Escala de Severidad
Testigo	26	e	17	C
<i>P. capsici</i>	40	h	38	D
<i>T. viridae</i>	15	b	11	B
<i>T. atroviridae</i>	18	b	12	B
<i>T. harzianum</i>	8	a	5	A
Multiesporado	9	a	7	A

Leal, 2016.

*Escala de severidad del ataque de *P. capsici* en el cultivo de Jitomate.

Los tratamientos a base de *T. harzianum*, *T. atroviridae* y *T. viridae*. utilizados en este trabajo de investigación, presentan eficacia antagónica contra *P. capsici* con una supervivencia que va de 62.7 a 76.4% en comparación del tratamiento testigo el cual obtuvo una supervivencia del 46% mientras que las plantas de jitomate inoculadas con solo *P. capsici* lograron la menor supervivencia con un 26.3% (fig.7); esto al morir en un lapso menor de 10 días después de la inoculación presentando un obscurecimiento a nivel de la base del tallo, el cual provocaba la caída y posteriormente la muerte. Los resultados obtenidos en esta variable evaluada, concuerdan con los obtenidos por Michel-Aceves *et al.* (2008) quien realizó estudios de antagonismo con aislamientos nativos obtenidos de cultivos de tomate sembrados en Tlayacapan, Morelos-México, con los cuales confrontó a *Trichoderma* spp., contra *Alternaria solani* y *Phytophthora infestans* logrando un rango de porcentaje de inhibición del crecimiento micelial en *P. infestans* de un 16.3 a un 85.5%, resultados que se asimilaran a los obtenidos en este estudio.

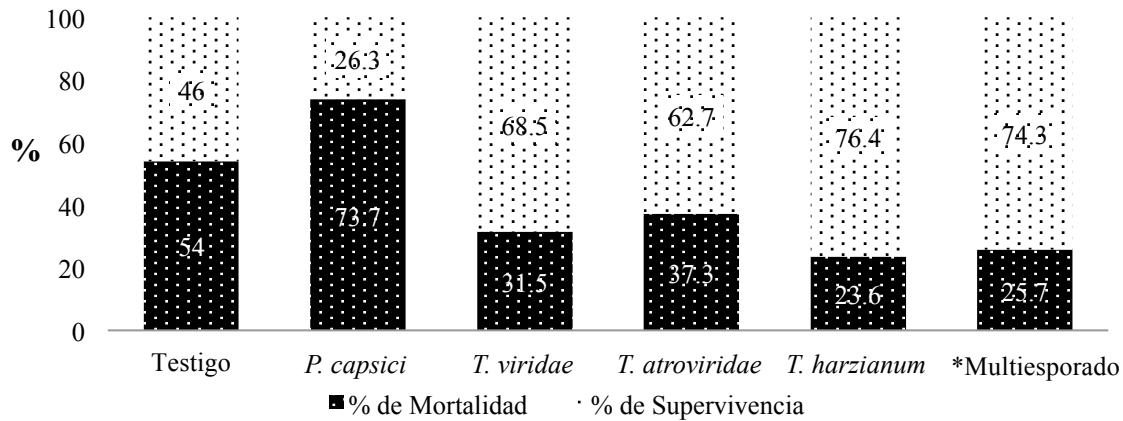


Figura 7. Porcentaje de mortalidad y supervivencia causada por *P. capsici*, evaluada a los 30 días, después del trasplante en plantas de jitomate (*L. esculentum* Mill) bajo diferentes tratamientos, en condiciones de invernadero, en la comunidad de San Bernardino Tepenene perteneciente al Municipio de San Juan Tzicatlacoyan perteneciente al Estado de Puebla, 2015.

El análisis de varianza y prueba de Tukey ($p < 0.05$) para las variables altura, grosor de tallo y biomasa seca de cada tratamiento, mostraron diferencias significativas entre sí; siendo los tratamientos a base de *Trichoderma* los que mejores resultados presentaron en las variables evaluadas, destacando el tratamiento a base de *T. harzianum*, el cual mostró una altura promedio de 190.7 cm por planta, un grosor de tallo promedio de 1.32 cm y una biomasa seca promedio de 0.26 g; denotando un incremento significativo en comparación con el testigo el cual mostró una altura promedio de 130.3 cm por planta, un grosor de tallo promedio de 1.04 cm y una biomasa seca promedio de 0.12 g; mientras que el tratamiento inoculado con el fitopatógeno *P. capsici*, presentó los promedios más bajos con 54.4 cm de altura, 0.63 cm de grosor de tallo y 0.06 g en biomasa seca (tabla 9). Harman (2006), argumenta que *T. harzianum* estimula el crecimiento de las plantas al producir metabolitos que promueven los procesos de desarrollo, los cuales permiten un mayor desarrollo radicular y de pelos absorbentes con lo cual se favorece la movilización de los nutrientes en el suelo mejorando de esta forma la nutrición y absorción de agua; Asimismo acelera la descomposición de la materia orgánica y minerales (Vinale *et al.*, 2008). Estos efectos se han comprobado científicamente en numerosas investigaciones a nivel mundial. Así por ejemplo, en plantas ornamentales se logró mayor crecimiento (altura, número de hojas y de flores) [Soto, Osorio, Muñoz, y Galindo, 2002]. En café se obtuvo el mayor porcentaje de emergencia y germinación, como también mayor longitud radicular, altura, diámetro del tallo, número de hojas y vigor de la planta (Pacheco, 2009).

Tabla 9. Comparación de medias de altura, diámetro de tallo y biomasa seca de plantas de jitomate (*L. esculentum* Mill) bajo diferentes tratamientos, en condiciones de invernadero, en la comunidad de San Bernardino Tepenene, Municipio de San Juan Tzicatlacoyan perteneciente al Estado de Puebla, 2015.

Tratamiento	Altura promedio de plantas en (cm) a los 60 ddt	Diámetro promedio de tallo de plantas (cm) a los 60 ddt	Promedio de biomasa seca de plantas en (g) a los 60 ddt
Testigo	130.3 e	1.04 a	0.12 d
<i>P. capsici</i>	54.4 f	0.63 b	0.06 e
<i>T. viridae</i>	187.5 b	1.27 a	0.22 ab
<i>T. atroviridae</i>	178.9 d	1.18 a	0.18 c
<i>T. harzianum</i>	190.7 a	1.32 a	0.26 a
Multiesporado	183.0 c	1.22 a	0.22 b
p	0.00748	0.00880	0.0175

Leal, 2016.

* Medias con letras diferentes en la columna indican diferencias significativas con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

La prueba de medias de Tukey ($p < 0.05$) para la variable rendimiento total separó seis grupos, sin embargo, estadísticamente sobresale el tratamiento con *T. harzianum* con una producción de 4.50 Kg, *T. atroviridae* 3.03 Kg, *T. viridae* 2.56 Kg y el multiesporado 4.05 Kg por planta, asumiendo esto en una comparación con el testigo el cual obtuvo 0.67 Kg, mientras que la afectación por *P. capsici* se hizo más que evidente al presentar el menor rendimiento por planta con 0.67 Kg (tabla 10). Al respecto, Infante *et al.* (2009) indican que lo anterior es debido a que *Trichoderma* spp., promueve el crecimiento vegetal, al producir sustancias promotoras de crecimiento. Estas sustancias actúan como catalizadores o aceleradores de los tejidos meristemáticos primarios en las partes jóvenes de estas, acelerando un desarrollo más rápido, mejor producción y calidad del producto.

El rendimiento total de las plantas de jitomate se puede asumir mediante el conjunto de los mejores resultados obtenidos en las anteriores variables; ya que al presentar una mayor supervivencia, desarrollo en altura, grosor de tallo y biomasa seca, se considera, que estos tratamientos presentaron algunas de las cualidades necesarias en las unidades experimentales (plantas) para obtener el mejor rendimiento dentro del trabajo experimental, donde nuevamente *Trichoderma* en sus diversos tratamientos presentaron las mejores cifras en producción. Al

respecto Infante *et al.* (2009) indican que el rendimiento y calidad del fruto, se ve favorecido por la presencia de altas densidades de raíces, las cuales son colonizadas rápidamente por *Trichoderma* spp., esto le da alta capacidad a la planta de aumentar la captura de nutrientes y de humedad. Yoerlandy *et al.* (2010) encontraron que el tratamiento a base de *Trichoderma harzianum*, obtuvo una producción de 46.56 ton ha⁻¹ de jitomate en maceta, resultados menores a los reportados en la presente investigación. Lo mismo sucede con Melgar (2007), que reportó rendimientos de jitomate en maceta de hasta 66.15 ton ha⁻¹. Ambos autores incrementaron sus rendimientos en un 15% con respecto a sus tratamientos testigos.

Tabla 10. Comparación de medias de rendimiento en kilogramos de plantas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo diferentes tratamientos, en condiciones de invernadero, en la comunidad de San Bernardino Tepenene en el Municipio de San Juan Tzicatlacoyan perteneciente al Estado de Puebla, 2015.

Tratamiento	Kg * Planta ¹	Kg * m ²	Kg * 1 000 m ²	Kg * ha ¹
Testigo	1.86 e	11.16	11,160.00	111,600.00
<i>P. capsici</i>	0.67 f	4.02	4,200.00	42,000.00
<i>T. viridae</i>	2.56 c	15.36	15,400.00	154,000.00
<i>T. atroviridae</i>	3.03 d	18.18	18,200.00	182,000.00
<i>T. harzianum</i>	4.50 a	27.00	27,000.00	270,000.00
Multiesporado	4.05 b	24.30	24,300.00	243,000.00
P	0.00948			

Leal, 2016.

* Medias con letras diferentes en la columna indican diferencias significativas con la prueba de Tukey (p<0.05).

El tratamiento de *P. capsici* presentó el menor peso promedio de fruto con 17.63 g, seguido del testigo con 48.94 g, los tratamientos a base del biofungicida presentaron los mejores resultados, donde *T. harzianum* sobresalió al presentar 118 g de jitomate, seguido por el multiesporado con 106.57 g, el rendimiento menor del biopreparado lo obtuvo *T. viridae* con 67.36 g (fig. 8).

Cortez Hernández (2015) observó que el tratamiento con de *T. harzianum* y *P. tolaasii* produjo 27.6 frutos, resultados similares a la presente investigación. Ramos *et al.* (2002) reportaron que al aplicar 240 Kg ha⁻¹ de nitrógeno lograron producir 11 frutos por maceta con un peso promedio de 80 g.

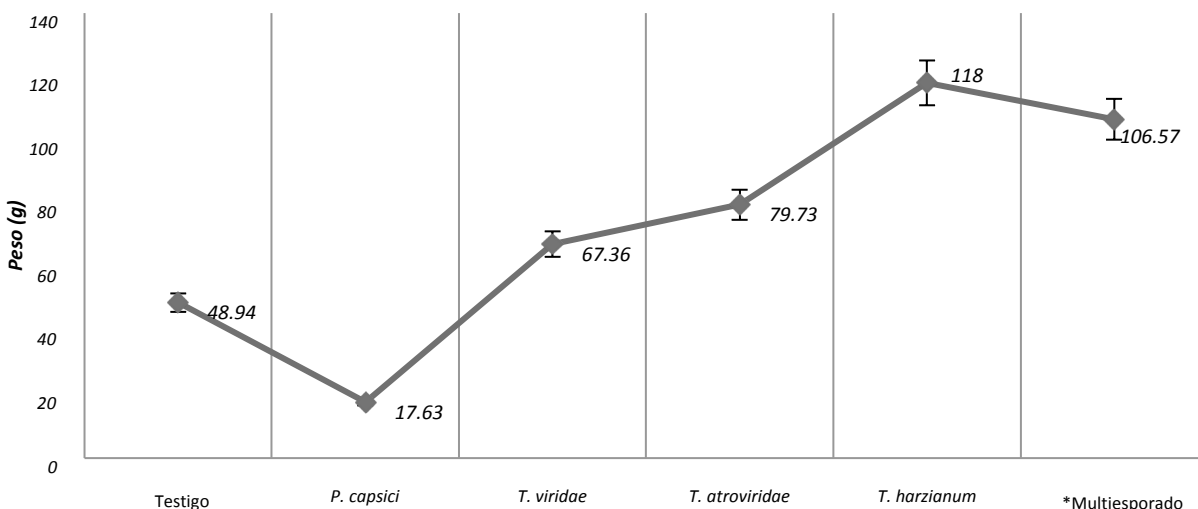


Figura 8. Comparación promedio de peso por fruto en gramos de los diferentes tratamientos aplicados a plantas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo invernadero, en la comunidad de San Bernardino Tepenene en el Municipio de San Juan Tzicatlacoyan perteneciente al Estado de Puebla, 2015.

6.6 Conclusiones

La eficacia mostrada por los biopreparados evaluados en este estudio en contra de *Phytophthora capsici*, aplicado a plantas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), demostraron que los tratamientos a base de cepas nativas de *Trichoderma* tienen acción de supresión ante este patógeno, esto mediante los resultados obtenidos en los cuales se obtuvo un rango de supervivencia entre el 62.7 a 76.4% en comparación del tratamiento testigo el cual con un 46% demostró una mayor vulnerabilidad a *P. capsici*, este último fue quien presentó la menor supervivencia con un 18.1%. El biopreparado con *T. harzianum* obtuvo la mejor altura con 190.7 cm, grosor de tallo de 1.32 cm, producción de biomasa seca de 0.26 g, peso promedio de fruto de 118 g y un rendimiento promedio de 4.50 Kg por planta, esto al compararlo con el testigo quien obtuvo una altura de 130.3 cm, grosor de tallo de 1.04 cm, producción de biomasa seca de 1.04 g, peso promedio de fruto de 48.94 g y un rendimiento promedio de 1.86 Kg.

6.7 Literatura citada

- Adekiya, A., Agbede, T. 2016. Effect of methods and time of poultry manure application on soil and leaf nutrient concentrations, growth and fruit yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Journal the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 10(1): 01-06.
- Avedaño-Ruíz, B. 2008. Globalización y competitividad en el sector hortofrutícola: México, el gran perdedor. *El cotidiano*. 23(147): 91-98.
- Barrón, A. 2013. Desempleo entre los jornaleros agrícolas, un fenómeno emergente. *Problemas del desarrollo*. 44(175): 55-79.
- Bautista, C.J., García, R., Montes, R., Zavaleta E., Pérez, J., Ferrera, R., García, R. y Huerta, M. 2010. Disminución de la marchitez del chile por introducción de antagonistas en cultivos de rotación. *Interciencia*. 35(9): 673-679.
- Belanger, R., Dufuor, N., Caron, J., Benhamou, N. 1995. Chronological events associated with the antagonistic properties of *Trichoderma harzianum* against *Botrytis cinerea*: Indirect evidence for sequential role of antibiotics and parasitism. *Biocontrol Science Technology*. 5: 41-54.
- Butt, T.M., Jackson, C., Magan, N. 2001. *Fungi as Biocontrol Agents: Progress, Problems and Potential*. CABI Publishing, Wallingford, United Kingdom. 385 p.
- Cortes-Hernández, I. 2015. Abonos orgánicos y organismos antagónicos sobre inhibición de hongos fitopatógenos en cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). Tesis Colegio de Posgraduados.
- Chet, I., Ibar, J. 1994. Biological control of fungal patho-gens. *Applied Biochemistry & Biotechnology*. 48: 37-43.
- Chet, I., Ibar, J., Hadar, I. 1997. Fungal antagonists and mycoparasites. In *The Mycota IV: Environmental and Microbial Relationships* (Wicklow, D.T y Soderstrom, B. Eds.). New York: Springer Verlag. pp 165-192.
- De los Santos-Villalobos, S., Hernández-Rodríguez, L., Villaseñor-Ortega, F., Peña-Cabriales, J. 2012. Production of *Trichoderma asperellum* the spores by a “home-made” solid-state fermentation of mango industrial wastes. *BioResources*. 7(4): 4938-4951.

- Elad, Y., Baker, R. 1985. The role of competition for iron and carbon in suppression of chlamidospore germination of *Fusarium* spp by *Pseudomonas* spp. *Phytopathology*. 75(9): 1053-1985.
- Elad, Y., Chet, I. 1987. Possible role of competition for nutrients in biocontrol of *Pythium* damping-off by bacteria. *Phytopathology*. 77: 190-195.
- Ezziyyani, M., Perez, S.C., Requena, M.E., Rubio, L., Candela, M.E. 2004. Biocontrol por *Streptomyces rochei* Ziyani, de la podredumbre del pimiento (*Capsicum annuum* L.) causada por *Phytophthora capsici*. *Análisis de Biología*. 26: 69-78.
- Ezziyyani, M., Requena, M., Pérez, S., Egea, G., Candela, M. 2003. Mecanismos de biocontrol de la «tristeza» del pimiento (*Capsicum annuum* L.) por microorganismos antagonistas. *Actas de la XV Reunión de la Sociedad Española y VIII Congreso Hispano Luso de Fisiología Vegetal*.
- FAOSTAT. 2013. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, estadísticas. Disponible en <http://faostat.fao.org/>. (25 Mayo 2015).
- Fernández-Herrera, E., Acosta-Ramos, M., Ponce-González, F., Pinto, V. 2007. Manejo biológico de *Phytophthora capsici* L. *Fusarium oxysporum* Schelechtend.: Fr. y *Rhizoctonia solani* Kühn en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Revista Mexicana de Fitopatología*. 25:35-42.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO-FAOSTAT. Trade. Consultado 27 de abril de 2015. <http://faostat.fao.org/site/342/default.aspx>.
- Galindo, E., Serrano-Carreón, L., Gutiérrez, R., Balderas-Ruíz, K., Muñoz-Celaya, L., Mezo-Villalobos, M., Arroyo-Colín, J. 2015. Desarrollo histórico y los retos tecnológicos y legales para comercializar Fungifree AB®, el primer biofungicida 100% mexicano. *Revista especializada en ciencias químico-biológicas*. 18(1): 52-60.
- Gómez, S., Hoyos, L., González, E.P. 2008. Estudios de infección de *Spongospora subterranea* en papa (*Solanum tuberosum*) variedad comercial Diacol Capiro. *Revista Politécnica*. 7:9-18.
- Harman, G. 2006. Overview of Mechanisms and Uses of *Trichoderma* spp. *Phytopathology*. 96(2):190-194.
- Hausbeck, M.K., Lamour, K.H. 2004. *Phytophthora capsici* on vegetable crops: Research progress and management challenges. *Plant Dis*. 88:1292-1303.

- Huerta-Lara, M., Bautista, J., Reyes, D., Romero, O., Ibáñez, A., Franco, O. 2009. Manejo agroecológico de fitopatógenos con origen en el suelo. En: Manejo agroecológico de sistemas Vol I. Aragón G.A; M.A. Damián H. y López-Olguín J.F. (Eds.). México. pp 203-221.
- Infante, D., Martíne, B., González, N., Reyes, Y. 2009. Mecanismos de acción de trichoderma frente a hongos fitopatógenos. Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA). Dpto. Biología y Sanidad Vegetal, Universidad Agraria de La Habana “La Habana, Cuba. *Rev. Protección Veg.* 24(1): 1-8.
- Küçük, C. Kivanc, M. 2004. *In vitro* antifungal activity of strains of *Trichoderma harzianum*. *Turkish Journal of Biology*. 28:111-115.
- Küçük, C. y Kivan, M. 2003. Isolation of *Trichoderma* spp. and determination of their antifungal, biochemical and physiological features. *Turkish Journal of Biology*. 27(4): 247- 253.
- Melgar, J. 2007. Evaluación del efecto de *Trichoderma* sp. y *Glomus* sp. en la incidencia y severidad de enfermedades del suelo y en el rendimiento de tomate, chile dulce y pepino. FHIA-Comayagua. 12: 1-3.
- Michel-Aceves, A.C., Otero-Sánchez, M.A., Martínez-Rojero, R.D.; Ariza-Flores, R. Barrios-Ayala, A., Rebolledo-Martínez, A. 2008. Control biológico *in vitro* de enfermedades fungosas en tomate *Lycopersicum esculentum* Mill. *Avances en investigación Agropecuaria*. 12(3):55-68.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2012). El estado mundial de la agricultura y la alimentación, Invertir en la agricultura para construir un futuro mejor. FAO, Roma, Italia. 178 p.
- Ozbay, N., Newman, S.E., Brown, W.M. 2004. The effect of the *Trichoderma harzianum* strains on the growth of tomato seedlings. *Acta Horticulturae*. 635:131-135.
- Pacheco, E.G. 2009. Efectos de *T. harzianum* y *T. viride* en la producción de plantas de café (*Coffea arabica*) variedad a nivel de vivero. Riobamba. Tesis. Escuela superior politecnica de Chimborazo, Ecuador.
- Ramírez-Villapudua, J., Romero-Cova, S. 1980. Supervivencia de *Phytophthora capsici* Leo., agente causal de la marchitez del chile. *Agrociencia*. 39:9-18.

- Ramos, R.R. 2002. Curso Internacional de Papaya. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Guatemala, Guatemala. 52 p.
- Redondo, J.E. 1989. Mecanismos de infección y patología de las plantas de Chile susceptibles y resistentes al hongo *P. capsici*. *Agrociencia*. 77:123-137.
- Ristaino, J.B., Johnson, S.A. 1999. Ecological based approaches to management of *Phytophthora* blight on bell pepper. *Plant Dis*. 83: 1080-1089.
- SAGARPA (2015). <http://consulmex.sre.gob.mx/omaha/images/JITOMATE/jitomate.pdf>
- Sánchez del Castillo, F., Moreno-Pérez., E., Cruz-Arellanes, E. 2009. Producción de jitomate hidropónico bajo invernadero en un sistema de dosel en forma de escalera. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 15:67-73.
- SIAP-SAGARPA. 2014. Atlas agroalimentario 2014. www.siap.gob.mx
- Sid, A., Ezziyyani, M., Pérez, S., Candela, M. 2003. Effect of chitin on biological control activity of *Bacillus* spp and *Trichoderma harzianum* against root rot disease in pepper (*C. annuum*) plants. *European Journal of Plant Pathology*. 109: 418-426.
- Sid, A., Pérez, S., Candela, M. 2000. Evaluation of induction of systemic resistance in pepper plants (*C. annuum*) to *Phytophthora capsici* using *Trichoderma harzianum* and its relation with capsidiol accumulation. *European Journal of Plant Pathology*. 106: 817-824.
- Soto, B., Osorio, A., Muñoz, M., Galindo, R. 2002. El uso de *Trichoderma harzianum* como agente mejorador de plantas ornamentales. Mexico. pp. 2.
- Vinale, F., Sivasithamparamb, K., Ghisalberti, E.L., Marra, R., Woo, L., Lorito, M. 2008. *Trichoderma* plant pathogen interactions. *Soil Biology y Biochemistry*. 40:1-10.
- Yedidia, I., Benhamou, N., Chet, I. 1999. Induction of defence responses in cucumber plants (*C. sativus* L.) by the biocontrol agent *Trichoderma harzianum*. *Applied and Environmental Microbiology*. 65: 1061-1070.
- Yoerlandy, S., Del Buso, A., Cruz, R. Aguilar, I., Palomino, L. 2010. Efecto de enmiendas orgánicas y *Trichoderma* spp., en el manejo de *Meloidogyne* spp. *Rev. Bras De Agroecologia*. 5(2): 224-233.
- Zavaleta-Mejía, E. 2000. Alternativa de manejo de las enfermedades de las plantas. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 17: 201- 207.

Zuloaga, A. 1994. Efectos de la reforma jurídica y económica sobre el empleo en el sector agropecuario. *Cuadernos de Trabajo*. 7: 65-87.

CAPÍTULO VII

Evaluación de rentabilidad de dos sistemas de producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en invernadero

7.1 Resumen

En la presente investigación se evaluó la rentabilidad de dos sistemas de producción (convencional y orgánico) de jitomate tipo Saladette, en condiciones de invernadero, en la comunidad de San Bernardino Tepenene, perteneciente al municipio de San Juan Tzicatlacoyan, Puebla-México. Se utilizaron los indicadores de evaluación económica: valor actual neto (VAN), relación beneficio-costos (B/C), relación beneficio-inversión neta (N/K) y tasa interna de retorno (TIR) para realizar el análisis de rentabilidad. Los resultados obtenidos en el sistema de producción convencional para un periodo de diez años, fueron: VAN=759,695.72, B/C= 1.32, N/K=3.52 y TIR= 18.80; que en comparación por los obtenidos en el sistema de producción orgánica para el mismo periodo fueron: VAN=2,281,659.96, B/C= 2.15, N/K=12.36 y TIR= 22.90. En base a estos indicadores, se concluye que la forma de producción de jitomate bajo un manejo orgánico resulta más viable desde el punto de vista económico y ecológico que la producción convencional. Demostrando que la rentabilidad de este proyecto de inversión es excelente ya que presentan buenas perspectivas de comercialización en México y USA.

Palabras clave: Manejo orgánico, invernadero, rentabilidad, indicadores económicos.

7.2 Abstract

The profitability of two production systems (conventional and organic), of tomato type saladette under greenhouse conditions, in the community of San Bernardino Tepenene in the municipality of San Juan Tzicatlacoyan, Puebla-Mexico. The indicators of economic evaluation used were: net present value (NPV), benefit-cost ratio (B/C), benefit-investment net (N/K) and internal rate of return (IRR), for the analysis of profitability. The results obtained in the conventional production system for a period of ten years, were: NPV = 759,695.72, B/C = 1.32, N/K = 3.52 and TIR = 18.80; compared to those obtained by the organic production system for the same ten-year period were: VAN = 2,281,659.96, B/C= 2.151, N/K=12.36 and TIR = 22.9.

Whereupon based on these indicators, it was concluded that the form of production under organic management is more feasible from the point of economically and ecologically than that produced conventionally. The profitability of this investment project is excellent as they have good prospects of marketing and cost reduction in production compared to conventionally produce.

Key words. Organic management, greenhouse, profitability, economic indicators.

7.3 Introducción

La demanda de alimentos y materias primas han rebasado la capacidad natural de las tierras de cultivo. De ahí que, aproximadamente 1,500 millones de hectáreas de tierra sean utilizadas para la agricultura y 2,600 millones de personas dependan económicamente de ella (Howden *et al.*, 2007; Alston y Pardey, 2014). Asimismo, un estudio de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), mencionaron que la producción agrícola mundial de productos básicos proyecta un crecimiento promedio del 1.5% anual, en comparación con 2.1% en la década anterior (OCDE y FAO, 2013). Ferrato y Mondino (2008), señalaron que el crecimiento de la producción de hortalizas pasó de 324 millones a 881 millones de toneladas dentro del periodo 1980 a 2005, lo que representó una tasa promedio anual de 4.1%. Se destaca que el sector hortícola es dinámico, debido a su orientación hacia el mercado, a la competencia internacional y a factores naturales (Anido *et al.*, 2010).

Una de las hortalizas más importantes respecto a su producción es el jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), el cual se cultiva en todo tipo de suelos para uso familiar y comercial (Adekiya y Agbede, 2016); para el año 2013, ocupó el primer lugar con una superficie sembrada total de 4,734 millones de hectáreas y una producción de 163 millones de toneladas (FAOSTAT, 2013). La FAO (2012), indicó que cerca del 80% de la producción se encontró en China, Estados Unidos, India, Egipto, Turquía, Italia, Irán, España, Brasil y México. A la fecha China es el primer productor con 50 millones de toneladas, seguido por India con 18 millones de toneladas, Estados Unidos con 12 millones de toneladas y México se ubica en la décima posición con 3,282 millones de toneladas (FAOSTAT, 2013).

En México, las estadísticas del Sistema de Información Agropecuaria (SIAP, 2014), reportaron que en el año 2014 se sembraron 52,374 mil hectáreas de jitomate con una producción de 2,875.164 toneladas, con un valor de 15,735 millones de pesos. En tanto que datos del Sistema Producto, indicaron que las exportaciones ascendieron a 20 mil millones de pesos, siendo Estados Unidos y Canadá los principales compradores, donde los principales productores fueron Sinaloa con 867,832.04 toneladas, San Luis Potosí con 196,011.25 toneladas y Michoacán con 169,768.98 (SAGARPA, 2015). En esta perspectiva, el cambio tecnológico ha reclamado más mano de obra, por ejemplo: en 1991 para la producción de jitomate se requerían 122 jornadas de trabajo por hectárea (Zuloaga *et al.*, 1994) y para 2010 fue de 199 jornadas, cabe mencionar que en este periodo se redujo la superficie cosechada de jitomate a 22.5 mil hectáreas (Barrón, 2013). Por lo que Avedaño (2008), menciona que existe una pérdida de competitividad que se asocia a los repetidos brotes epidemiológicos que han provocado el cierre de la frontera, afectando fuertemente a los productores de jitomate. Cabe destacar que en México, el uso de tecnologías como el invernadero y micro túnel contrarrestan las tendencias negativas en el cultivo del jitomate (Sánchez del Castillo *et al.*, 2009; Galindo, 2015). La producción de jitomate bajo condiciones de invernadero durante el año 2014, representó el 26.2% nacional, con rendimientos promedios de 171.82 toneladas por hectárea, donde Puebla ocupó el decimocuarto lugar con 75, 219.09 toneladas por hectarea de jitomate (SIAP, 2014).

La comunidad de San Bernardino Tepenene pertenece al municipio de San Juan Tzicatlacoyan, sus principales actividades económicas son la agricultura y el comercio, aunque la primera se ve muy restringida por condiciones edafoclimáticas, ya que el 90% de sus tierras no son aptas para practicar la agricultura y con una precipitación media anual de 600 a 800 milímetros, condiciones que limita aún más esta actividad (INEGI, 2009). Debido a las difíciles condiciones de producción a las que se enfrentan las familias de San Bernardino Tepenene, en el año 2014, las Unidades de Producción Familiar (UPF), fueron favorecidas con la obtención de invernaderos con dimensiones de 40, 120 y 1 000 metros cuadrados. El cultivo mayormente sembrado en estos invernaderos es el jitomate de manera convencional, ya que los proyectos proveen los agroquímicos necesarios para la producción de esta hortaliza, sin embargo algunas (UPF) han optado por un tipo de producción orgánica, la cual les demanda una mayor mano de obra, pero menores gastos de producción, acciones que mejoran el precio de comercialización de la región. El objetivo del siguiente trabajo de investigación fue realizar una comparativa de rentabilidad

entre una producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), convencional y una de tipo orgánico en condiciones de invernadero, en la comunidad de San Bernardino Tepenene, en el municipio de San Juan Tzicatlacoyan, Puebla-México. Los estudios de rentabilidad entre estos sistemas de producción son nulos, por este motivo es de importancia demostrar las ventajas y alcances de una producción orgánica.

Entiéndase por sistema de producción convencional a un sistema productivo, en el cual se utilizan todo tipo de tecnologías apropiadas y disponibles que la ciencia ha demostrado como benéficos en cuanto al incremento de la producción del cultivo, tal es el caso del uso de herbicidas, fungicidas, insecticidas, fertilizantes químicos, etc., (Galindo *et al.*, 2015).

El hablar de un sistema de producción orgánico, se refiere al proceso que utiliza métodos que respetan el medio ambiente, desde las etapas de producción hasta las de manipulación y procesamiento; de tal forma que para considerar a un sistema de producción como orgánico, se denota al cumplimiento de normas específicas que regulan los métodos de producción, en el caso de la agricultura orgánica se consideró la ley de productos orgánicos, así como su reglamentación, en la cual se prohíbe la mayoría de los plaguicidas y fertilizantes sintéticos, todos los preservativos sintéticos, los organismos modificados genéticamente, los lodos cloacales y la irradiación. El siguiente trabajo se enfoca en la rentabilidad económica de este tipo de sistema de producción, por lo cual la descripción de los procesos productivos pasa a segundo término. las actividades dentro de este proceso productivo fueron la utilización de plántulas certificadas como orgánicas, el abonado se realizó mediante la aplicación de lombricomposta y posteriormente la aplicación de foliares a base de humus de lombriz, para evitar enfermedades fitopatógenas por hongos se recurrió a realizar el trasplante en camas altas de 30 centímetros de altura (Lino *et al.*, 2014), para evitar exceso de humedad en el suelo de la cama, además de aplicar un biofungicida a base de *Trichoderma harzianum*, ya que presenta diversos mecanismos de acción que le permiten el control de los fitopatógenos más comunes, también mejora el crecimiento vegetativo y desarrollo de las raíces, al hacer más disponibles los nutrientes a la planta. Asimismo, para el control de plagas se utilizaron trampas amarillas y remoción manual de herbáceas (Romero *et al.*, 2009; Victoria *et al.*, 2015).

7.4 Materiales y Métodos

La información económica se obtuvo de la inversión, realizada para ambas unidades de producción familiar (UPF) de jitomate tipo Saladette en la comunidad de San Bernardino Tepenene, perteneciente al municipio de San Juan Tzicatlacoyan, Puebla-México. Posteriormente, se determinó la rentabilidad de ambos sistemas de producción a través de los indicadores de evaluación económica del sistema convencional y del orgánico.

7.4.1 Indicadores de Evaluación de Rentabilidad Económica

La evaluación de rentabilidad económica es aquella que identifica los méritos propios del proyecto, independientemente de la manera como se obtengan y se paguen los recursos financieros que necesite y del modo como se distribuyan los excedentes o utilidades que genera. Los indicadores para la evaluación económica, son conceptos valorizados que expresan el rendimiento económico de la inversión y en base a estos datos se puede tomar la decisión de aceptar o rechazar la realización de un proyecto; o, en su caso, se evalúa su rentabilidad del mismo (Muñante, 2002; Romero *et al.*, 2009). Los indicadores más usados son aquellos que consideran el valor del dinero en el tiempo, como son: a) El valor actual neto (VAN); b) La tasa interna de retorno (TIR); c) La relación beneficio-inversión neta (N/K); d) La relación beneficio-costos (B/C).

- Valor Actual Neto (VAN)

Consiste en actualizar a valor presente, los flujos de caja futuros que va a generar el proyecto, descontados a un cierto tipo de interés (“la tasa de descuento”) y compararlos con el importe inicial de la inversión. Como tasa de descuento se utiliza, normalmente, el costo de oportunidad del capital de la empresa que hace la inversión.

$$VAN = -A + [FC1/(1+r)^1] + [FC2/(1+r)^2] + \dots + [FCn/(1+r)^n]$$

Dónde:

A: desembolso inicial

FC: flujos de caja

n: número de años (1,2,...,n)

r: tipo de interés (“la tasa de descuento”)

$1/(1+r)^n$: factor de descuento para ese tipo de interés y ese número de años

Para evaluar un proyecto de inversión, desde el punto de vista económico, el criterio de decisión del VAN es que debe ser: Si $VAN > 0$: El proyecto es rentable; Si $VAN = 0$: El proyecto es postergado; Si $VAN < 0$: El proyecto no es rentable. En términos generales, el VAN representa la ganancia adicional actualizada que genera el proyecto por encima de la tasa de descuento (Muñante, 2000; Romero *et al.*, 2009).

- Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR económica de un proyecto es la tasa de actualización que hace que el valor actualizado de la corriente de beneficios se iguale al valor actualizado de la corriente de costos; es decir, se efectúan tanteos con diferentes tasas de descuento consecutivas hasta que el VAN sea cercano o igual a cero y obtengamos un VAN positivo y uno negativo.

$$\sum_{t=1}^T B_t(1+r)^{-t} - \sum_{t=1}^T C_t(1+r)^{-t} = 0$$

Dónde:

B_t = beneficios en cada periodo del proyecto t

C_t = costos en cada periodo del proyecto

$(1+r)^{-t}$ = factor de actualización

r = tasa de actualización

t = tiempo en años

Para evaluar un proyecto de inversión, desde el punto de vista económico, el criterio de decisión del TIR es que debe ser: Si $TIR > \text{tasa de descuento (r)}$: El proyecto es aceptable; Si $TIR = r$: El proyecto es postergado; Si $TIR < \text{tasa de descuento (r)}$: El proyecto no es aceptable (Muñante, 2002; Romero *et al.*, 2009).

- Relación Beneficio-Inversión Neta (N/K)

La relación Beneficio / Inversión nos indica la ganancia neta generada por el proyecto por cada unidad monetaria invertida. Se obtiene con los datos del VAN; cuando se divide la sumatoria de todos los beneficios entre la sumatoria de los costos; es decir, el cociente que resulta de dividir el valor actual del flujo de fondos o beneficios incrementales netos en los años después de que esta corriente se ha vuelto positiva (N_t), entre la corriente del flujo de fondos en los primeros años del proyecto, en que esa corriente es negativa (K), a una tasa de actualización r previamente determinada. La fórmula para obtener la relación beneficio-inversión neta es:

$$\frac{N}{K} = \frac{\sum_{t=1}^T N_t(1+r)^{-t}}{\sum_{t=1}^T C_t(1+r)^{-t}}$$

Dónde:

N_t = corriente del flujo de fondos en cada periodo, después de que éste se ha vuelto positivo t

C_t = corriente del flujo de fondos en los periodos iniciales del proyecto cuando es negativo t

$(1+r)^{-t}$ = Factor de actualización

r = tasa de actualización

t = tiempo en años

Para evaluar un proyecto de inversión, desde el punto de vista económico, el criterio de decisión del N/K es que debe ser: Si $N/K > 1$: El proyecto es aceptable; Si $N/K = 1$ o cercano a 1: El proyecto es postergado; Si $N/K < 1$: El proyecto no es aceptable. El criterio formal de selección, a través de este indicador, es aceptar todos los proyectos cuyas N/K sean igual o mayor que uno, a la tasa de actualización seleccionada (Muñante, 2002; Romero *et al.*, 2009).

- Relación Beneficio-Costo (B/C)

También llamado “índice de rendimiento”. En un método de evaluación de proyectos, que se basa en el “valor presente”, y que consiste en dividir el valor presente de los ingresos entre el valor presente de los egresos. Si este índice es mayor que 1 se acepta el proyecto; si es inferior que 1, no se acepta; ya que significa que la rentabilidad del proyecto es inferior al costo del capital. El valor de la Relación Beneficio/Costo cambiará, según la tasa de actualización seleccionada; o sea, que cuanto más elevada sea dicha tasa, menor será la relación en el índice resultante. La fórmula que se utiliza es:

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{t=1}^T B_t(1+r)^{-t}}{\sum_{t=1}^T C_t(1+r)^{-t}}$$

Dónde:

B_t = beneficios en cada periodo del proyecto t

C_t = costos en cada periodo del proyecto t

r = tasa de actualización

t = tiempo en años

$(1+r)^{-t}$ = factor de actualización

Para evaluar un proyecto de inversión, desde el punto de vista económico, el criterio de decisión del B/C es que debe ser: Si $B/C > 1$: El proyecto es aceptable; Si $B/C =$ o cercano a 1: El proyecto es postergado; Si $B/C < 1$: El proyecto no es aceptable. De acuerdo con el criterio formal de selección de los proyectos de inversión basados en este indicador, se aceptará el proyecto o se catalogará como rentable si la B/C es mayor que uno (Muñante, 2002; Romero *et al.*, 2009).

- Tasa de Actualización

Para el análisis financiero, se tomó una tasa de actualización del 1.28%, la cual representa la tasa de interés real calculada con base en una tasa nominal de 5.06% (CETES) y una inflación de 3.73% anual (pronosticada), para el 2014 (Acus Consultores, 2015).

Se proyectaron los ingresos y egresos de cada uno de los dos sistemas de producción (convencional y orgánico) de acuerdo a la capacidad de producción de cada invernadero de 1 000 m². En el sistema convencional se obtuvo un rendimiento de 72,000 Kg de jitomate Saladette durante dos ciclos de producción (doce meses) a un precio de venta de \$4.96 pesos por kilo y en el sistema orgánico se obtuvo un rendimiento de 54,000 Kg a un precio de venta de \$9.04 pesos por kilo (SIAP, 2015).

7.5 Resultados

Para el caso de la producción de jitomate Saladette bajo condiciones de invernadero con sistema de producción convencional y orgánico, los costos de inversión, fijos, variables y totales se expresan en la tabla 11, donde los materiales empleados en la comunidad de San Bernardino Tepenen son elaborados por los mismos productores, reduciendo los costos en el manejo orgánico.

Tabla 11. Costos de producción de dos sistemas de jitomate bajo invernadero de 1 000 m², en San Bernardino Tepenene, Tzicatlacoyan, Puebla, México, para el año 2015.

COSTOS	PESOS (\$)	
	Manejo Convencional	Manejo Orgánico
Inversión	660 000.00	660 000.00
Fijos	84 600.00	48 800.00
Variable	33 600.00	24 000.00
Totales	778 200.00	732 800.00

Leal, 2016.

El análisis del Punto de Equilibrio es un método de Planeación Financiera que tiene por objeto proyectar el nivel de ventas netas que necesita una empresa para cubrir los gastos de operación en una economía con estabilidad de precios, para tomar decisiones y alcanzar objetivos (Perdomo, 2001; Muñante, 2002). El punto de equilibrio se calculó matemáticamente de la siguiente manera:

$$PE.VV = CFT/[1 - (CVT/IT)]$$

$$PE.VP = PE.VV/(IT/UV)$$

Donde:

PE.VV = punto de equilibrio en el valor de ventas

PE.VP = punto de equilibrio en el volumen de producción

CFT = sumatoria del costo fijo total

CVT = sumatoria del costo variable total

IT = ingresos totales

UV = unidades vendidas

$$\text{PE. VV} = \$ 88\,204 \text{ pesos}$$

$$\text{PE. VP} = 17\,783.07 \text{ Kg}$$

El monto de los ingresos necesarios, para lograr el punto de equilibrio, asciende a \$88 204.00 pesos obtenidos por una venta de 17 783.07 kilogramos en 1 000 m² a un precio de venta de \$4.96 pesos por kilogramo, producido de forma convencional (fig. 9).

$$\text{PE. VV} = \$ 51\,323.27 \text{ pesos}$$

$$\text{PE. VP} = 5\,677.36 \text{ Kg}$$

El monto de los ingresos necesarios, para lograr el punto de equilibrio, asciende a \$ 51,323.27 pesos obtenidos por una venta de 5,677.36 kilogramos en 1 000 m² a un precio de venta de \$9.04 pesos x kilogramo producido de forma orgánica (fig. 9).

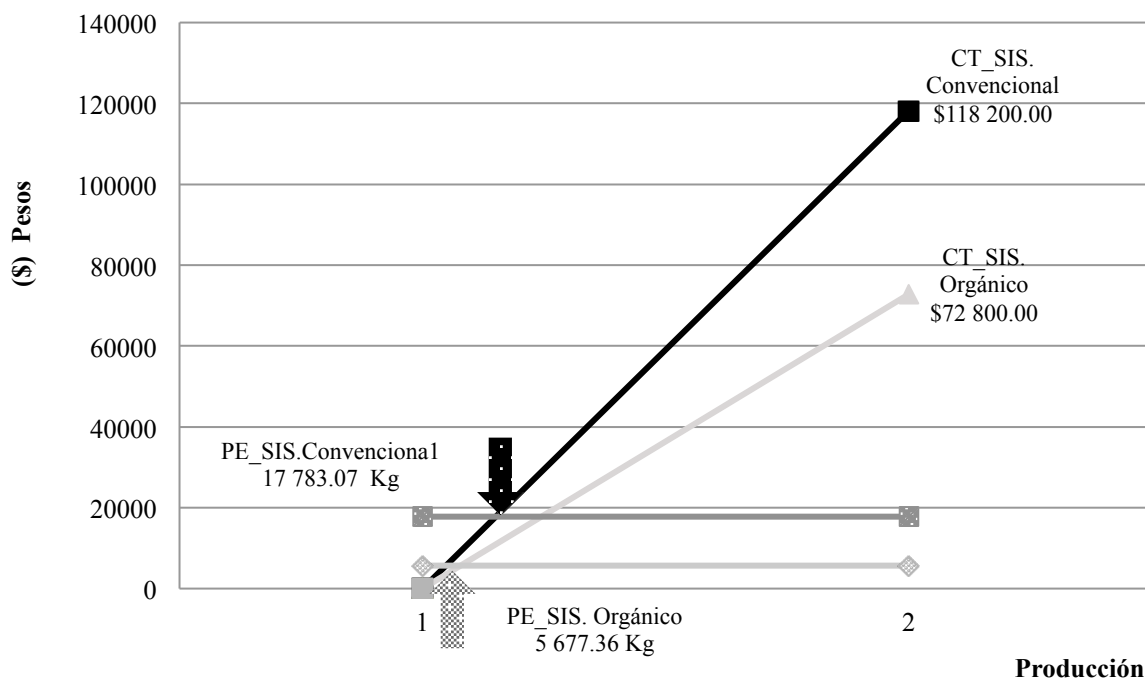


Figura 9. Punto de equilibrio para la producción convencional y orgánica del cultivo de jitomate bajo condiciones de invernadero en la comunidad de San Bernardino Tepenene, perteneciente al municipio de San Juan Tzicatlacoyan, Puebla-México, para el año 2015.

La inversión realizada por los productores de jitomate bajo invernadero con una superficie de 1 000 m² de ambos sistemas productivos, convencional y orgánico de San Bernardino Tepenene,

fue de \$660,000.00. Los costos de producción fueron de \$84,600.00 en el sistema convencional y \$48, 800.00 en el orgánico, más costos variables \$33,600.00 para el primero y \$24,000.00 para el segundo; los ingresos por las ventas, en el convencional fueron de \$357,120.00 y \$488,160.00 en el orgánico. Para dos ciclos en un periodo de doce meses, los ingresos y egresos proyectados se presentan en la tabla 12.

Tabla 12. Ingresos y egresos proyectados a 10 años para la producción convencional y orgánica de ambos sistemas de jitomate bajo condiciones de invernadero en la comunidad de San Bernardino Tepenene perteneciente al municipio de San Juan Tzicatlacoyan, Puebla-México, con una superficie de 1 000 m², para el año 2015.

Año	INGRESOS		EGRESOS	
	PRODUCCIÓN			
	Convencional	Orgánica	Convencional	Orgánica
1	357 120.00	488 160.00	660 000.00	660 000.00
2	357 120.00	488 160.00	220 740.48	171 963.92
3	357 120.00	488 160.00	220 740.48	171 963.92
4	357 120.00	488 160.00	220 740.48	171 963.92
5	357 120.00	488 160.00	220 740.48	171 963.92
6	357 120.00	488 160.00	220 740.48	171 963.92
7	357 120.00	488 160.00	220 740.48	171 963.92
8	357 120.00	488 160.00	221 740.48	172 963.92
9	357 120.00	488 160.00	221 740.48	172 963.92
10	357 120.00	488 160.00	221 740.48	172 963.92

Leal, 2016.

El método para calcular de forma manual los indicadores de acuerdo a Muñante (2002) es el siguiente:

- 1) Se multiplican los costos totales y los ingresos totales por el factor de actualización $(1+0.0128)^{-t}$; donde t es el tiempo en años.
- 2) Se procede a calcular el VAN y la relación B/C.
- 3) Posteriormente, se calcula el flujo de fondos; el cual se obtiene de restarle a los beneficios totales los costos totales año con año del proyecto.
- 4) Una vez obtenido el flujo de fondos, éste se actualiza con el mismo factor de actualización $(1+0.0128)^{-t}$, donde t es el tiempo en años.
- 5) Se procede a calcular la relación N/K.
- 6) El cálculo de la TIR se efectúa al iniciar el flujo de fondos actualizados al 4.48% y se busca una tasa de actualización en la que los costos sean ligeramente mayores a los beneficios, que deberá ser mayor a 4.48%; se procede a calcular el flujo de fondos al 10% (tabla 13, 14).

Tabla 13. Cálculo del VAN y la relación B/C para la producción convencional y orgánica de ambos sistemas de jitomate bajo condiciones de invernadero en la comunidad de San Bernardino Tepenene perteneciente al municipio de San Juan Tzicatlacoyan, Puebla-México, con una superficie de 1 000 m², para el año 2015.

Año	Costos Totales (\$)					Costos Totales (\$)							
	Sistema Convencional	Sistema Orgánico	Beneficios Brutos Totales (\$)	Sis. Convencional	Beneficios Brutos Totales (\$)	Sis. Orgánico	Factor de Actualización al 1.28%	Sistema Convencional	Sistema Orgánico	Beneficios Totales Actualizados (\$)	Sis. Convencional	Beneficios Totales Actualizados (\$)	Sis. Orgánico
1	660000.00	660000.00	357120.00		488160.00		0.98	643525.74	643525.74	348205.93		475975.04	
2	220740.48	171963.92	357120.00		488160.00		0.95	209858.21	163486.28	339514.36		464094.23	
3	220740.48	171963.92	357120.00		488160.00		0.93	204619.94	159405.50	331039.74		452509.97	
4	220740.48	171963.92	357120.00		488160.00		0.90	199512.42	155426.58	322776.66		441214.87	
5	220740.48	171963.92	357120.00		488160.00		0.88	194532.39	151546.98	314719.83		430201.71	
6	220740.48	171963.92	357120.00		488160.00		0.86	189676.67	147764.21	306864.11		419463.44	
7	220740.48	171963.92	357120.00		488160.00		0.84	184942.15	144075.87	299204.48		408993.22	
8	221740.48	172963.92	357120.00		488160.00		0.82	181142.72	141296.51	291736.03		398784.34	
9	221740.48	172963.92	357120.00		488160.00		0.80	177392.38	138371.14	285696.00		390528.00	
10	221740.48	172963.92	357120.00		488160.00		0.78	172212.58	134330.74	277353.76		379124.69	
TOTAL								2 357 415.19	1 979 229.54	3 117 110.90	4 260 889.50		

Leal, 2016.

Tabla 14. Cálculo de la relación N/K y la TIR para ambos sistemas de producción convencional y orgánico, bajo condiciones de invernadero en la comunidad de San Bernardino Tepenene perteneciente al municipio de San Juan Tzicatlacoyan, Puebla-México, con una superficie de 1 000 m², para el año 2015.

Años	Flujo de Fondos		Factor al 1.28%	Flujo Actualizado		Factor al 10%	Flujo Actualizado al 10 %	
	Sistema Convencional	Sistema Orgánico		Sistema Convencional	Sistema Orgánico		Sistema Convencional	Sistema Orgánico
1	-302880	-171840	0.98	-295319.81	-167550.70	0.91	-268472.56	-152318.82
2	136379.52	267419.52	0.95	129656.15	254236.02	0.83	107153.85	210112.41
3	136379.52	267419.52	0.93	126419.81	247890.03	0.75	94981.07	186243.45
4	136379.52	267419.52	0.90	123264.24	241702.45	0.68	84191.14	165086.03
5	136379.52	267419.52	0.88	120187.44	235669.32	0.62	74626.95	146332.10
6	136379.52	267419.52	0.86	117187.44	229786.78	0.56	66149.26	129708.64
7	136379.52	267419.52	0.84	114262.33	224051.07	0.51	58634.64	114973.62
8	135379.52	266419.52	0.82	110593.31	217641.62	0.47	51978.86	102291.56
9	135379.52	266419.52	0.80	108303.62	213135.62	0.42	45931.31	90390.31
10	135379.52	266419.52	0.78	105141.18	206912.11	0.39	40536.48	79773.58
Total				759 695.71	1 903 474.31		355 710.98	1 072 592.89

Leal, 2016.

7.5.1 Cálculos indicativos:

- **Sistema de Producción Convencional.**

$$\text{VAN} = 3\,117\,110.90 - 2\,357\,415.19 = 759\,695.72$$

$$\text{B/C} = 3\,117\,110.90 / 2\,357\,415.19 = 1.322$$

$$\text{N/K} = 1\,055\,015.53 / 299\,319.81 = 3.52$$

$$\text{TIR} = 1.28 + (10 - 1.28) [(759\,695.72) / (759\,695.72) - (355\,710.98)] = 18.80$$

- **Sistema de producción Orgánico.**

$$\text{VAN} = 4\,260\,889.50 - 1\,979\,229.54 = 2\,281\,659.96$$

$$\text{B/C} = 4\,260\,889.50 / 1\,979\,229.54 = 2.152$$

$$\text{N/K} = 2\,071\,025.02 / 167\,550.70 = 12.36$$

$$\text{TIR} = 1.28 + (10 - 1.28) [(1\,903\,474.31) / (1\,903\,474.31) - (1\,072\,592.89)] = 22.90$$

7.6 Discusión

El presente trabajo de investigación presenta el primer estudio donde se realiza una evaluación económica de producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) variedad Saladette en dos sistemas de producción (convencional y orgánico) ambos bajo condiciones de invernadero en la comunidad de San Bernardino Tepenene; de acuerdo con los valores obtenidos y aplicando los indicadores de evaluación económica, se puede interpretar de la siguiente manera:

VAN para el sistema de producción convencional, quiere decir que durante la vida útil del proyecto a una tasa de actualización del 1.28% se va a obtener una utilidad neta de \$759,695.72 pesos. De acuerdo con el criterio formal de selección y evaluación a través de este indicador, el proyecto se determina como rentable. Para el sistema de producción orgánico la VAN quiere decir que durante la vida útil del proyecto, a una tasa de actualización del 1.28%, se va a obtener una utilidad neta de \$ 2,281,659.96 M/N. De acuerdo con el criterio formal de selección y evaluación, a través de este indicador, el proyecto se determina como muy rentable. El hecho de que la VAN obtenida de lo producido orgánicamente sea mayor que lo adquirido de forma convencional, se debe a un mejor posicionamiento en cuanto a precio de compra, tal como lo muestra el SIAP (2015), sobreponiéndose de esta forma a la mayor productividad que se logra en el sistema convencional con respecto a lo producido de forma orgánica, que va de un -26% a un 33% de acuerdo a Seufert *et al* (2012).

El B/C para el sistema de producción convencional, expresa que durante la vida útil del proyecto, a una tasa de actualización del 1.28%, por cada peso invertido se obtendrá \$1.32 de beneficio. Como la relación es mayor que 1, cumple con el criterio de selección y evaluación, indicando que el proyecto es viable y rentable. Dado que estos resultados son muy parecidos a los obtenidos por Torres y Sánchez (2011), quienes obtuvieron un B/C de 1.57 en uno de sus tratamientos de producción convencional de jitomate bajo invernadero, se acredita lo obtenido en este estudio.

Para el sistema de producción orgánico el B/C expresa que durante la vida útil del proyecto, a una tasa de actualización del 1.28%, por cada peso invertido se obtendrá \$2.152 de beneficio. Como la relación es mayor que 1, cumple con el criterio de selección y evaluación, indicando que el proyecto es viable y rentable con mejores resultados que el sistema de producción convencional, dado que estos resultados concuerdan con lo señalado por Márquez *et al.* (2008) quienes reiteran que la producción orgánica en invernadero aumenta la relación beneficio–costo, reflejándose en el incremento de la producción orgánica sobre la convencional; tal como lo marca el IFOAM (2013), quien registro un crecimiento anual del mercado de 10.4%, desde 2012 a la fecha.

Para N/K nos indica que durante la vida útil del proyecto a una tasa de actualización del 1.28 %, por cada peso invertido inicialmente se obtendrán beneficios netos totales de \$3.52 en el convencional y \$12.36 para el orgánico. El resultado de este indicador cumple con el criterio formal de selección y evaluación de ser mayor que 1. Dado que el resultado de N/K para el sistema convencional es muy similar al obtenido por Rucoba *et al.* (2006) quien obtuvo un N/K de \$3.86 en la producción de jitomate bajo invernadero de forma convencional en el estado de Chihuahua, reiterándose con esta comparación, que N/K en la producción orgánica es mayor que la obtenida de forma convencional, esto debido a que el valor de la producción orgánica de jitomate, puede llegar a cotizarse a un precio de 5.84 veces mayor que el convencional (Anónimo, 2005).

La TIR significa que durante la vida útil del proyecto, para el sistema de producción convencional se recuperará la inversión y se obtendrá una rentabilidad del 18.8%. También este indicador refleja la tasa de interés máxima que el proyecto puede soportar para ser

viable. Por ser la TIR mayor que la tasa de actualización, se concluye que se debe continuar con el proyecto, sin embargo, el sistema de producción orgánico presenta una mejor rentabilidad (22.9%) que el sistema convencional, esto debido a lo mencionado por Alvajana *et al.* (2004); Márquez y Cano (2005) y Márquez *et al.* (2006) quienes afirmaron que hay un incremento en la tendencia de los consumidores a preferir alimentos libres de agroquímicos, inocuos y con alto valor nutricional, en especial aquellos que son consumidos en fresco como el jitomate.

7.7 Conclusiones

En la evaluación de rentabilidad de los sistemas de producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) tipo Saladette, en condiciones de invernadero en la comunidad de San Bernardino Tepenene perteneciente al municipio de San Juan Tzicatlacoyan, Puebla-México, se demostró que el mismo cultivo bajo diferente manejo de producción en este caso orgánico, fomenta una mayor obtención de beneficios económicos a la unidad de producción familiar (UPF), representando de esta manera un mejor aprovechamiento de los subproductos que genera la actividad agrícola de la región, haciendo énfasis en la mayor utilización de recurso de mano de obra, generando con esto un mayor auto empleo para la familia rural.

De acuerdo al análisis realizado, las principales variables que demuestran las ventajas de la producción orgánica sobre la convencional, son los costos fijos estos logrados gracias al aprovechamiento de los recursos disponibles en la comunidad y a la aportación de la mano de obra familiar aunado a una mejor cotización de valor de compra que el mercado ofrece a los productos orgánicos, con respecto a los producidos de forma convencional; de esta forma se demuestra que aunque el volumen de producción en el sistema orgánico sea menor que en el convencional los beneficios económicos obtenidos por el primer sistema son mayores.

Los costos fijos, variables y el punto de equilibrio pueden ser logrados y superados cuando se manejen economías crecientes en la UPF o por el incremento en el volumen de ventas. El sistema de producción orgánico, alcanza su punto de equilibrio con 5,677.36 Kg lo que

genera un recurso económico de \$51,323.27; En el sistema de producción convencional el punto de equilibrio es alcanzado con 17,783.07 Kg lo que genera un recurso económico de \$88 204.00, demostrando una mayor rentabilidad en el sistema con manejo orgánico. Además cualquier sistema de producción promueve la organización social y se logra el desarrollo de pequeñas empresas familiares a nivel rural.

7.8 Literatura citada

- Acus, Consultores. 2015. Expectativas económicas para México. <http://www.acus.com.mx/reportes/expectativas>. (21 Oct 2015).
- Adekiya, A., Agbede, T. 2016. Effect of methods and time of poultry manure application on soil and leaf nutrient concentrations, growth and fruit yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Journal the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 10(1): 01-06.
- Alston, J.M., Pardey, P. 2014. Agriculture in the Global Economy. *The Journal of Economic Perspectives*. 28(1): 121-146.
- Alvajana, M.R., Hoppin, J.A., Kamel, F. 2004. Health effects of chronic pesticide exposure: cancer and neurotoxicity. *Annu. Rev. Public Health*. 25: 155–197.
- Anido, R., García, A., Coque, O., José, M., Hassan, T. 2010. EL sector de frutas y hortalizas español y la política agraria común: actualidad y perspectivas en el marco de la organización común de mercados. *Agroalimentaria*. 16 (31): 115-139.
- Anónimo. 2005. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Sistema de Información Agropecuarias de Consulta (SIACON). Versión 1.1. México, D.F. En CD.
- Avedaño, R. 2008. Globalización y competitividad en el sector hortofrutícola: México, el gran perdedor. *El cotidiano*. 23 (147): 91-98.
- Barrón, A. 2013. Desempleo entre los jornaleros agrícolas, un fenómeno emergente. *Problemas del desarrollo*. 44 (175): 55-79.
- FAOSTAT. 2013. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, estadísticas. <http://faostat.fao.org/>. (25 May 2015).

- Ferratto, J., Mondino, M.C. 2008. Producción, consumo y comercialización de hortalizas en el mundo. *Revista Agromensajes*. 4 (1): 24-38.
- Galindo, E., Serrano-Carreón, L., Gutiérrez, R., Balderas-Ruiz, K., Muñoz-Celaya, L., Mezo-Villalobos, M., Arroyo-Colín, J. 2015. Desarrollo histórico y los retos tecnológicos y legales para comercializar Fungifree AB®, el primer biofungicida 100% mexicano. *Revista especializada en ciencias químico-biológicas*. 18 (1):52-60.
- Howden, S.M., Soussana, J.F., Tubiello, F.N., Chhetri, N., Dunlop, M., Meinke, H. 2007. Adapting agriculture to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 104 (50): 19691-19696.
- IFOAM. 2013. The world of Organic Agriculture. La situación actual de la agricultura orgánica en Latinoamérica y el Caribe.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 2005. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Puebla. http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geogra_cos/21/21001. (24 de febrero de 2015).
- Márquez, H.C., Cano, P. 2005. Producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Actas Portuguesas de Horticultura*. 5 (1): 219-224.
- Márquez, H.C., Cano, R.P., Rodríguez, D.N. 2008. Uso de sustratos orgánicos para La producción de tomate en invernadero. *Agric. Téc. Méx.* 34 (1): 69-74.
- Márquez-Hernández, C., Cano-Ríos, P., Chew-Madinaveitia, Y.I., Moreno-Reséndez, A., Rodríguez-Dimas, N. 2006. Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 12 (2): 183-189.
- McClung de Tapia, E., Yrizar, D.M., Morales, E.I., Morán, C.A. 2014. Los orígenes prehispánicos de una tradición alimentaria en la cuenca de México. *Anales de Antropología*. 48 (1): 97-121.
- Muñante, D.D. 2002. Manual de formulación y evaluación de proyectos. UACH, México. 168 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2012). El estado mundial de la agricultura y la alimentación, Invertir en la agricultura para construir un futuro mejor. FAO, Roma, Italia. 178 p.

- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura “FAO”. 2013. Perspectivas agrícolas 2013-2022. Texcoco, Estado de México, Universidad Autónoma Chapingo. 257 p.
- Ortega-Martínez, L.D., Ocampo-Mendoza, J., Sandoval-Castro, E., Martínez-Valenzuela, C., Huerta De La Peña, A., Jaramillo-Villanueva, J.L. 2014. Caracterización y funcionalidad de invernaderos en Chignahuapan Puebla-México. *Revista Bio Ciencias*. 2 (4):261-270.
- Romero, A.O., Barrios, D.M., Macías, L.A., Simón, B.A., Ibáñez, A., Juárez, F. 2009. Análisis de rentabilidad de un sistema de producción de hongo seta bajo condiciones de invernadero, en el municipio de Amozoc de Mota en el estado de Puebla. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 25: 34-44.
- Romero-Arenas, O., Huerta-Lara, M., Damián, H.M.A., Domínguez, H.F., Victoria, A.D. 2009. Características de *Trichoderma harzianum* como agente limitante en el cultivo de hongos comestibles. *Revista Colombiana de Biotecnología*. 11 (2): 143-151.
- Rucoba, G.A., Anchondo, N.A., Lujan, A.C., Olivas, G.J. 2006. Análisis de rentabilidad de un sistema de producción de tomate bajo invernadero, en la región Centro-Sur de Chihuahua. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 19: 1-10.
- SAGARPA. 2015. <http://consulmex.sre.gob.mx/omaha/images/JITOMATE/jitomate.pdf>.
- Sánchez del Castillo, F., Moreno-Pérez, E., Cruz-Arellanes, L. 2009. Producción de jitomate hidropónico bajo invernadero en un sistema de dosel en forma de escalera. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15 (1): 67-73.
- SEMARNAT. 1997. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM-037-FITO-1995. Por la que se establecen las especificaciones del proceso de producción y procesamiento de productos agrícolas orgánicos. Diario Oficial de la Federación, p. 17
- Seufert, V., Ramankutty, N., Foley, J.A. 2012. Comparing the yields of organic and conventional agricultura. *Nature letter*. 485: 229-232.

- SIAP. 2015. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Series históricas de superficie sembrada y cosechada, SAGARPA. Disponible en <http://bit.ly/1195bJS>. (10 Junio de 2015).
- Terrones, C.A., Sánchez, T.Y. 2011. Análisis de rentabilidad económica de la producción de jitomate bajo invernadero, Acaxochitlán, Hidalgo. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 15 (29): 752-761
- Victoria-Arellano, D., Guzmán-Plazola, A., Zavaleta-Mejía, E., Romero-Arenas, O. 2015. Biological Control of *Phytophthora capsici* by Native *Trichoderma* of the Rhizosphere of Serrano Pepper, *In vitro*. *Journal of Pure y Applied Microbiology*. 9 (3): 1951-1955.
- Zuloaga, A. 1994. Efectos de la reforma jurídica y económica sobre el empleo en el sector agropecuario. *Cuadernos de Trabajo* 7: 65-87.

CAPÍTULO VIII

VIII CONCLUSIONES GENERALES

- La mayor concentración de conidios se presentó en el biopreparado Th-ZFMAM con 83×10^4 con/mL en medio de cultivo PDA, representando el 98% de viabilidad de estructuras reproductivas de *T. harzianum*, mayor en comparación a las demás formulaciones.
- La formulación Th-Z elaborada a base de zeolita y *T. harzianum*, presentó mayor porcentaje de mortalidad y daño estructural de estructuras reproductivas, representando el 15% de viabilidad de conidios a los 90 días de almacenamiento a 18 °C.
- Estos resultados demuestran la factibilidad del uso de alga marina *Porphyra umbilicales* R, para la formulación de biofungicidas utilizando *T. harzianum* como agente antagónico.
- La eficacia mostrada por los biopreparados evaluados en este estudio en contra de *Phitophthora capsici*, aplicado a plantas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), demostraron que los tratamientos a base de cepas nativas de *Trichoderma* tienen acción de supresión ante este patógeno, esto mediante los resultados obtenidos en los cuales se obtuvo un rango de supervivencia entre el 62.7 a 76.4% en comparación del tratamiento testigo el cual con un 46% demostró una mayor vulnerabilidad a *P. capsici*, este último fue quien presentó la menor supervivencia con un 18.1%.
- El biopreparado con *T. harzianum* presentó la mejor altura con 190.7 cm, grosor de tallo de 1.32 cm, producción de biomasa seca de 0.26 g, peso promedio de fruto de 118 g y un rendimiento promedio de 4.50 Kg por planta, esto al compararlo con el testigo quien obtuvo una altura de 130.3 cm, grosor de tallo de 1.04 cm, producción de biomasa seca de 1.04 g, peso promedio de fruto de 48.94 g y un rendimiento promedio de 1.86 Kg.

- En la evaluación de rentabilidad de los sistemas de producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) tipo Saladette, en condiciones de invernadero en la comunidad de San Bernardino Tepenene perteneciente al municipio de San Juan Tzicatlacoyan, Puebla-México, se demostró que el mismo cultivo bajo diferente manejo de producción en este caso orgánico, fomenta una mayor obtención de beneficios económicos a la unidad de producción familiar (UPF), representando de esta manera un mejor aprovechamiento de los subproductos que genera la actividad agrícola de la región, haciendo énfasis en la mayor utilización de recurso de mano de obra, generando con esto un mayor auto empleo para la familia rural.
- De acuerdo al análisis realizado, las principales variables que demuestran las ventajas de la producción orgánica sobre la convencional, son los costos fijos y una mejor cotización de valor de compra que el mercado ofrece a los productos orgánicos, con respecto a los producidos de forma convencional; de esta forma se demuestra que aunque el volumen de producción en el sistema orgánico sea menor que en el convencional los beneficios económicos obtenidos por el primer sistema son mayores.
- Los costos fijos, variables y el punto de equilibrio pueden ser logrados y superados cuando se manejen economías de escala o por el incremento en el volumen de ventas. El sistema de producción orgánico, alcanza su punto de equilibrio con 5,677.36 Kg lo que genera un recurso económico de \$51,323.27. En el sistema de producción convencional el punto de equilibrio es alcanzado con 17,783.07 Kg lo que genera un recurso económico de \$88,204.00, demostrando una mayor rentabilidad en el sistema con manejo orgánico. Además cualquier sistema de producción promueve la organización social y se logra el desarrollo de pequeñas empresas familiares a nivel rural.

CAPÍTULO IX

IX LITERATURA GENERAL

- Acosta-Durán, C.M., Acosta-Peñaloza, D. Nava-Gómez, L.M. 2009. Control biológico de hongos fitopatógenos del suelo. *Investigación Agropecuaria*. 6 (1): 27-42.
- Acus, Consultores. 2015. Expectativas económicas para México. <http://www.acus.com.mx/reportes/expectativas>. (21 Octubre de 2015).
- Adekiya, A., Agbede, T. 2016. Effect of methods and time of poultry manure application on soil and leaf nutrient concentrations, growth and fruit yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Journal the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 10 (1): 1-6.
- Aldana, J., Cure, J. R., Almanza, M. T., Vecil, D., Rodríguez, D. 2007. Efecto de *Bombus atratus* (Hymenoptera: Apidae) sobre la productividad de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo invernadero en la Sabana de Bogotá, Colombia. *Agronomía colombiana*. 25 (1): 62-72.
- Alston, J.M., Pardey, P. 2014. Agriculture in the Global Economy. *The Journal of Economic Perspectives*. 28 (1): 121-146.
- Alvajana, M.R., Hoppin, J.A., Kamel, F. 2004. Health effects of chronic pesticide exposure: cancer and neurotoxicity. *Annu. Rev. Public Health*. 25: 155-197.
- Álvarez-Hernández, J.C, H Cortez-Madrigal, I. García, R. 2009. Exploración y caracterización de poblaciones silvestres de jitomate (Solanaceae) en tres regiones de Michoacán, México. *Polibotánica*. 28:139-159.
- Álvarez, A., López-Benítez, A., Borrego-Escalante, F., Rodríguez-Herrera, S.A, Flores-Olivas, A., Jiménez-Díaz, F., Gámez-Vázquez, A.F. 2008. Marchitez Vascular del Tomate: I. Presencia de Razas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* (Sacc.) Snyder y Hansen en Culiacán, Sinaloa, México. *Revista mexicana de fitopatología*. 26 (2):114-120.

- Amaro-Leal, J.L. Romero, A. O., Rivera, A., Huerta, L. M. and E. Reyes. 2015. Effect of the formulation of seaweed (*Porphyra umbilical* R.) in Biopreparations based on *Trichoderma harzianum* Rifai. *Journal of Pure and Applied Microbiology*. 9: 2033-2040.
- Anido, R., García-Álvarez, D., Coque, J., Ouabouch, M., Hassan, D. 2010. EL sector de frutas y hortalizas español y la política agraria común: actualidad y perspectivas en el marco de la organización común de mercados. *Agroalimentaria*. 16 (31): 115-139.
- Anónimo. 2005. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Sistema de Información Agropecuarias de Consulta (SIACON). Versión 1.1. México, D.F. En CD.
- Argumedo-Delira, R., Alarcón, A., Ferrera-Cerrator, L., Peña-Cabriaes, J. 2009. El género fúngico *Trichoderma* y su relación con contaminantes orgánicos e inorgánicos. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 25 (4): 257-269.
- Avedaño-Ruíz, B.D. 2008. Globalización y competitividad en el sector hortofrutícola: México, el gran perdedor. *El cotidiano*. 23 (147): 91-98.
- Avedaño, R., Schwentesius, R. 2005. Factores de competitividad en la producción y exportación de hortalizas: el caso del valle de Mexicali. *Problemas de desarrollo*. 36 (1409): 165-192.
- Badii, M. H., L. O. Tejada, A. E. Flores, C. E. López, H. Quiróz. 2000. Historia, Fundamentos y Perspectivas de Control Biológico. UANL, Monterrey pp. 3-17.
- Badii, M.H., Abreu, J.L. 2006. Control biológico una forma sustentable de control de plagas (Biological control a sustainable way of pest control). *International Journal of Good Conscience*. 1 (1): 82-89.
- Barnett, H.L., Binder, F.L. 1973. The fungal host-parasite relationship. *Annual review of phytopathology*. 11 (1): 273-292.

- Barrón, A. 2013. Desempleo entre los jornaleros agrícolas, un fenómeno emergente. *Problemas del desarrollo*. 44 (175): 55-79.
- Bastida, T.A. 2006. Manejo. Manejo y operación de invernaderos agrícolas. Universidad Autónoma de Chapingo, México. 238 p.
- Bautista-Calles, J., García-Espinosa, R., Pérez-Moreno, J., Zavaleta-Mejía, E., Montes-Belmont, R. y Ferrera-Cerrato, R. (2008). Inducción de supresividad a fitopatógenos del suelo. Un enfoque holístico al control biológico. *Interciencia*. 33: 96-102.
- Bautista, C.J., García, R., Montes, R., Zavaleta E., Pérez, J., Ferrera, R., García, R. y Huerta, M. 2010. Disminución de la marchitez del chile por introducción de antagonistas en cultivos de rotación. *Interciencia*. 35 (9): 673-679.
- Belanger, R., Dufuor, N., Caron, J., Benhamou, N. 1995. Chronological events associated with the antagonistic properties of *Trichoderma harzianum* against *Botrytis cinerea*: Indirect evidence for sequential role of antibiotics and parasitism. *Biocontrol Science Technology*. 5: 41-54.
- Benítez, N. 2002. Manual de laboratorio de Microbiología. Dpto. de Biología. Universidad del Valle. Cali, Colombia. 147 p.
- Benítez, T., Rincón, A.M., Limón, M.C., Codón, A. 2004. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. *International Microbiology*. 7: 249-260.
- Bernal, R. 2010. Enfermedades de tomate (*Lycopersicum esculentum* mill.) en invernadero en las zonas de salto y bella unión. Serie Técnica N° 181. Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología de INIA Andes 1365, Piso 12. Montevideo – Uruguay. ISBN: 978-9974-38-283-1. pág. 4,5, 17, 18-19.
- Bissett, J. 1991. A revision of the genus *Trichoderma*. III. Section *Pachybasium*. *Can. J. Bot.* 69:2373-2417.

- Borja-Bravo, M. 2012. Exportaciones nativas de tomate fresco en el mercado norteamericano: un estudio sobre el efecto de los factores que determinan la competitividad internacional. Tesis de Maestría, Texcoco Colegio de Postgraduados.
- Branch, S. 2005. Guide lines from the International Conference on Harmonisation (ICH). *Journal Pharm Biomed Anal.* 38: 798-805.
- Butt, T.M., Jackson, C., Magan, N. 2001. *Fungi as Biocontrol Agents: Progress, Problems and Potential*. CABI Publishing, Wallingford, United Kingdom. 385 p.
- Candela, M.E., Egea-Gilabert, C., Ezziyyani, M., Requena, M.E. 2007. Biological control of *Phytophthora* root of pepper using *Trichoderma harzianum* and *Streptomyces rochei* in combination. *Journal of Phytopathology.* 155: 342-349.
- Casanova, E., Sánchez, P., Segarra, G., Borrero, C. 2016. Beneficios del uso en la agricultura de agentes de control biológico. Consultado en abril 2016 en: [http://www.agroecologia.net/recursos/publicaciones/publicaciones-online/2009/eventosseae/cds/congresos/actasbullas/seae_bullas/verd/sesiones/16%20S4CSANIDAD%20\(III\)/S4C4.pdf](http://www.agroecologia.net/recursos/publicaciones/publicaciones-online/2009/eventosseae/cds/congresos/actasbullas/seae_bullas/verd/sesiones/16%20S4CSANIDAD%20(III)/S4C4.pdf)
- Chamarro, L.J. 2001. Anatomía y fisiología de la planta. En: El cultivo del tomate. Mundi Prensa. España. pp. 43-91.
- Chávez-García, M.P. 2006. Producción de *Trichoderma* sp. y evaluación de su efecto en cultivo de crisantemo (*Dendranthema grandiflora*). Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Microbiología Industrial Agrícola y Veterinaria. Bogotá, D.C. pp. 1-15.
- Chet, I., and Ibar, J. 1994. Biological control of fungal patho-gens. *Applied Biochemistry & Biotechnology.* 48: 37-43.
- Chet, I., Benhamou, N., Haran, S. 1998. Mycoparasitism and lytic enzymes. In: *Trichoderma and Gliocladium*. Vol. 2. Harman, G.E., Kubicek, C.P. (Eds.). Tylor y Francis. Inc. Bristol, PA. USA. pp 153-169.

- Chet, I., Ibar, J., Hadar, I. 1997. Fungal antagonists and mycoparasites. In *The Mycota IV: Environmental and Microbial Relationships* (Wicklow DT & Soderstrom B, eds.). New York: Springer Verlag. pp. 165-192.
- Cholango-Martínez, L.P. 2009. Selección de cepas de *Trichoderma* sp. *in vitro*, para el control de problemas radicales en flores de verano. CHECA-ECUADOR. pp. 28- 45.
- Cook, J. y Baker, K. 1989. The Nature and practice of biological control of plant pathogens. The American phytopathological society. II Edition, USA. 539 p.
- Cortes-Hernández, E. 2015. Abonos orgánicos y organismos antagónicos sobre inhibición de hongos fitopatógenos en cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). Tesis de Maestría en Ciencias en Edafología. Texcoco. Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. 130 p.
- Conabio. 1997. Provincias biogeográficas de México. Escala 1 : 4 000 000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Cotes, A., Lepoivre, P., Semal, J. 1996. Correlation between hydrolytic enzyme activities measured in bean seedlings after *Trichoderma koningii* treatment combined with pregermination and the protective effect against *Pythium splendens*. *Europ J Plant Pathol.* 102: 497-506.
- Cruz, B. 2007. Calidad de semilla de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) por efecto de potencialidades osmóticas, calcio y podas bajo condiciones de invernadero. Tesis de Doctorado en Recursos Genéticos y Productividad. Producción de Semillas. Texcoco, Colegio de Postgraduados. 98 p.
- Cubillos, J., Paez, N., Valero, L., Mejía T., Gamez, R. 2008. Efecto biocontrolador de *Trichoderma harzianum* frente a *Fusarium oxysporum* causante de la secadera del maracuyá en la zona bananera del Magdalena, Colombia. *Fitopatología Colombiana.* 32 (1): 19-23.

- Cubillos, J.C., Redondo, A.P., Doria, L.M. 2011. Evaluación de la Capacidad Biocontroladora de *Trichoderma harzianum* Rifai contra *Fusarium solani* (Mart.) Sacc. Asociado al Complejo “Secadera” en Maracuyá, Bajo Condiciones de Invernadero. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellin*. 64 (1): 5821-5830.
- Curtis, P. 1996. Aspectos de la morfología de angiospermas cultivadas. Universidad Autónoma Chapingo. 134 p.
- Dal Soglio, F.K., Bertagnolli, B.L., Sinclair, J.B., Yu, G.Y., Eastburn, D.M. 1998. Production of chitinolytic enzymes and endoglucanase in the soybean rhizosphere in the presence of *Trichoderma harzianum* and *Rhizoctonia solani*. *Biol Control*. 12: 111-117.
- De los Santos-Villalobos, S., Hernández-Rodríguez, L., Villaseñor-Ortega, F., and Peña-Cabriales, J. 2012. Production of *Trichoderma asperellum* t8a spores by a “home-made” solid-state fermentation of mango industrial wastes. *BioResources*. 7 (4): 4938-4951.
- DeBach, P. 1964. Biological control of insect pests and weeds. Chapman and Hall. London, U.K.
- Desai, B., Kotecho, M., Salunke, D. 1997. Seeds handbook. Biology, Production processing and storage. Ed Marcel Dekker. New York, U.S.A. the composition of nutrient solutions for hydropenic cropping: practical use. *Acta Hort*. 627 p.
- Díaz-Vázquez, S.G. 2013. Efecto de la radiación en el desarrollo fenológico, rendimiento y calidad en policultivo: chile, jitomate, maíz, frijol y amaranto en condiciones de invernadero. Tesis de Maestría en Ciencias. Querétaro. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Dikshit, A., Mishra, B.K., Mishra, R.C., Tiwari, A.K., Singh, Y. 2011. Biocontrol efficacy of *Trichoderma viride* isolates against fungal plant pathogens causing disease in *Vigna radiata* L. *Applied Science Research*. 3: 361-369.

- Doria, J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos tropicales*. 31 (1): 10-24.
- Echemendia-Medina, Y. 2016. *Phytophthora*: Características, diagnóstico y daños que provoca en algunos cultivos tropicales. Medidas de control. Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical. pp. 2-12.
- Elad, Y., Baker, R. 1985. The role of competition for iron and carbon in suppression of chlamidospore germination of *Fusarium* spp by *Pseudomonas* spp. *Phytopathology*. 75 (9): 1985-1053.
- Elad, Y., Chet, I. 1987. Possible role of competition for nutrients in biocontrol of *Pythium* damping-off by bacteria. *Phytopathology*. 77: 190-195.
- Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México 2016). Consultado Mayo 2016, disponible en: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM21puebla/municipios/21193a.html> consultado septiembre 2016.
- Estrada-Trejo, V. 2013. Diversidad del jitomate nativo de Puebla y Veracruz: valoración morfo-agronómica y germinación en medio salino. Tesis de Doctorado en Recursos Genéticos y Productividad. Texcoco. Colegio de Postgraduados.
- Ezziyyani, M., Pérez, C., Sid, A., Requena, M.E., Candela M.E. 2004. *Trichoderma harzianum* como biofungicida para el biocontrol de *Phytophthora capsici* en plantas de pimiento (*Capsicum annuum* L.). *Anales de Biología*. 26: 35-45.
- Ezziyyani, M., Requena, M., Pérez, S., Egea, G., Candela, M. 2003. Mecanismos de biocontrol de la «tristeza» del pimiento (*Capsicum annuum* L.) por microorganismos antagonistas. Actas de la XV Reunión de la Sociedad Española y VIII Congreso Hispano Luso de Fisiología Vegetal.
- Ezziyyani, M., Sid, A., Pérez, C., Candela, E. 2001. Interacción de la planta de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) con *Streptomyces Rochei Ziyani* y su efecto sobre la necrosis en el tallo causado por *Phytophthora capsici*. Actas de la XIV

Reunión de la Soc. Española de Fisiología Vegetal y VII Congreso Hispano-Luso de Fisiología Vegetal. Badajoz, España.

Fajardo, M.A. 1998. Estudio de las algas patagónicas del género *Porphyra* para su aprovechamiento en la alimentación humana. Tesis doctoral. Universidad Nacional de la Patagonia, San Juan Bosco. Chubut, Argentina. 198 p.

FAOSTAT. 2013. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, estadísticas. Disponible en <http://faostat.fao.org/>. (25 Mayo 2015).

Fernández-Herrera, E., Acosta-Ramos, M., Ponce-González, F., Pinto, V. 2007. Manejo biológico de *Phytophthora capsici* Leo., *Fusarium oxysporum* Schelechtend.: Fr. y *Rhizoctonia solani* Kühn en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Revista Mexicana de Fitopatología. 25:35-42.

Fernández, H.E., Acosta, R.M., Ponce, G.F., Pinto, M. 2006. Manejo Biológico de *Phytophthora capsici* Leo., *Fusarium oxysporum* Schlechtend.:Fr. y *Rhizoctonia solani* Kühn en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Revista Mexicana de Fitopatología. 35: 25-32.

Ferratto, J., Mondino, M.C. 2008. Producción, consumo y comercialización de hortalizas en el mundo. Revista Agromensajes. 4(1): 24-38.

Ferrigo, D., Raiola, A., Piccolo, E., Scopel, C., Causin, R. 2014. *Trichoderma harzianum* T22 induces in maize systemic resistance against *Fusarium verticillioides*. Journal of Plant Pathology. 96 (1): 133-142.

Flores-Lucero, J.M., Sánchez-Verdugo, C., Almendarez-Hernández, M.A. 2012. Inteligencia de mercado de tomate Saladette. Publicación de divulgación del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz, Baja California Sur, México. 74 p.

- Flores-Sánchez, I.D. 2012. Valoración agronómica y de calidad de fruto en poblaciones nativas de jitomate mexicano. Tesis de Maestría en Ciencias en Recursos Genéticos y Productividad Genética, Texcoco, Colegio de Postgraduados.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO-FAOSTAT.2012. <http://faostat.fao.org/site/342/default.aspx>.
- Galindo, E., Serrano-Carreón, L., Gutiérrez, R., Balderas-Ruíz, K., Muñoz-Celaya, L., Mezo-Villalobos, M., Arroyo-Colín, J. 2015. Desarrollo histórico y los retos tecnológicos y legales para comercializar Fungifree AB®, el primer biofungicida 100% mexicano. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*. 18 (1): 52-60.
- Gálvez-González, M. 2015. Producción de tomate saladette (*Lycopersicon esculentum* Mill) con soluciones nutritivas organicas en invernadero. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo Coahuila.
- Garza, L. 1985. Las hortalizas cultivadas en México, características botánicas. Departamento de Fitotecnia. UACH. Chapingo. México. 4 p.
- George, R. 1989. Producción de semillas hortícolas. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 73: 213-238.
- George, R. 1999. Vegetable seed production. 2nd edition; CABI Publishing. UK at the University Press, Cambrige. 328 p.
- Gevens. A.J. 2013. Manejo del tizón tardío en producción orgánica de tomates y de papa. Fitopatóloga, Extensionista de la Universidad de Wisconsin, Madison. pp. 6.
- Ghisalberti, E., 1991. Sivasithamparam, K. Antifungal antibiotics produced by *Trichoderma* spp. *Soil Bio Biochem*. 23:1011-1020.
- Glare, T., Caradus, J., Gelernter, W., Jackson, T., Keyhan, N., Kohl, J., Marrone, P., Morin, L., Stewart, A. 2012. Have biopesticides come of age. *Trends Biotechnol*. 30: 250-258.

- Gómez, S., Hoyos, L., González, E.P. 2008. Estudios de infección de *Spongospora subterranea* en papa (*Solanum tuberosum*) variedad comercial Diacol Capiro. *Revista Politécnica*. 7:9-18.
- González-Acosta, A., Mateos-Rocha, A., López, M.M., Hernández, S.M., González-Castro, A. 2013. Alternativas para el manejo de *Damping Off* en plántulas de tomate *Lycopersicum esculentum* Mill. *Revista Biológica Agropecuario Tuxpan*. 1:1-10.
- Goto, K., 1990. Cloning and nucleotide sequence of the KHR killer gene of *Saccharomyces cerevisiae*. *Agric Biol Chem*. 54 (4): 979-84.
- Harman, G. 2006. Overview of Mechanisms and Uses of *Trichoderma* spp. *Phytopathology*. 96 (2): 190-194.
- Harman, G. E. 2000. Myths and dogmas of biocontrol: changes in perceptions derived from research on *Trichoderma harzianum* T-22. *Plant dis*. 7:377-393.
- Harman, G., Howell, C., Viterbo, A., Chet, I., Lorito, M. 2004. *Trichoderma* species opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nat Rev Microbiol*. 2: 43-56.
- Hausbeck, MK., Lamour, KH. 2004. *Phytophthora capsici* on vegetable crops: Research progress and management challenges. *Plant Dis*. 88:1292-1303.
- Howden, S.M., Soussana, J.F., Tubiello, F.N., Chhetri, N., Dunlop, M., Meinke, H. 2007. Adapting agriculture to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 104 (50): 19691-19696.
- Howell, C., Stipanovic, R., Lumsden, R. 1993. Antibiotic production by strains of *Gliocladium virens* and its relation to biocontrol of cotton seedling diseases. *Biocontrol Sci Technol*. 3:435-441.
- Howell, C.R. 2003. Mechanism employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant disease: The history and evolution of current concepts. *American Phytopathological Society*. 87: 4-10.

- Howell, R., Stipanovic, D. 1995. Mechanisms in the biocontrol of *Rhizoctonia solani* induced cotton seedling diseases by *Gliocladium virens*: Antibiosis. *Phytopathology*. 85: 469-472.
- Huerres, P., Caraballo, N. 1988. Horticultura. Ed. Pueblo y Educación. La Habana, Cuba. pp. 4-16.
- Huerta-Lara, M., Bautista, J., Reyes, D., Romero, O., Ibáñez, A., Franco, O. 2009. Manejo agroecológico de fitopatógenos con origen en el suelo. En: Manejo agroecológico de sistemas Vol I. Aragón G.A; M.A. Damián H. y López-Olguín J.F. (Eds.). México. pp 203-221.
- Ibarra-Medina, V.A. 2015. Interacción de *Trichoderma* y *Glomus intraradices* en plántulas de maíz inoculadas con hongos fitopatógenos. Tesis de Doctorado en Edafología. Texcoco. Colegio de Postgraduados.
- IFOAM. 2013. The world of Organic Agriculture. La situación actual de la agricultura orgánica en Latinoamérica y el Caribe.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Puebla. <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/21/21001>. (24 de febrero de 2015).
- Infante, D., Martínez, N., González, Reyes, Y. 2009. Mecanismos de acción de *Trichoderma* frente a hongos fitopatógenos. *Revista de Protección Vegetal*. 24 (1): 14-21.
- Jaramillo Noreña, J.E.; Sánchez León, G.D.; Rodríguez, V.P.; Aguilar Aguilar, P.A.; Gil Vallejo, L.F.; Hío, J.C.; Pinzón Perdomo, L.M.; García Muñoz, M.C.; Quevedo Garzón, D.; Zapata Cuartas, M.Á.; Restrepo, J.F.; Guzmán Arroyave, M. 2012. Tecnología para el cultivo de tomate bajo condiciones protegidas. CORPOICA, Bogotá, Colombia. 482 p.

- Jaramillo, J., Rodríguez, V.P., Guzmán, M., Zapata, M., Rengifo, T. 2007. Manual técnico: Buenas prácticas agrícolas en la producción de tomate bajo condiciones protegidas. FAO, Gobernación de Antioquía, Mana, Corpoica. Centro de Investigación la Selva. FAO. 314 p.
- Jenkins, N., Grzywacz, J. 2000. Quality control of fungal and viral biocontrol agents "Assurance of product performance". *Biocontrol Sci Tech.* 10: 753-77.
- Jones, J.B. 1999. Tomato Plant Culture: in the field, greenhouse, and home garden. CRC Press, Boca Raton, Florida. USA. 199 p.
- Jones, J.B., R. E. Stall, T. A. Zitter. 2001. Plagas y enfermedades del tomate. Ediciones MundiPrensa. 74 p.
- Juárez, L.P., Castro, B., Colinas, L., Ramírez, V., Sandoval, V., Reed, D., Cisneros, Z., King, C. 2009. Evaluación de calidad en frutos de siete genotipos nativos de jitomate (*Lycopersicum esculentum* var. cerasiforme). *Rev. Chapingo. S. Hort.* 15:5-9.
- Küçük, C. Kivanc, M. 2004. *In vitro* antifungal activity of strains of *Trichoderma harzianum*. *Turkish Journal of Biology.* 28:111-115.
- Küçük, C. y Kivan, M. 2003. Isolation of *Trichoderma* spp. and determination of their antifungal, biochemical and physiological features. *Turkish Journal of Biology.* 27 (4): 247- 253.
- Labate, J.A., Granillo, T., Fulton, S., Muños. A.L., Caicedo, I., Peralta, Y., Ji, R., Chetelat, J.W., Scott, J. Gonzalo, D., Francis, W., Yang, E., Knaap, A.M., Baldo, B., Smith-White, L.A., Muller, J.P., Price, N.E., Blandchard, B., Storey, M.R., Stevens, M.D., Robbins, B.E., Liedl, M.A., OConnell, J.R., Stommel, K., Aoki, Y., Lijima, A.J., Slade, S.R., Hurst, D., Loeffler, M.N., Steine, D., Vafeados, C., McGuire, C., Freeman, A., Amen, J., Goodstal, D., Facciotti, J.V., Causse M. 2007. Tomato In: Genome mapping and molecular breeding in plants. C. Kole (ed.) Vegetables. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg.* 5:1-125.

- Landero-Valenzuela, N., Lara-Viveros, F.M., Andrade-Hoyos, P., Aguilar-Pérez, I.A., Aguado-Rodríguez, G. 2016. Alternativas para el control de *Colletotrichum* spp. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 7 (5): 1189-1198.
- Lara, H.M., Ferrera-Cerrato, R. 2007. Mecanismos microbianos en el control biológico. *In*: Microbiología agrícola: Hongos, bacterias, micro y macro fauna, control biológico y planta-microorganismo. Ferrera-Cerrato y A. Alarcón (Eds.) *Trillas*. México. pp. 342-390.
- Leopold, A.C., Scott, F. 1952. Physiological factors in tomato fruit-set *American Journal of Botany. Botanical Society of America*. 39 (5): 310-127.
- Lino-García, N. 2014. Manejo agroecológico de enfermedades con origen suelo, en jitomate bajo invernadero en Cala sur Atempan, Puebla. Tesis de Maestría en Manejo Sostenible de Agroecosistemas. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- López, A., López, A., Collado, J., Boullard, B., Palafox, I., Caballero, A., Quiñones-Monfil, E. 2015. Evaluación de lombricomposta y tezontle en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 6 (5): 967-975.
- Lorito, M. 2006. The Molecular Biology of the Interactions Between *Trichoderma*, phytopathogenic Fungi and Plants: Opportunities for Developing Novel Disease Control Methods. Memorias del Taller Latinoamericano Biocontrol de Fitopatógenos con *Trichoderma* y Otros Antagonistas. La Habana, Cuba.
- Manrubio, M., Altamirano, C.J., Trujillo, F., López, C., Carmona, M. 1995. Desarrollo de ventajas competitivas en la agricultura: el caso del tomate rojo. Centro de Investigaciones Economicas, Sociales y Tecnologicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM). Universidad Autónoma Chapingo, México. pp. 4, 15-19.

- Marín, P., Bustillo, A.E. 2002. Pruebas microbiológicas y fisicoquímicas para el control de calidad de los hongos entomopatógenos. *In: Memorias Curso Internacional Teórico Práctico sobre entomopatógenos, parasitoides y otros enemigos naturales de la broca del café*. Chinchiná, Colombia. pp. 72-89.
- Márquez-Hernández, C., Cano-Ríos, P., Chew-Madinaveitia, Y.I., Moreno-Reséndez, A., Rodríguez-Dimas, N. 2006. Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 12 (2): 183-189.
- Márquez, H.C., Cano, P. 2005. Producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Actas Portuguesas de Horticultura*. 5 (1): 219-224.
- Márquez, H.C., Cano, R.P., Rodríguez, D.N. 2008. Uso de sustratos orgánicos para la producción de tomate en invernadero. *Agric. Téc. Méx.* 34 (1): 69-74.
- Martínez, B., Infante, D., Reyes, Y. 2013. *Trichoderma* spp. y su función en el control de plagas en los cultivos. *Rev. Protección Vegetal*. 28: 1-11.
- Martínez, B., Reyes, Y., Infante, D., González, E., Baños, H., Cruz, A. 2008. Selección de aislamientos de *Trichoderma* spp. candidatos a biofungicidas para el control de *Rhizoctonia* sp. en arroz. *Revista de Protección Vegetal*. 23 (2), 118-125.
- Martínez, L.C. 2007. Estandarización del proceso de producción masiva del hongo *T. koningii* Th003 mediante fermentación bifásica a escala piloto; Tesis de Microbiología Industrial. Facultad de Ciencias. Colombia.
- McClung de Tapia, E., Yrizar, D.M., Morales, E.I., Morán, C.A. 2014. Los orígenes prehispánicos de una tradición alimentaria en la cuenca de México. *Anales de Antropología*. 48 (1): 97-121.
- Melgar, J. 2007. Evaluación del efecto de *Trichoderma* sp. y *Glomus* sp. en la incidencia y severidad de enfermedades del suelo y en el rendimiento de tomate, chile dulce y pepino. FHIA-Comayagua. 12: 1-3.

- Melin, P., Hakansson, S., Eberhard, T., Schnurer, J. 2006. Survival of the biocontrol yeast *Pichia anomala* after longterm storage in liquid formulations at different temperatures, assessed by flow cytometry. *J Appl Microb.* 100: 264-271.
- Michel-Aceves, A.C., Otero-Sánchez, M.A., Ariza-Flores, R., Barrios-Ayala, A., Alarcón, N. 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.
- Michel-Aceves, A.C., Otero-Sánchez, M.A., Martínez-Rojero, R.D., Ariza-Flores, R., Barrios-Ayala, A., Rebolledo-Martínez, A. 2008. Control biológico *in vitro* de enfermedades fungosas en tomate *Lycopersicum esculentum* Mill. *Avances en Investigación Agropecuaria.* 12: 55-68.
- Moreno-Ramírez, R.Y. 2010. Diversidad morfológica y agronómica de poblaciones nativas de jitomate del centro, sur y sureste de México. Tesis de Maestría en Fisiología Vegetal. Texcoco. Colegio de Postgraduados.
- Moreno, R., Ramírez V. 2009. Aprovechamiento de poblaciones nativas de jitomate como estrategia de soberanía alimentaria. *In: X Simposio Internacional y V Congreso Nacional de Agricultura Sostenible*, 11-14 de noviembre, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. Agricultura Sostenible Vol. 6, Sociedad Mexicana de Agricultura Sostenible, A.C. y Universidad Autónoma de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- Mukherjee, M., Horwitz, B.A., Sherkhane, P.D. 2006. A secondary metabolite biosynthesis cluster in *Trichoderma virens* evidence from analysis of genes underexpressed in a mutant of defective in morphogenesis and antibiotic production. *Current Genet.* 50:193-202.
- Muñante, D.D. 2002. Manual de formulación y evaluación de proyectos. UACH. México. 168 p.

- Nangare, D.D., Singh, Y., Kumar, P. S., Minhas, P.S. 2016. Growth, fruit yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by deficit irrigation regulated on phenological basis. *Agricultural Water Management*. 171: 73-79.
- Nicolás, C., Hermosa, R., Rubio, M.B., Mukherjee, P.K., Monte, E. 2014. *Trichoderma* genes in plants for stress tolerance-status and prospects. *Plant Sci*. 228: 71-8.
- Obregón, V. 2014. Guía para la identificación de las enfermedades de tomate en invernadero. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Centro Regional Corrientes. EEA INTA Bella Vista. 16 p.
- Ochoa-Moreno, M.E. 2002. Antibiosis y Micoparasitismo de cepas nativas de *Trichoderma* spp. (Hyphomycetes: Hyphales), sobre *Mycosphaerella fijiensis* (Loculoascomycetes: Dothideales). Tesis de Maestría. Colima, Universidad de Colima.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2014. La Alimentación y la Agricultura en América Latina y el Caribe. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3592s.pdf> [consultado: 2016 agosto 5].
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2012. El estado mundial de la agricultura y la alimentación, Invertir en la agricultura para construir un futuro mejor. FAO, Roma, Italia. 178 p.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura “FAO”. 2013. Perspectivas agrícolas 2013-2022. Texcoco, Estado de México, Universidad Autónoma Chapingo. 257 p.
- Ortega-Martínez, L.D., Ocampo-Mendoza, J., Sandoval-Castro, E., Martínez-Valenzuela, C., Huerta-De La Peña, A., Jaramillo-Villanueva, J.L. 2014. Caracterización y funcionalidad de invernaderos en Chignahuapan Puebla, México. *Revista Bio Ciencias*. 2 (4), 261-270.

- Ortega-Martínez, L.D., Olarte, J.S., Díaz-Ruiz, J.R., Mendoza, J.O. 2010. Efecto de diferentes sustratos en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill). *Ra Ximhai*. 6 (3): 365-372
- Otalora, A., Martínez, M., Pedroza, A. 2001. Evaluación de medios de cultivo alternos para la producción de *T. harzianum*. Trabajo de grado microbiología industrial. Pontificia Universidad Javeriana. Santa Fé de Bogotá. 153 p.
- Ozbay, N., Newman, S.E., Brown, W.M. 2004. The effect of the *Trichoderma harzianum* strains on the growth of tomato seedlings. *Acta Horticulturae*. 635:131-135.
- Pacheco, E.G. 2009. Efectos de *T. harzianum* y *T. Viride* en la producción de plantas de café (*Coffea arabica*) variedad a nivel de vivero. Riobamba, Ecuador: Escuela superior politecnica de Chimborazo.
- Paredes, D., Campos, M., Cayuela, L. 2013. El control biológico de plagas de artrópodos por conservación: técnicas y estado del arte. *Ecosistemas*. 22 (1): 56-61.
- Paulitz, T.C., Bélanger, R.R. 2001. Biological control in greenhouse systems. *Annual Review of Phytopathology*. 39:103-133.
- Perello, A., Monaco, C., Cordo, C. 1997. Evaluation of *Trichoderma harzianum* and *Gliocladium roseum* in controlling leaf blotch of wheat (*Septoria tritici*) under in vitro and greenhouse conditions. *Pflanzenforschung*. 2: 588-598.
- Pérez-Cortínez, M.I., Peñaranda, A., Herazo, G.M. 2010. Impacto, manejo y control de enfermedades causadas por phytophthora palmivora en diferentes cultivos. Universidad de Pamplona, Facultad de Ciencias Basicas; Programa de Microbiología. España.
- Pérez, J., Hurtado, G., Aparicio, V., Argueta, Q., Larín, M. A. 2001. Guía Técnica Cultivo de Tomate. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA). El Salvador, p. 9.

- Puño, R., Terrazas, E., Alvares, T., Jiménez, A., Mendoza, L., Smeltekop, H., Loza-Murguía, M. 2011. Evaluación de la capacidad biocontroladora de metabólicos de *Trichoderma inhamatum* Bol12 QD sobre cepas nativas de *Phytophthora infestans* in vitro. *Journal of the Selva Andina Research Society*. 2 (1): 26-33.
- Ramanatha, R., Hodgkin, T. 2002. Genetic diversity and conservation and utilization of plant genetic resources. *Plant Cell*. 68: 1-19.
- Ramírez-Vallejo, P., Bauchan, R., González, R. M. P., Reyes, D.B. 2013. Variación morfológica y fenológica en poblaciones nativas de jitomate *Lycopersicum esculentum* Mill. en México. En Serafín Cruz, Óscar J. Ayala, Nicacio Cruz, Iván Ramírez, Enrique Martínez-Villegas (comp) Avances de Investigación 2012. Texcoco, Colegio de Postgraduados. pp. 65-66.
- Ramírez-Villapudua, J., Romero-Cova, S. 1980. Supervivencia de *Phytophthora capsici* Leo., agente causal de la marchitez del chile. *Agrociencia*. 39:9-18.
- Ramírez, P. 2010. Conservación y aprovechamiento de la diversidad de poblaciones nativas de jitomate. Sexto Simposio Nacional de Horticultura Producción de Tomate en el Norte de México. Memorias. pp. 116-126.
- Ramos, R.R. 2002. Curso Internacional de Papaya. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Guatemala. 52 p.
- Redondo, J.E. 1989. Mecanismos de infección y patología de las plantas de Chile susceptibles y resistentes al hongo *Phytophthora capsici*. *Agrociencia*. 77:123-137.
- Retana-Salazar, A.P., Rodríguez-Arrieta, J.A. 2012. Aspectos de la biología de *Frankliniella insularis* Franklin 1908 (*Thysanoptera: Thripidae*) con especial énfasis en el sitio de pupación en la flor de *Tabebuia rosea* (Bertol) en el Valle Central de Costa Rica. *Revista Gacitana de Entomología*. 3 (1):69-84.
- Ristaino, J.B., Johnson, S.A. 1999. Ecological based approaches to management of *Phytophthora* blight on bell pepper. *Plant Dis*. 83: 1080-1089.

- Robles-Carrión A.R. 2016. Uso de microorganismos antagonistas y sustancias naturales como una alternativa ecológica en el control de enfermedades en cultivos. Centro de Biotecnología, Universidad Nacional de Loja, Ciudad Universitaria Guillermo Falconí. Pág. 1-5 Disponible en:http://unl.edu.ec/sites/default/files/investigacion/revistas/2014-9/6/5_articulo_de_revision_34-43_b1.pdf
- Roco, A., Pérez, L. 2001. In vitro biocontrol activity of *Trichoderma harzianum* on *Alternaria alternata* in the presence of growth regulators. *Electron J Biotechnol.* 4: 68-73.
- Rodríguez, G.E., Sánchez, G.,S. Montes, H., Ruíz, C., Martínez, R. 2003. Exploracion y colección de especies del genero *Lycopersicon* en el occidente de Mexico” In: Memorias del X Congreso Nacional de Horticultura. UACH. Chapingo, México. 61 p.
- Rodríguez, R., Tavares, R., Medina, T. 2001. Cultivo Moderno del Tomate 2ª. Ed. Ediciones Mundi- Prensa. España. 255 p.
- Rojas-Amaya, N. 2014. Efecto de *Trichoderma harzianum* sobre el fruto de tomate. Tesis de Licenciatura. Guatemala de la Asunción, Octubre. Campus Central. 25 p.
- Romero-Arenas, O., Damián, H., Hernández, I., Parraguire, L., Aragón, García., Victoria A. 2012. Effect of pH on growth of the mycelium of *Trichoderma viride* and *Pleurotus ostreatus* in solid cultivation médiums. *African Journal of Agricultural Research.* 7 (34): 4724-4730.
- Romero-Arenas, O., Rivera, A., Aragón, A., Parraguirre, C., Cabrera, E., López, F. 2014. Mortality Evaluation of Armyworm (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith) by using *Metarhizium anisopliae* In vitro. *Journal of Pure & Applied Microbiology.* 8 (Spl. Edn. 2): 59-67.
- Romero-Arenas, O., Tello, I., Damián H., Villareal O., Agustin A., Parraguirre C. 2013. Identification and evaluation of *Trichoderma* spp native, present on eroded soils

- in Tetela de Ocampo, Puebla-Mexico. *International Research Journal of Biological Sciences*. 2 (4): 1-7.
- Romero, A.O., Barrios, D.M., Macías, L.A., Simón, B.A., Ibáñez, A., Juárez, F. 2009. Análisis de rentabilidad de un sistema de producción de hongo seta bajo condiciones de invernadero, en el municipio de Amozoc de Mota en el estado de Puebla. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 25: 34-44.
- Romero, A.O., Huerta, L. M., Damián, H. M., Domínguez, H. F., Arellano V.D. 2009. Características de *Trichoderma harzianum*, como agente limitante en el cultivo de hongos comestibles. *Revista Colombiana de Biotecnología*. 11: 143-151.
- Rucoba, G.A., Anchondo, N.A., Lujan, A.C., Olivas, G.J. 2006. Análisis de rentabilidad de un sistema de producción de tomate bajo invernadero, en la región Centro-Sur de Chihuahua. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 19: 1-10.
- SAGARPA (2015). <http://consulmex.sre.gob.mx/omaha/images/JITOMATE/jitomate.pdf>
- SAGARPA, SENASICA. 2011. Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Guanajuato, A.C. Campaña Manejo Fitosanitario del Jitomate. Manual de Plagas y Enfermedades en Jitomate. pp. 3- 13 y 17-27.
- Sanabria-Albarracín, N. 2010. Control de Enfermedades. Universidad Central de Venezuela Facultad de Agronomía Depto. De Botánica Agrícola Cátedra de Fitopatología. Protección Vegetal III. Maracay, Venezuela. pp. 2-8, 60-69 y 71-92.
- Sánchez del Castillo, F., Moreno-Pérez, E., Cruz-Arellanes, E. 2009. Producción de jitomate hidropónico bajo invernadero en un sistema de dosel en forma de escalera. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*. 15:67-73.
- Sánchez-Pérez, M.I. 2009. Aislamiento y Caracterización Molecular y Agronómica de *Trichoderma* spp. Nativos de Norte de Tamaulipas. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Centro de Biotecnología Genómica. Cd. Reynosa Tamp. México. pp. 1- 20.

- Sánchez, P., Oyama, J., Nuñez, F., Formoni, S. Hernández, V.J., Maquez, G.J., Garzon, T., Vargas, E., Rodríguez, G., Sánchez, G., Montes, H., Ruiz, C.R., Lápiz, I., Puente, O., Martínez, R. 2006. Adaptación climática de *Lycopersicum* en el occidente de México. Avances en la Investigación Científica en el CUCBA. Universidad de Guadalajara, México. pp. 207-210.
- Sandoval-Briones, C. 2004. Organización de las Unidas para la Agricultura y la Alimentación Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Manual Técnico Manejo integrado de enfermedades en cultivos hidropónicos. Universidad de Talca. Chile.
- Sandoval-Ileana, López, M.O. 2002. Antagonismo de *Trichoderma harzianum* A-34 hacia *Macrophomina phaseoli* y otros patógenos fúngicos del frijol. *Fitosanidad*. 4 (34): 69-72.
- Sandoval, M., Noelting, Z. 2011. Producción de conidios de *Trichoderma harzianum* rifai en dos medios de multiplicación. *Fitosanidad*. 15 (4): 215-221.
- Schreinemachers, P., Schad, I., Tipraqsa, P., Williams, P., Neef, A., Riwthong, S., Sangchan, W., 321 Grovermann, C. 2012. Can public GAP standards reduce agricultural pesticide use? The case of 322 fruit and vegetable farming in northern Thailand. *Agriculture and Human Values*. 29: 519-529.
- SEMARNAT. 1997. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM-037-FITO-1995. Por la que se establecen las especificaciones del proceso de producción y procesamiento de productos agrícolas orgánicos. Diario Oficial de la Federación. pp. 17.
- Seufert, V., Ramankutty, N., Foley, J.A. 2012. Comparing the yields of organic and conventional agricultura. *Nature letter*. 485: 229-232.
- Shoresn, M., Yedidia I. Chet, I. 2005. Involvement of jasmonic acid/ethylene signaling in the systemic induced in cucumber by *Trichoderma asperellum* T203. *Phytopathology*. 93: 76-84.

- SIAP-SAGARPA. 2014. Atlas agroalimentario 2014. www.siap.gob.mx
- SIAP. 2015. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Series históricas de superficie sembrada y cosechada, SAGARPA. Disponible en <http://bit.ly/1195bJS>. (10 Junio de 2015).
- Sid, A., Ezziyyani, M., Pérez, S., Candela, M. 2003. Effect of chitin on biological control activity of *Bacillus* spp and *Trichoderma harzianum* against root rot disease in pepper (*Capsicum annuum*) plants. *European Journal of Plant Pathology*. 109: 418-426.
- Sid, A., Pérez, S., Candela, M. 2000. Evaluation of induction of systemic resistance in pepper plants (*Capsicum annuum*) to *Phytophthora capsici* using *Trichoderma harzianum* and its relation with capsidiol accumulation. *European Journal of Plant Pathology*. 106: 817-824.
- Singh, N., Singh, L., Kaur, N., Singh-Sodhi, Singh-Gill, B. 2003. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chem*. 81: 219-231.
- Singh, S.P., Singh, H.B., Singh, D.K. 2013. *Trichoderma harzianum* and *Pseudomonas* sp. mediated management of sclerotium rolfsii rot in tomato (*Lycopersicon Esculentum* Mill.). *Life sciences*. 8(3): 801-804.
- Sistema de Información agropecuaria, (SIAP). 2014. Anuario Estadístico 2014. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/> [consultado: 2016, julio 11].
- Soto, B., Osorio, A., Muñoz, M., Galindo, R. 2002. El uso de *Trichoderma harzianum* como agente mejorador de plantas ornamentales. México. pp. 2.
- Stefanova, M., Leiva, A., Larrinaga, L. and M. F. Coronado. 1999. Actividad metabólica de cepas de *Trichoderma* spp. para el control de hongos fitopatógenos del suelo. *Revista de la Facultad de Agronomía*. (LUZ) 16: 509–516.

- Stirling, G.R. 2014. *Biological control of plant-parasitic nematodes: soil ecosystem management in sustainable agriculture*. CABI.
- Syngenta. 2016. Consultado en abril 2016 en: <http://www3.syngenta.com/country/es/sp/cultivos/citricos/enfermedades/Paginas/aguado-podredumbre-cuello-raiz.aspx>
- Tanksley, S.D. 2004. The Genetic, Developmental, and Molecular Bases of fruit Size and shape Variation tomato. *The plant cell*. 16:181-189.
- Tello, J.C., LaCasa, A. 1988. La podredumbre del cuello y de las raíces, causada por *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-lycopersici*, nueva enfermedad en los cultivos de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.). *Bol. San. Veg. Plagas*, 14: 307-312. Comunicación presentada en el VII Congreso de la Sociedad Fitopatológica Mediterránea. Septiembre. Granada, España.
- Terrones, C.A., Sánchez, T.Y. 2011. Análisis de rentabilidad económica de la producción de jitomate bajo invernadero, Acaxochitlán, Hidalgo. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 15 (29): 752-761.
- Tester, R.F., Karkalas, J. 2002. "Polysaccharides. II. Polysaccharides from eukaryotes," In: Vandamme, E. J., De Baets, S., and Steinbuchel, A. (Eds.), *Starch in Biopolymers*, Wiley-VCH, Weinheim. pp. 381-438.
- Tovar-Castaño, J.C. 2008. Evaluación de la capacidad Antagonista "*in vivo*" de aislamiento de *Trichoderma* spp., frente al hongo fitopatógeno *Rhizoctonia solani*. Tesis de licenciatura. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias Carrera de Microbiología Agrícola y Veterinaria. Bogotá D.C. pp.18-19.
- Tucker, G.P., Walley, G., Seymour, R. 2007. In: *Biotechnology in agriculture and forestry. Transgenic Crops IV*. Pua, E.C., and M.R. Davey (Eds). Springer-Verlag Berlín Heidelberg. 59: 163-180.
- Valadéz, 1990. Producción de hortalizas. Ed. Limusa. México. 248 p.

- Vallejo-Cabrera, F.A. 1999. Mejoramiento genético y producción de tomate en Colombia (No. C034. 025). Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmira.
- Vallejo-Cabrera, F.A., Estrada-Salazar, É.I. 2004. *Producción de hortalizas de clima cálido*. Edit. Univ. Nacional de Colombia. Palmira, Colombia. 315 p.
- Van-Gelderen, A.A. 2009. micoparasitismo biotrófico de *Fusarium oxysporum* sobre *Cunninghamella* sp. *Boletín Micológico*. 24: 51-56.
- Vásquez, O.R., Carrillo-Rodríguez, J.C., Ramírez-Vallejo, P. 2010. Evaluación morfoagronómica de una muestra del jitomate nativo centro y sureste de México. *Naturaleza y Desarrollo*. 8 (2):49-64.
- Verma, M., Brar, K., Tyagi, R., Surampalli, T., Valero, J. 2007. Antagonistic fungi *Trichoderma* spp. Panoply of biological control. *Biochemical Engineering Journal*. 37: 1-20.
- Victoria, A.D., Guzmán, P.R., Zavaleta, M.E., Romero-Arenas, O. 2015. Biological control of *Phytophthora capsici* by native *Trichoderma* of the rhizosphere of Serrano pepper, *in vitro*. *Journal of Pure and Applied Microbiology*. 9: 1951-1955.
- Villarreal, R. 1982. Tomates. Traducido del ingles por E. Camacho. Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura. San Jose, Costa Rica. pp. 9-21.
- Villegas, M. 2005. Características generales de *Trichoderma* y su potencial biológico en la agricultura sostenible, [http://www.oriusbiotecnologia.com/escritos- tecnicos/128-trichoderma-pers-caracteristicas-generales-y-su-potencialbiologico-agricultura-sostenible](http://www.oriusbiotecnologia.com/escritos- tecnicos/128-trichoderma-pers-caracteristicas-generales-y-su-potencialbiologico-agricultura-sostenible;).; consulta: enero 2016.
- Vinale, F., Ambrosio, D., Abadi, K., Scala, F., Marra, R., Turró, D., Lorito, M. 2004. Application of *Trichoderma harzianum* and *Trichoderma atroviride* as plant growth promoters, and their compatibility with copper oxychloride. *Journal of Zhejiang University*. 30: 425-431.

- Vinale, F., Sivasithamparamb, K., Ghisalberti, E.L., Marra, R., Woo, L., Lorito, M. 2008. *Trichoderma* plant pathogen interactions. *Soil Biology y Biochemistry*. 40:1-10.
- Von-Haef, V., Johann, D., Berlijin, D. 1983. Manuales para Educación Agropecuaria, Horticultura, Area: Producción Vegetal (15), 1ra Edición. Editorial Trillas, D.F., México: 12, 17, 18 y 19.
- Vos, C.M., De Cremer, K., Cammue, B., De Coninck, B. 2015. The toolbox of *Trichoderma* spp. in the biocontrol of *Botrytis cinerea* disease. *Molecular plant pathology*. 16 (4): 400-412.
- Wamock, S.J. 1998. A review of taxonomy and phylogeny of the genus *Lycopersicon*. *HortScience*. 23: 669-673.
- Widden, P., Scattolin, V. 1988. Competitive interactions and ecological strategies of *Trichoderma* species colonizing spruce litter. *Mycologia*. 80: 795-803.
- Yedidia, I., Benhamou, N., Chet, I. 1999. Induction of defence responses in cucumber plants (*Cucumis sativus* L.) by the biocontrol agent *Trichoderma harzianum*. *Applied and Environmental Microbiology*. 65: 1061-1070.
- Yoerlandy, S., Del Buso, A., Cruz, R. Aguilar, I., Palomino, L. 2010. Efecto de enmiendas orgánicas y *Trichoderma* spp., en el manejo de *Meloidogyne* spp. *Rev. Bras De Agroecologia*. 5 (2): 224-233.
- Zavaleta-Mejia, E. 2000. Alternativa de manejo de las enfermedades de las plantas. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 17: 201- 207.
- Zhang, C., Druzhinina, I., Kubick, C.P., Xu, T. 2005. *Trichoderma* biodiversity in China: evidence for a north to southern distribution of species in East Asia. *FEMS Microbiol. Lett*. 251: 251-257.
- Zuloaga, A. 1994. Efectos de la reforma jurídica y económica sobre el empleo en el sector agropecuario. *Cuadernos de Trabajo* 7: 65-87.