

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA



Evaluación de Extractos de Microorganismos como Promotores de Crecimiento
en Tomate (*Solanum lycopersicum* L. var. Charleston) Bajo Condiciones de
Invernadero

Por:

FERNANDO MARTÍNEZ GÓMEZ

TESIS

Presentanda como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA

Saltillo, Coahuila, México

Mayo, 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA

Evaluación de Extractos de Microorganismos como Promotores de Crecimiento
en Tomate (*Solanum lycopersicum* L. var. Charleston) Bajo Condiciones de
Invernadero

Por:

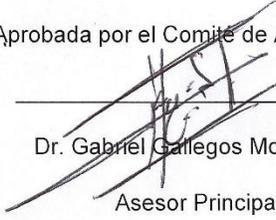
FERNANDO MARTÍNEZ GÓMEZ

TESIS

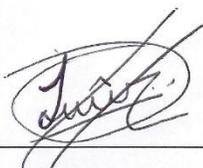
Presentanda como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA

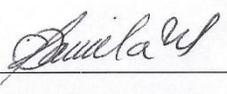
Aprobada por el Comité de Asesoría:



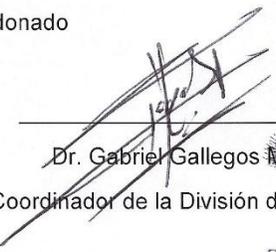
Dr. Gabriel Gallegos Morales
Asesor Principal



Dr. Antonio Juárez Maldonado
Coasesor



Dra. Miriam Desireé Dávila Medina
Coasesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía

Coordinación
División de Agronomía
Saltillo, Coahuila, México

Mayo de 2016

DEDICATORIA

DEDICO ESTE TRABAJO DE TESIS A MIS PADRES:

Bartolomé Martínez de la Torre y Sebastián Gómez Vázquez, autores de mi vida, que con su amor, dedicación, esfuerzo y sus buenos consejos he terminado por fin mis estudios, para convertirme en un profesionalista, nunca voy a terminar de agradecerles y de darles las gracias por todo el apoyo que me brindaron y que nunca me abandonaron, porque gracias a ustedes soy lo que soy...

Ustedes fueron gran parte de mi fortaleza para seguir adelante, a veces me caí pero me enseñaron que caerse no es de fracasados ni de mediocre, que lo importante es saber cuándo y cómo levantarse, el proyecto que juntos construimos hoy es una realidad, sé que mi sueño también eran el suyo, de ser un profesionalista y una persona de bien, el logro hoy alcanzado también es de ustedes.... Con cariño, respeto y admiración.... Gracias!!!

Gracias por haberme dado una de las mejores herencias, que le puede dar un padre a su hijo que es el estudio, gracias.

A MIS HERMANOS:

José Luis Martínez Gómez, María Luisa Martínez Gómez y Alfredo de Jesús Martínez Gómez, agradezco a ustedes, por su comprensión, cariño, confianza que en mí depositaron, este logro alcanzado también es de ustedes hermanos. Gracias por crecer a lado de ustedes y me han enseñado que la unidad de hermano siempre debe de prevalecer.

Espero que siempre estemos unidos a pesar de las adversidades, ya que es muy importante que el lazo familiar prevalezca siempre unido, además la unidad hace la fuerza... Gracias hermanos los admiro y respeto!!!

AGRADECIMIENTOS

A Díos

Principalmente por darme la vida, salud, fortaleza en todo momento de angustia y soledad, por haberme guiado al buen camino, cuidarme y permitirme culminar mi carrera. Gracias por haber escuchado mis plegarias en mis oraciones. Además te doy gracias por haber nacido en una familia tan hermosa.

A mí Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Por haberme dado la oportunidad de penetrar en el mundo de la ciencia y el saber, por la preparación que recibí entre sus aulas para formarme como profesional, gracias por haberme ofrecido tu comedor y transporte que sin ellos no fuese posible mi estancia a la universidad. En que pase momentos muy alegres, momentos de tristeza y soledad, aquí conocí el amor, buenas amistades y lo más importante que aquí me prepare como todo un Ing. en Agrobiología. Te pido disculpas si una vez te falte con mis acciones, pero son errores que a veces cometemos, pero lo importante es aprender de ellos. Gracias me voy muy contento por mi estancia y mi preparación, que ya he culminado mis sueños.

*Siempre te tendré presente **Alma Terra Mater**, espero nunca defraudar el nombre de la Narro, porque soy orgullosamente Buitre de la Narro, lo demás es cuestión de detalles...!!!*

Al Dr. Gabriel Gallegos Morales

Gracias por su amistad brindada, su paciencia, sus conocimientos, su tiempo y dedicación para culminar mi trabajo de investigación, ya que fue parte muy importante en mi formación profesional. Mis más gratos y sinceros reconocimientos por ser unos de los pocos profesores investigadores que tiene la universidad que realmente tienen pasión y dedicación a la investigación, que siempre está ansioso y curioso de conocer lo desconocido.

Al Dr. Antonio Juárez Maldonado

Gracias por su amistad y su tiempo para culminar este trabajo de investigación, mis más grandes reconocimientos como profesor investigador del Departamento de Botánica, y por el impulso agronómico que le está dando al Departamento.

Dra. Miriam Desiré Dávila Medina

Gracias por su ayuda y su tiempo dedicado en la revisión de este trabajo de investigación.

M.C. Martha Vázquez Rodríguez

Gracias por haber sido mi tutora durante toda mi carrera y por la amistad brindada.

A todos los Profesores del Departamento de Botánica

Gracias por la formación y sus conocimientos que me brindaron, para formarme como todo un Ing. en Agrobiología. Les doy mis más gratos reconocimientos, por preparar a verdaderos Ingenieros amigables con el medio ambiente, para enfrentar y resolver problemas actuales y futuros.

A todos mis compañeros amigos de la Generación CXX.

La amistad y convivencia que tuvimos durante el tiempo de estudios en la Universidad, para todos ustedes que conformamos la generación CXX de Ingeniero en Agrobiología mis mejores deseos.

A mis compañeros y amigos del dormitorio Porfirio # 14

Gracias por la amistad brindada, por los momentos que compartimos en todo momento durante el tiempo y mi estancia en la universidad, los buenos y malos momentos que pasamos, a veces hubo conflictos y malos entendidos pero siempre tratamos de resolverlos. A mis amigos; Sergio Roberto (chupón), Jesús Emanuel (Shack), Mario Fernando (Chícuela), Emanuel (Chícuelita), y a todos los paisanos de la Banda de V.Carranza, les deseó buena suerte.

A mis amigos que ya egresaron

A todos mis amigos que egresaron y a los que por cuestiones del destino no lograron finalizar sus sueños de ser Ing. de la Narro, mis mejores deseos.

A mis amigos de la Cueva

Gracias por el cobijo y apoyo que me brindaron durante mi estancia, además siempre tendré presente y llevo mis mejores recuerdos que ahí pase en la famosa “cueva”, cuna de grandes Ingenieros, que por azares del destino ahí fui donde me cobijo desde mi llegada a saltillo y ahí fue el lugar donde culmine mis estudios.

A una persona en especial.

Fue una persona muy especial en mi estancia en la Universidad, contigo aprendí muchas cosas, muchos momentos felices y muy agradables. Me gusto tu amistad y el haberte conocido, siempre estarás en mis mejores recuerdos durante mi etapa de universitario. Gracias por tu amistad, espero que te vaya muy bien y mis mejores deseos para ti, que por cuestiones del destino hemos decidido separarnos para ser mejores profesionalmente, como un día el destino nos juntó, hoy llegó el momento de decirnos adiós.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
INDICE DE GRÁFICAS.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	viii
INDICE DE CUADROS DEL APENDICE.....	ix
RESUMEN.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVO GENERAL.....	3
Hipótesis.....	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Origen del cultivo.....	4
Domesticación.....	4
Taxonomía del cultivo.....	5
Descripción botánica de la especie.....	5
La producción de hortalizas bajo invernadero en México.....	6
Principales enfermedades reportadas en tomate.....	8
El Control biológico.....	9
Origen del control biológico.....	10
Importancia del control biológico.....	11
Mecanicismo de acción.....	12
Control biológico con rizobacterias.....	14
Rizobacterias Promotoras de Crecimiento (RPCP).....	15
Mecanismo de acción de las RPCP.....	17
Genero <i>Bacillus</i>	18
Clasificación taxonómica.....	19

El Género <i>Bacillus</i> como agente de control biológico.....	19
Genero <i>Trichoderma</i> spp.....	20
Clasificación taxonómica.....	22
El Género <i>Trichoderma</i> como agente de control biológico.....	23
<i>Trichoderma</i> como biofertilizante.....	24
MRBT como un Producto Experimental.....	24
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
Ubicación del experimento.....	25
Material utilizado.....	25
Establecimiento del cultivo.....	25
Aplicación de los tratamientos.....	26
Toma de datos.....	26
Diseño experimental.....	26
Manejo del cultivo.....	27
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
Diámetro de tallo.....	28
Altura de planta.....	29
Numero de racimos por planta.....	30
Numero de frutos por planta.....	31
Peso total de planta.....	32
Peso del fruto por planta.....	33
Peso de raíz.....	34
Longitud de raíz.....	35
VI. CONCLUSIÓN.....	38

VII. LITERATURA CITADA.....	39
VIII. APENDICE.....	47

INDICE DE GRÁFICAS

Figura

Pág.

1. Porcentaje de incremento de diámetro del tallo de plantas de tomate.....	31
2. Porcentaje de incremento de altura de planta de tomate.....	32
3. Porcentaje de incremento en el número de racimos por planta de tomate.....	33
4. Porcentaje de incremento en el número de fruto por planta de tomate.....	34
5. Porcentaje de incremento en el peso total por planta de tomate.....	35
6. Porcentaje de incremento en el peso total del fruto de la planta de tomate.....	36
7. Porcentaje de incremento en el peso de la raíz de la planta de tomate.....	37
8. Porcentaje de incremento en longitud de raíz de la planta de tomate.....	38

INDICE DE FIGURAS

Figura

Pág.

1. Efecto regulador de la introducción de un enemigo natural que ejemplifica el control biológico sobre una población plaga en relación con un umbral económico.....10

ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE

Figura	Pág.
1. Diámetro de tallo en los diferentes tratamientos en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.....	47
2. Análisis de varianza del diámetro de tallo del cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.....	47
3. Incremento en la altura en los diferentes tratamientos en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.....	47

4.	Análisis de varianza del Incremento de la altura en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.....	47
5.	Incremento en el número de racimos por planta en los diferentes tratamientos en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.....	48
6.	Análisis de varianza en el número de racimos por planta en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.....	48
7.	Número de fruto por planta en los diferentes tratamientos en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.....	48
8.	Análisis de varianza en el incremento del número de fruto por planta en los diferentes tratamientos del cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.....	48
9.	Peso total de las plantas de los diferentes tratamientos en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.....	49
10.	Análisis de varianza para el peso total de la planta del cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.....	49
11.	Peso total del fruto por planta en los diferentes tratamientos en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.....	49
12.	Análisis de varianza en el peso total del fruto por planta en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.....	49
13.	Peso de la raíz de los diferentes tratamientos en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.....	50

14.	Análisis de varianza del peso de raíz en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.....	50	de
15.	Longitud de la raíz en los diferentes tratamientos en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.....	50	
16.	Análisis de varianza de la longitud de raíz en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.....	50	de

RESUMEN

El tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) en el 2008, México ocupó el doceavo lugar como país productor con un 3% de la producción mundial, y el segundo lugar como exportador con un 18% (SAGARPA, 2010). En México, el tomate es la segunda hortaliza más importante después del chile (*Capsicum annum* L.). Sinaloa, es el estado que se ha consolidado como el primer productor de tomate en México, cultivándose principalmente en los valles de Ahome, Culiacán y Guasave. En el Estado se siembran aproximadamente 18,623.05 ha, con una producción de 1,039,367.64 ton, con un valor de poco más de 3 billones de pesos, significando una muy importante fuente de empleos y divisas para esta zona (SIAP, 2013). Dada la importancia se planteó el siguiente trabajo de investigación y el objetivo de este estudio consistió en evaluar el efecto promotor de los diferentes extractos de microorganismos, sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo del tomate bajo condiciones de invernaderos.

El trabajo de investigación se realizó, durante el ciclo agrícola de primavera-verano, a partir del 19 de abril al 29 de julio del 2015, En el que se aplicó extractos de microorganismos como son; *Bacillus*, *Trichoderma* y el producto experimental "MRBT", las aplicaciones de los tratamientos se hizo con una bomba aspersora con una dosis de 5 ml/L de agua, los tratamientos se aplicaron directamente en las raíces de las plantas, se realizaron tres aplicaciones y fueron cada 25 días. Para el establecimiento del experimento se hizo con un diseño completamente al azar, utilizando dos surcos y se dividió a la mitad para evaluar 2 tratamientos, cada tratamiento consistió de 20 plantas y cada uno represento una repetición, para evaluar las variables agronómicas como son; diámetro de tallo, altura de planta, número de racimos por planta, numero de frutos formados por planta, peso total de la planta, peso del fruto, peso de la raíz y longitud de la raíz, se realizó un análisis estadístico mediante el paquete computacional SAS (Statistical Analysis System), la estratificación de datos se efectuó realizando una comparación de medias mediante el método estadístico Tukey con una confiabilidad del 95% ($\alpha = 0.05$). De acuerdo a los datos obtenidos se observa que

MRBT presentó diferencias estadísticamente significativa, ya que promovió la elongación de la raíz y al crecimiento del diámetro del tallo. Las aplicaciones de microorganismos a base de *Bacillus subtilis* y de *Trichoderma harzianum*, promueve en gran medida el crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero, también cabe destacar que con la aplicación de los microorganismos se promueve el equilibrio de la diversidad biológica del suelo.

Palabras clave: *Bacillus subtilis*, *Trichoderma harzianum*, extractos de microorganismos.

Correo electrónico; Fernando Martínez Gómez, fernandom92@life.com.mx

I. INTRODUCCIÓN:

El tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) a nivel mundial es la segunda hortaliza de mayor importancia después de la papa (*Solanum tuberosum* L.). Se cultiva en diversos países, no obstante, en 2008 más del 70% de la producción se concentró en cuatro países: China (36%), Estados Unidos (14%), Turquía (12%) e India (11%) (SAGARPA, 2010). A escala mundial existen casi cuatro millones de hectáreas de superficie sembradas con el cultivo, lo que representa una producción de 105.7 millones de ton (FAO, 2010).

En 2008, México ocupó el doceavo lugar como país productor con un 3% de la producción mundial, y el segundo lugar como exportador con un 18% (SAGARPA, 2010). En México, el tomate es la segunda hortaliza más importante después del chile (*Capsicum annum* L.). Sinaloa, es el estado que se ha consolidado como el primer productor de tomate en México, cultivándose principalmente en los valles de Ahome, Culiacán y Guasave. En el Estado se siembran aproximadamente 18,623.05 ha, con una producción de 1, 039,367.64 ton, con un valor de poco más de 3 billones de pesos, significando una muy importante fuente de empleos y divisas para esta zona (SIAP, 2013). Desde el punto de vista económico, el tomate es una de las especies hortícolas más importantes de nuestro país debido al valor de su producción y a la demanda de mano de obra que genera; además, es el principal producto hortícola de exportación (Ortega, 2010).

La importancia de la planta radica en que posee cualidades muy esenciales para adecuarse a la dieta alimenticia, para su consumo en fresco o procesado, representa una rica fuente de sales minerales y de vitaminas A y C principalmente, además de utilizarse en la industria cosmética, farmacéutica y ornamental. La planta es potencialmente perenne y muy sensible a las heladas, lo que determina su ciclo anual, de distinta duración según la variedad (Rodríguez *et al.*, 2001).

Sin embargo hay problemas muy comunes en la baja producción agrícola son el crecimiento deficiente de plantas y la destrucción de cosechas por factores bióticos

y abióticos. La FAO, (2000) (Dato mencionado por Jiménez, 2004), reconoce que la biotecnología agrícola puede contribuir a elevar la producción en este sector, como reducir la utilización de productos químicos, alimentos que incrementen su valor nutricional, por lo que su importancia se hace mayor a medida que las fuentes tradicionales de abastecimiento se van agotando o limitando.

Es por ello que en años recientes, se ha retomado el interés de utilizar microorganismos promotores de crecimiento en la producción de cultivos, tanto aquellos que protegen a la misma contra el ataque de patógenos, plagas y malezas, como aquellos que proporcionan nutrimentos.

Estas bacterias se han aplicado a semillas, tubérculos o raíz, y son capaces de colonizar las raíces de las plantas y estimular el crecimiento y rendimiento de cultivos (Chanway *et al.*, 1989).

II. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto promotor de los diferentes extractos de microorganismos, sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo del tomate bajo condiciones de invernaderos.

HIPOTESIS

Se espera que los tratamientos aplicados, promuevan el crecimiento, desarrollo y rendimiento de las plantas de tomate bajo condiciones de invernadero en diferentes grados de nivel.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

Origen del Cultivo

El tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) es una planta dicotiledónea perteneciente a la familia de las solanáceas. El centro de origen del género *Lycopersicon* es la región andina que hoy comparten Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Chile. En la actualidad todavía crecen silvestres las diversas especies del género en algunas de esas zonas (Esquinas y Nuez, 2001; Rodríguez *et al.*, 2001). Fue llevado por los distintos pobladores de un extremo a otro, extendiéndose por todo el continente (Rodríguez *et al.*, 2001).

Domesticación

El centro de domesticación del tomate ha sido controvertido; sin embargo, se cree que el origen de su domesticación es México, porque existe mayor similitud entre los cultivares europeos y los silvestres de México que con los de la zona andina. A la llegada de los españoles a América el tomate estaba integrado a la cultura azteca. Además el nombre moderno tiene su origen en la lengua náhuatl de México donde se le llamaba "tomatl" (Esquinas y Nuez, 2001; Rodríguez *et al.*, 2001).

Actualmente en el centro del país sigue utilizándose mayoritariamente la palabra jitomate quizás porque los aztecas lo nombraban "Xic-tomatl", para aludir al fruto de *Lycopersicon esculentum* (Cruces, 1990). Además, no ocurre esto en otras partes del país y del mundo. Los españoles y portugueses difundieron al tomate por todo el mundo a través de sus colonias ultramarinas, posteriormente contribuyeron a ello otras potencias y países (Esquinas y Nuez, 2001).

La planta es potencialmente perenne y muy sensible a las heladas, lo que determina su ciclo anual, de distinta duración según la variedad (Rodríguez *et al.*, 2001). Se desarrolla bien en un amplio rango de latitudes, tipos de suelos, temperaturas, métodos de cultivo y es moderadamente tolerante a la salinidad (Chamarro, 2001).

Clasificación taxonómica

(Cronquist, 1984, Esquinas y Nuez, 1995; Peralta *et al.*, 2005), es la siguiente:

Reino: Vegetal

Sub-Reino: Embryobionta

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Sub-Clase: Dicotyledonae

Orden: Tubiflorae

Familia: *Solanaceae*

Género: *Solanum*

Especie: *lycopersicum* L.

Descripción botánica de la Especie.

El tomate cultivado, *Lycopersicon esculentum* L., es una planta autógama, muy ramificada, rastrera y perenne, aunque se cultiva como anual. La raíz es pivotante pero tiende a ser fasciculada cuando la planta proviene de trasplante. Todas las partes vegetativas aéreas, junto con los pedúnculos, pedicelos y cálices florales son densamente pubescentes y glandulares, lo que da a la planta su olor característico. Los tallos son gruesos y angulosos, de color verde, con nodos compuestos de dos o, más comúnmente, tres hojas y una inflorescencia. En la axila de cada hoja aparece un tallo secundario. Según el tipo de crecimiento, las plantas pueden ser determinadas o indeterminadas. En las plantas de hábito de crecimiento indeterminado, carácter silvestre de la especie, hay un crecimiento nodal continuo a partir de que aparece la primera inflorescencia, entre la séptima y décima hoja verdadera. Las plantas determinadas se caracterizan porque la primera inflorescencia aparece relativamente pronto, hay tendencia a que existan no más de dos hojas nodales entre racimos y el tallo principal termina en una inflorescencia. Las hojas son anchas, planas y pinnatisectas, con 7-11 folíolos. Las inflorescencias, de tipo racimo o cima, tienen un número de flores variable, generalmente de 7 a 12. Además, las

inflorescencias pueden estar divididas o ser indivisas. Las flores son hermafroditas, perfectas, hipóginas y regulares. Los pedicelos poseen articulación funcional que actúa como zona de abscisión. El cáliz tiene cinco o más sépalos lanceolados y fusionados en la base. La corola está formada por cinco o más pétalos de color amarillo, lanceolado y fusionado en la base. Los sépalos son más pequeños que los pétalos aunque, al ser el cáliz acrescente, alcanzan un mayor tamaño con el desarrollo del fruto. Los estambres, cinco o rara vez seis, están fusionados a la corola por sus filamentos. Poseen anteras largas de color amarillo, conniventes, que forman un tubo en forma de botella en cuyo interior queda encerrado el estilo. Cada antera posee una extensión apical generalmente también fusionadas entre ellas. El pistilo está formado por un ovario compuesto. El fruto es una baya, generalmente de color rojo, bi- o multiloculada, con una gruesa placenta en la que se encuentran numerosas semillas recubiertas de una sustancia mucilaginosa. Están descritas una gran diversidad de formas y tamaños de frutos (Domínguez, 2000).

La producción de hortalizas bajo invernadero en México

La industria mexicana de la horticultura protegida se ha desarrollado en condiciones muy heterogéneas, con costos de adquisición e instalación de hasta 100 dólares americanos por metro cuadrado; así como, instalaciones muy económicas, como los denominados “Bioespacios” (Bustamante, 2003) o casas sombras, con costos de 4-6 dólares americanos por metro cuadrado. En la actualidad se estima que la superficie de invernaderos, incluidas las casas sombras, es de aproximadamente de 3600 hectáreas.

Los principales estados productores de hortalizas en invernadero son: Jalisco, Sinaloa, Baja California Sur, Baja California Norte, Colima y Sonora. Otros estados, que aunque en la actualidad presentan una baja superficie, tienen una tasa de crecimiento muy importante, son: Chihuahua, Guanajuato, Estado de México, Veracruz y Zacatecas. El principal cultivo que se dedica a la producción en invernadero es el tomate, en sus diferentes tipos, con el 73% de la superficie, seguido de pimiento y pepino con un 11% cada uno de ellos (Muñoz, 2003).

En México, existe una gran diversidad de regiones dispersas en el territorio nacional con diferentes climas, altitudes y condiciones meteorológicas contrastantes, en las que se podría producir bajo condiciones protegidas. También hay diferentes desarrollos de infraestructura, distancia a frontera, facilidades de mano de obra, apoyo de los gobiernos estatales, disponibilidad de gas natural (más económico que el gas propano). Por ello, cada región tiene sus propias demandas de infraestructura; por ejemplo, las regiones de Sinaloa, las Californias y Sonora, se están distinguiendo por su crecimiento en casas sombra, dado que las condiciones climáticas les permiten producir en el invierno y en suelo sin estructuras formales de protección, empleando únicamente mallas anti-insectos e infraestructura de tutores, con bajos costos de producción. Sin embargo estas regiones solo se dedican a producir en invierno, debido a que la venta del producto es hacia los Estados Unidos.

Por otro lado, en la región central del país está creciendo el invernadero multitúnel automatizado, principalmente bajo condiciones hidropónicas, los principales polos de desarrollo de la horticultura protegida (principalmente con casa sombra) en México están en Sinaloa, en las inmediaciones de Culiacán y Los Mochis; en el sur de Sonora, hacia el Valle del Yaqui y en Baja California Sur. En cuanto a instalaciones formales de invernaderos estos se encuentran en los estados de Baja California, en el Norte de Sonora, en Puebla y en Jalisco (Ojo de Agua, 2007).

En el estado de Guanajuato en los municipios de Celaya, Irapuato, San Miguel de Allende, Dolores Hidalgo y San Luís de la Paz; en Zacatecas, hacia la zona de Jerez, Ojo caliente y las Arcinas; en Coahuila en las inmediaciones de Torreón; en Chihuahua hacia los municipios de Delicias y Cuahutémoc y finalmente en el estado de México se realizan cuantiosas inversiones con invernaderos de alta tecnología, en la zona de Pastejé, de clima frío, con alta humedad relativa y a menudo baja radiación solar por efecto de días nublados (Castellanos y Tapia, 2004).

Principales enfermedades reportadas en tomate

Existen 51 patógenos reportados que causan daños al cultivo del tomate, entre los que destacan hongos, bacterias, virus, nematodos y fitoplasmas, que causan pérdidas en todo el mundo ocasionando graves daños dependiendo de las condiciones ambientales que presentan durante el desarrollo, de todos ellos los hongos constituyen uno de los principales grupos de interés; su diseminación es cosmopolita (Agrios, 1985).

Dentro de las principales enfermedades que atacan al cultivo son:

Enfermedades bacterianas.-Marchitez bacteriana: *Ralstonia solanacearum*, Cáncer bacterial: *Brevibacterium michiganensis*, Mancha bacteriana: *Xanthomonas vesicatoria*, Peca bacteriana: *Pseudomonas* sp. (Anaya y Romero, 1999)

Enfermedades fungosas.- Ahogadera: *Rhizoctonia solani*, *Pythium debarianum*, Antracnosis: *Colletotrichum phomoides* Cenicilla: *Erysiphe poligoni*, *Oidiopsis*, Mancha gris de la hoja: *Cladosporium fulvum*, Mancha gris: *Stemphyllium solani*, Ojo de venado: *Phytophthora capsici*, Pudrición de la raíz: *Verticillium lecani*, Secadera: *Fusarium oxysporum* fsp. *lycopersici*, Tizón tardío: *Alternaria solani*, Tizón temprano: *Phytophthora infestans*, Tizón del sur: *Sclerotium rolfsii*, Tizón del tallo: *Saclerotinia sclerotiorum*.

Enfermedades causados por nematodos.- Jicamilla: *Meloidogyne incognita*

Enfermedades por virus. En México el tomate es atacado por diferentes virus entre los que podemos citar: el mosaico del tabaco (TMV), enanismo arbustivo del jitomate (BSTV), marchitez manchada del tomate (TSWV), chino del tomate y una enfermedad llamada rizado amarillo del chile que también ataca al tomate (INIFAP, 2001).

El Control biológico

El control biológico de los patógenos de las plantas es un área de investigación relativamente nueva, y promete ser una de las formas aceptables en el control de las enfermedades de las plantas, debido al poco desequilibrio ecológico que ocasiona y a la amplia posibilidad de usarse en programas de manejo integrado. El control biológico es la “Reducción de la densidad de inoculo o de las actividades productoras de enfermedad de un patógeno o parásito, en su estado activo o durmiente, mediante uno o a más organismos, lograda de manera natural o través de la manipulación del ambiente, del hospedador o del antagonista o por la introducción masiva de uno o más antagonistas” (Baker y Cook, 1974).

Un organismo indeseable puede eliminarse localmente o, lo que resulta mejor, su población puede reducirse a una escala que no cause daño económico. La erradicación completa de plagas resulta ambiciosa y en la mayoría de los casos trae problemas ecológicos. Si un enemigo natural elimina completamente a una plaga, éste quedaría sin alimento para continuar su desarrollo. El control biológico busca reducir las poblaciones de la plaga a una proporción que no cause daño económico, y permite una cantidad poblacional de la plaga que garantiza la supervivencia del agente controlador. Este agente mantiene su propia población y previene que la plaga retorne a grados poblacionales que causan daño (véase figura 1). Toda población de insectos en la naturaleza recibe ataques en alguna medida por uno o más enemigos naturales. Así, depredadores, parasitoides y patógenos actúan como agentes de control natural que, cuando se tratan adecuadamente, determinan la regulación de poblaciones de herbívoros en un agroecosistema en particular.

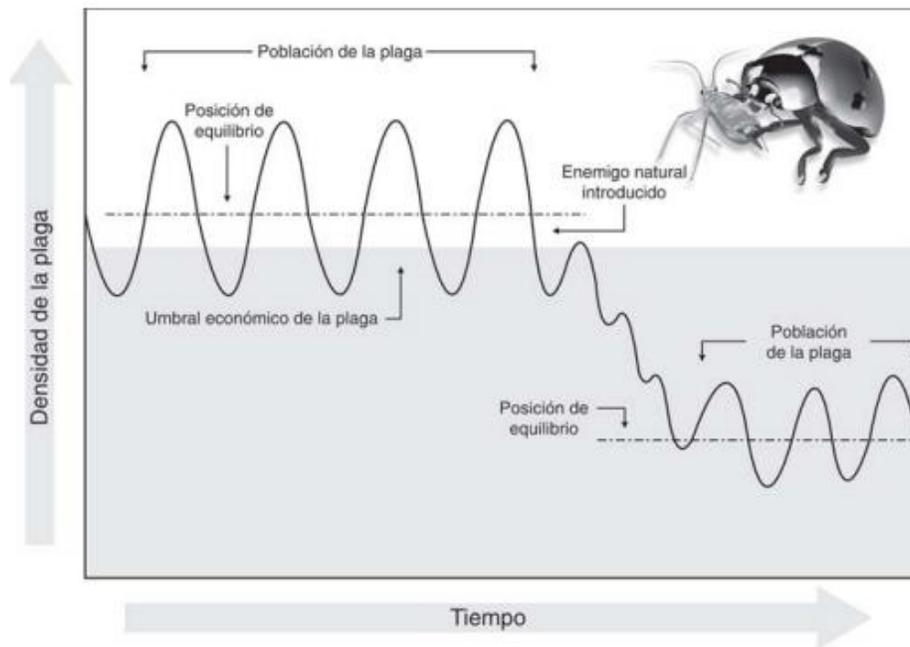


Figura 1. Efecto regulador de la introducción de un enemigo natural que ejemplifica el control biológico sobre una población plaga en relación con un umbral económico.

El control biológico puede ser autosostenido y se diferencia de otras formas de control porque su actuación depende de la densidad de la población de plagas. De esta manera, los enemigos naturales aumentan en intensidad y destruyen la mayor parte de la población de plagas en la medida que ésta aumenta en densidad y viceversa (DeBach y Rosen, 1991). En un sentido estrictamente ecológico, la aplicación del control biológico se considera una estrategia válida para restaurar la biodiversidad funcional en ecosistemas agrícolas, al adicionar entomófagos “ausentes” mediante las técnicas clásicas o aumentativas de control biológico el incremento de la ocurrencia natural de depredadores y parasitoides por medio de la conservación y el manejo del hábitat.

Origen del control biológico

El uso de enemigos naturales para reducir el impacto de plagas tiene una historia muy larga. El origen del aprovechamiento del fenómeno natural del control biológico está en la práctica de los antiguos agricultores chinos. Cuando observaron que las hormigas eran depredadores efectivos de muchas plagas de los cítricos,

aumentaban sus poblaciones, para ello colectaban nidos de hormigas depredadoras en hábitats cercanos y los colocaban en sus huertos, con el propósito de reducir las poblaciones de plagas del follaje. Hoy, los insectarios y la distribución de enemigos naturales por carga aérea alrededor del mundo son simplemente adaptaciones modernas de las ideas originales. Aunque la literatura menciona algunos casos en los siglos XVI, XVII, XVIII, en los que se observa el fenómeno y se plantean algunas posibilidades de su utilización, el primero en sugerir que los parasitoides podrían utilizarse en el control de plagas fue Erasmo Darwing, en 1800, al observar la muerte de larvas del follaje en repollo atacadas por una avispa (Ichneumonidae), y sólo hasta hace poco más de un siglo, en 1888, se presenta el primer intento serio y bien planeado de control biológico. Por eso, se toma este año como el inicio del control biológico en el mundo. Se trata del caso bien conocido y documentado de la introducción del coccinélido depredador *Rodolia cardinalis* (Coleóptera: Coccinellidae) de Australia a California para el control de la escama algodonosa de los cítricos *Icerya purchasi* (Homóptera: Margarodidae), (Nicholls, 2008).

Importancia del control biológico

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) ha considerado la importancia del empleo de agentes de biocontrol a través de un documento emitido en 2007: "la agricultura dependerá mucho del control biológico como componente mayor del manejo integrado de plagas. Los avances en técnicas moleculares y en el conocimiento científico en general serán la base del desarrollo de esta tecnología alternativa. Las investigaciones realizadas muestran que diferentes patógenos han servido como modelo para la aplicación de técnicas de biocontrol. La gama de cultivos a proteger es muy amplia: tales como leguminosas forrajeras de clima templado y gramíneas como trigo y cebada, cultivos hortícolas, frutales y forestales. Se ha propuesto una gran diversidad de agentes de biocontrol los cuales constituyen un recurso genético invaluable: bacterias rizosféricas, hongos entomopatógenos y levaduras, aislados de nuestros ecosistemas, que estarían

asegurando un control efectivo y no agresivo para el ambiente". Y, finalmente, agrega: "Para su aplicación comercial se requiere desarrollar estrategias de producción masiva de los microorganismos, normas de calidad para los bioplaguicidas, y marcos legales para registrar y regular el uso de organismos nativos" (FAO, 2007).

En México son muy pocas las investigaciones que se han realizado sobre control biológico de fitopatógenos mediante microorganismos antagonistas. La mayoría de estas investigaciones han sido efectuadas en laboratorio o invernadero y muy pocos en campo. En la mayoría de los casos el modo de acción de los microorganismos con actividad de biocontrol ha sido la producción de metabolitos con actividad antibiótica, entre ellos, el género *Bacillus* es un promisorio candidato, ya que se caracteriza por sintetizar péptidos con actividad antibacteriana y antifúngica. Una de las alternativas es el uso de bacterias como agentes de control biológico dada la diversidad genética de *Bacillus*, tanto en el suelo como en la rizósfera, se les considera como colonizadores eficaces (Kim *et al.*, 1997).

Mecanismos de acción

Serrano *et al.*, (2003) identificaron varios mecanismos de acción de los antagonistas para controlar el desarrollo de patógenos. Algunos de estos son antibiosis, competencia por espacio o por nutrientes, interacciones directas con el patógeno (micoparasitismo y lisis enzimática) e inducción de resistencia.

Sid *et al.*, (2003), los mecanismos básicos de antagonismo asociados a bacterias pueden ser de los siguientes tipos:

- a) Parasitismo directo o predación
- b) Antibiosis
- c) Competencia
- d) Inhibición

Interacción directa con el patógeno

Un tipo de interacción directa entre los antagonistas y los patógenos es el parasitismo (Lecuona, 1996). El parasitismo es la acción de un microorganismo parasitando a otro y puede ser definido como una simbiosis antagónica entre organismos. Este consiste en la utilización del patógeno como alimento por su antagonista. Generalmente, están implicadas enzimas extracelulares tales como quitinasa, celulasa, P1, 3 - glucanasa y proteasa, que rompen las estructuras de los hongos parasitados.

Antibiosis

La antibiosis se considera como uno de los principales mecanismos de control biológico que tiene como base la producción de metabolitos tipo antibióticos. Esto se define como "un grupo químicamente heterogéneo y de bajo peso molecular, secretado por algunos microorganismos que, en baja concentraciones, demeritan el crecimiento o actividades metabólicas de otros organismos".

El efecto de antibiosis sobre patógenos manifiesta principalmente como inhibición de la esporulación, reducción de crecimiento micelial, alteración en la actividad metabólica bacteriana, retardación en la germinación de esporas, inhibición de la melanización, germanización y supervivencia de esclerocios (Cerrato y Alarcón, 2007).

Competencia

Esta constituye un mecanismo de acción antagónica muy importante. Puede definirse como el comportamiento desigual de dos o más organismos ante un mismo requerimiento, siempre y cuando la utilización del mismo por uno de los organismos reduzca la cantidad disponible para los demás. Un factor esencial para que exista competencia es la escasez o limitación de un elemento porque si hay exceso no hay competencia (Moffat, 2001).

Inhibición

Es la reducción del crecimiento microbiano o causa de una disminución del

número de organismos presentes, o de alteraciones en el entorno microbiano (Madigan *et al.*, 1998).

Control biológico con rizobacterias

El control biológico ha surgido en las últimas décadas como una alternativa para el manejo de fitopatógenos y principalmente ha sido orientado al control de patógenos habitantes del suelo (rizósfera), ya que éste representa un hábitat heterogéneo, en donde la región del suelo en contacto con la raíz, es un hábitat rico en nutrientes, de tal manera que el 40% de los fotosintatos traslocados a la raíz son perdidos en el suelo en forma de mucílago, células muertas, material de la pared celular y solutos orgánicos que incluyen azúcares, ácidos orgánicos, aminoácidos y compuestos fenólicos (Lazarovits y Nowak, 1997). Todo esto implica procesos asociados con la competencia en la rizósfera, en donde los microorganismos que ahí residen interactúan entre sí y con las raíces de las plantas por vías que afectan su crecimiento y desarrollo. Estos procesos pueden ser considerados como neutros, dañinos o benéficos para el crecimiento de las plantas (Fenchel *et al.*, 2000).

Debido a lo antes señalado la rizósfera ofrece la primera línea de defensa contra el ataque de los patógenos, por lo que se considera que los microorganismos que crecen ahí son excelentes para usarse en programas de control biológico pues el amplio espectro de actividad antagónica de varios microorganismos contra los patógenos de las plantas hace que estas especies sean buenos candidatos (Podile y Prakash, 1996).

Rhizobacterias Promotoras de Crecimiento (RPCP).

El concepto de las rizobacterias promotoras de crecimiento (RPCP) o PGPR (Promoting Growth Plant Rhizobacteria) fue definido por Kloepper, (1989) como las bacterias habitantes de la raíz que estimulan significativamente la germinación de semillas y el crecimiento de las plantas e incrementan la tolerancia a otros microorganismos causantes de enfermedades.

Las RPCP son bacterias exógenas introducidas en los agroecosistemas que actúan positivamente en la germinación de semillas y en el desarrollo de la planta. Para lograr una adecuada utilización del potencial de estos microbios se debe comprender en detalle las interacciones mutualistas entre inoculantes y los microorganismos requeridos residentes en la rizósfera. Los mecanismos usados por las RPCP pueden ser directos o indirectos; lo anterior conlleva a la secreción de biocompuestos reguladores de crecimiento, y lo último que ocurre durante la producción de estos compuestos antimicrobianos es la reducción de los efectos letales de los fitopatógenos que atacan a las plantas. Los diferentes modos de acción pueden conducir a relaciones heterogéneas entre un inoculante y las comunidades microbianas de la raíz. Las rizobacterias también son afectadas por factores endógenos de la planta, la ingeniería genética, el estrés ambiental y las prácticas agrícolas. Estos factores parece que tienen un efecto más determinante en la estructura de la comunidad de un agente activo exógeno introducido a las RPCP (Dos Santos, 2005).

La mayoría de las RPCP son activadas cuando se aproximan o entran en contacto con la raíz de la planta inoculada, es decir en la rizósfera. La mayoría de las comunidades de rizobacterias son atraídas hacia el suelo y pocas son originadas de la asociación semilla-microorganismo (Costa *et al.*, 2006). La rizósfera es un complejo habitable para la acción del desarrollo radicular (principalmente a la residencia de los microorganismos) con componentes bióticos y abióticos del suelo, que también responden a estos medios. La introducción de una gran cantidad de bacterias exógenas como inóculo afecta el potencial de los microorganismos nativos, al igual, un inóculo puede ser afectado por estos. Tales interferencias pueden ser

incrementadas y disminuir el efecto de las RPCP efectivas, de allí la necesidad de estudiar la ecología microbiana de la rizósfera siguiendo las aplicaciones de RPCP (Dos Santos, 2005).

La mayoría de las investigaciones realizadas en este ámbito se han enfocado a la precisión de los mecanismos involucrados en el control biológico y relativamente poco en el conocimiento relacionado con la promoción directa del crecimiento de las plantas. Esto ha dado pauta para realizar estudios que consideran principalmente la densidad del inoculo, fisiología de la cepa promotora, temperatura, propiedades del suelo, cultivo y genotipo de la planta; el objetivo ha sido entender de manera clara los mecanismos de promoción del crecimiento de las plantas inducido por cepas de RPCP, con el propósito de aislar y seleccionar nuevas cepas que representen una fuente exitosa de inoculantes biológicos en la agricultura, así como en la elaboración de productos comerciales (Delgadillo *et al.*, 2001). En años recientes ha emergido cierta controversia, ya que no se sabe hasta qué punto se puede considerar una rizobacteria como RPCP, por lo que se han establecido cuatro características que definen a este grupo de bacterias benéficas:

1. Que no requieran de la invasión de tejidos de las plantas, como ocurre en hongos micorrízicos con la formación de arbusculos o nódulos, que es el caso de *Rhizobium*.
2. Que tengan una densidad poblacional elevada en la rizósfera después de su inoculación, ya que una población que declina rápidamente tiene una baja capacidad competitiva con la microflora nativa del suelo.
3. Que presenten capacidad de colonización efectiva en la superficie de la raíz y, como consecuencia, puedan influir positivamente en el crecimiento de la planta.
4. Que no produzcan daño en el hombre ni a otros microorganismos.

Mecanismos de acción de las RPCP.

Los mecanismos de los promotores de germinación de semillas y crecimiento de la planta (PGCP) pueden ser directos o indirectos. Los mecanismos directos de los PGCP conllevan a la secreción de reguladores de crecimiento como fitohormonas que se obtienen de la activación de los metabolitos de la raíz o del abastecimiento de los nutrientes derivados de las raíces (Burdman *et al.*, 2000). Los mecanismos indirectos de los PGCP ocurren cuando disminuyen los RPCP o evitan los efectos deletéreos de los fitopatógenos a través de la producción de compuestos antimicrobiales, compitiendo por hierro y nutrientes en los sitios de colonización, entre otros (Whipps, 2001). Esto no quiere decir que una RPCP pertenezca exclusivamente al primer o segundo grupo. Pueden también ser dotadas de ambas capacidades (Fuentes-Ramírez y Caballero-Mellado, 2005). Estos modos diferentes de acción pueden conducir a diferentes relaciones entre un inóculo y las microbiales en la raíz. Según Dos Santos, (2005).

Mecanismos directos:

Un efecto directo y quizás el más importante es la producción de fitohormonas (auxinas, giberelinas, citocininas y etileno); otros mecanismos que han sido bien documentados son: solubilización del fósforo, disminución de la concentración de etileno, retención de hierro por sideróforos y fijación de nitrógeno.

Mecanismos indirectos:

Consiste en un aumento en la movilización de nutrientes solubles, seguido por el mejoramiento de la absorción de plantas, la producción de antibióticos para hongos y bacterias. Los metabolitos pueden funcionar como determinantes antagónicos, que involucran aspectos de control biológico, suprimen o inhiben el

crecimiento de los microorganismos perjudiciales, vía producción de sideróforos, antibióticos, acción de enzimas líticas (glucanasas y quitinasas) o inducción de mecanismos de resistencia.

La conjunción de ambos mecanismos de acción, ha dado como resultado la promoción evidente del crecimiento en plantas; se ha observado un incremento en la germinación, la emergencia, el vigor y el peso de las plántulas, un desarrollo mayor de los sistemas radiculares y un incremento de hasta el 30% en el rendimiento de los cultivos de interés comercial tales como papa, rábano, tomate, trigo y soya. Dos Santos, (2005).

Genero *Bacillus*

Los bacilos en general están clasificados dentro de los microorganismos aeróbicos o facultativos y productores de catalasa. . Tienen un ADN (mol% G+C) de 32 -8, Pueden ser Gram positivos o variables. En general producen endosporas, o sea esporas que se forman dentro de la célula (Bioland, 2005).

Las características generales del género *Bacillus* son:

- Producen endosporas, las que son termorresistentes y también resisten a agentes perjudiciales como la desecación, la radiación, los ácidos y los desinfectantes químicos.
- Muchos bacilos producen enzimas hidrofílicas extracelulares que descomponen polisacáridos, ácidos nucleicos y lípidos, permitiendo que el organismo emplee estos productos como fuentes de carbono y donadores de electrones. Muchos bacilos producen antibióticos y son ejemplos de estos la bacitracina, polimixina, tirocidina, gramicidina y circlulina.
- Los bacilos en general crecen bien en medios sintéticos que contienen azúcares ácidos orgánicos, alcoholes, etc. como las únicas fuentes de carbono y el amonio como única fuente de nitrógeno.

- Viven dentro los límites de temperatura de 55 a 70°C - el límite inferior de pH para *Bacillus* es de 2 a 3 (Glick, 1995).

Clasificación Taxonómica

Jansen, (2004) .La clasificación taxonómica es la siguiente:

Dominio: Bacteria

Phyllum: Firmicutes

Clase: Bacilli

Orden: Bacillales

Género: *Bacillus*

Especie: *subtilis*

El Genero *Bacillus* como agente de control biológico.

Una de las bacterias que más han sido estudiadas debido a su capacidad para la supresión de enfermedades en las plantas es el género *Bacillus*, éstos son considerados como menos competentes en la rizósfera comparados con especies del género *Pseudomonas* y quizá por esta razón muchos investigadores proponen el desarrollo de agentes de control biológico por introducción en la rizósfera con especies de *Pseudomonas* (Kim et al., 1997). Sin embargo, especies de *Bacillus* como grupo, ofrece ciertas ventajas sobre cepas del género *Pseudomonas* y otras bacterias gram negativas para la protección contra hongos patógenos de raíz, debido a su capacidad de formar endosporas y a la actividad del amplio espectro de sus antibióticos, otra característica es que este grupo es capaz de utilizar una extensa cantidad de compuestos orgánicos simples además de ser anaeróbicos facultativos (Clements *et al.*, 2002).

Uno de los mejores ejemplos conocidos es la aplicación de *B. subtilis* A13, el cual se aisló en Australia hace 25 años; esta bacteria fue seleccionada por su

capacidad de inhibición *in vitro* de 9 patógenos y su efecto promotor de crecimiento en diferentes cultivos como maíz, cereales y zanahoria. Otro ejemplo es la cepa de *B. subtilis* GB103 conocida comercialmente como Kodiak, la cual controla la enfermedad conocida como ahogamiento de cultivo de papa, esta funciona a través de lo que se llama "nicho de ocupación". *B. subtilis* coloniza la raíz, al ocupar un espacio físico sobre ésta desplaza a los patógenos. Dicho producto tiene la ventaja a diferencia de otros biofungicidas, de perdurar toda la vida de la planta, ya que es un organismo vivo que convive con la raíz y se alimenta de los exudados de ésta.

Venegas *et al.*, (2005) señalan que: "existen cepas bacterianas silvestres del género *Bacillus* que son capaces de inhibir el crecimiento *in vitro* de cepas patógenas *Fusarium solani* y *F. oxysporum*". Las cepas silvestres del género *Bacillus* sp. Aislados de la rizosfera de plantas son capaces de generar un efecto antagónico en el crecimiento y desarrollo de este patógeno, además de no presentar efectos adversos en la viabilidad de la plantas del estudio.

Genero *Trichoderma* spp.

Trichoderma (teleomorfo *Hypocrea*) es un género de hongos que se encuentran en los suelos de todas las zonas climáticas del mundo y son importantes descomponedores de materiales leñosos y herbáceos. *Trichoderma* es un hongo invasor oportunista, que se caracteriza por su rápido crecimiento, por la capacidad de asimilar una amplia gama de sustratos y por la producción de una variedad de compuestos antimicrobianos. Algunas cepas han sido explotadas como agentes de control biológico (BCA) de patógenos, incluyendo hongos y nematodos, todo mediado por la producción de enzimas de degradación de la pared celular, como: celulasas, quitinasas, glucanasas, entre otras, y la producción de antibióticos.

También, han sido usadas en biorremediación, por su capacidad de degradar hidrocarburos, compuestos clorofenólicos, polisacáridos y los plaguicidas xenobióticos, utilizados en la agricultura (Verma *et al.* 2007; Vinale *et al.* 2008; Hoyos *et al.* 2009). Igualmente, debido a la existencia de transposones ABC en sus moléculas (Hoyos *et al.* 2009), se considera estimulador del crecimiento vegetal

(Leandro *et al.* 2007) e inductor de resistencia sistémica, debido a que modula o estimula algunas respuestas en la planta (Howell & Puckhaber, 2005; Howell, 2006).

Entre los efectos positivos de la inoculación de plantas con *Trichoderma* (Harman *et al.* 2004; Harman, 2006), se incluyen:

- Control biológico de enfermedades causadas por patógenos en la raíz y en algunos foliares.
- Inducción de resistencia sistémica en las plantas.
- Cambios en la composición de la microflora de las raíces.
- Mejora la absorción de nutrientes, incluyendo, pero no limitado, al nitrógeno.
- Mejora de la solubilidad de los nutrientes del suelo.
- Mayor desarrollo de las raíces.
- Aumento de la formación de pelos radiculares.
- Más profundo enraizamiento.

Las características generales del genero *Trichoderma spp.*

Trichoderma sp., es un habitante natural del suelo, caracterizado por un comportamiento saprófito o parásito, propiedades que benefician su actividad antagónica (Camargo, 2005). Es considerado un colonizador secundario dado su frecuente aislamiento a partir de materia orgánica en descomposición, también es aislado comúnmente a partir de la superficie de raíces de varias plantas de madera y parasitando estructuras de diferentes hongos patógenos, debido a la competencia por nutrientes y micoparasitismo (Camargo *et al.*, 2005).

Las colonias de *Trichoderma* presentan crecimiento rápido, que va formando una colonia delgada sobre la superficie del agar, debido a la conidiación que presenta a través de su desarrollo. Las colonias al comienzo son lisas o casi transparentes y algunas veces blancas, posteriormente se presentan penachos blancos y algodonosos, de micelio blanco, conformando una red densa, responsable del

pigmento característico. Las especies del género *Trichoderma* presentan conidióforos complejos y altamente ramificados en forma piramidal o cónica dando origen a esterigmas, con extremos ahusados. Al microscopio las fialides se observan más estrechas en la base que en la parte superior, permitiendo una buena correlación entre el sistema de ramificación del conidióforo y la disposición de estas (Barnett, y Hunter, 1998).

Microscópicamente su morfología corresponde a hifas hialinas septadas, conidióforos, fialides y conidios. Los conidióforos son hialinos, generalmente ramificados, se forman de las hifas de ángulo de 90° y en ocasiones llegan a tener una disposición piramidal. Las fialides son hialinas, en forma de matraz, se adhieren a los conidióforos por la parte más amplia, pueden ser solitarias o dispuestas en racimos y producen los conidios en el extremo (Kubicek y harman, 1998).

Trichoderma spp. tiene gran abundancia en varios suelos, junto con su habilidad para degradar varios sustratos orgánicos, su versatilidad metabólica y su resistencia a inhibidores microbianos, sugiere que este hongo puede poseer la habilidad para sobrevivir en varios nichos ecológicos, dependiendo de las condiciones que prevalezcan y sobre las especies involucradas. (Riegel y Nielsen, 1996).

Clasificación Taxonómica

Trichoderma spp. Se encuentra clasificado según Alexopoulos *et al.*, (1996) como:

División: Eumycota

Subdivisión: Deuteromycotina

Clase: Hypomycetes

Orden: Hyphales

Familia: Monilaceae

Género: *Trichoderma*.

Especie: *harzianum*, *hamatum*, *viride*, *longibranchiatum*, entre otras.

El Género *Trichoderma* como agente de control biológico.

El entendimiento de la diversidad genética de cada cepa dentro de las especies de *Trichoderma* y sus mecanismos de biocontrol ha permitido mejorar la aplicación de las diferentes cepas. Estos mecanismos son diversos, complejos y pueden actuar sinérgicamente para lograr el control de enfermedades (Howell *et al.*, 2003).

Las diferentes especies de *Trichoderma* ejercen el biocontrol de una manera indirecta bien sea por competencia por nutrientes o espacio, antibiosis (producción de metabolitos), modificando las condiciones ambientales o mediante la producción de sustancias promotoras del crecimiento vegetal y de una forma directa por micoparasitismo, algunas especies del género *Trichoderma* son muy comunes en diversos suelos, principalmente en suelos ácidos y ricos en materia orgánica. Estas especies son fáciles de aislar, de cultivar y de propagar en diversos sustratos y la mayoría presentan un buen micoparasitismo (Benítez, 2004).

A pesar de la cantidad creciente de investigaciones dedicadas a estudiar la actividad antimicrobial de *Trichoderma spp* " *in vitro*", el conocimiento de los mecanismos exactos responsables de la reducción en la incidencia de las enfermedades, después de la aplicación de *Trichoderma spp.* es aún insuficiente. (Yedidia *et al.*, 1999).

***Trichoderma* como biofertilizante**

Se han realizado algunos estudios enfocados a la optimización de parámetros para la producción de *Trichoderma*. Chávez, (2006) evaluó la producción de este hongo mediante fermentación sólida, líquida o bifásica empleando diferentes sustratos como arroz, avena, soya, trigo, cebada, entre otros y diferentes condiciones de temperatura y fotoperiodo. Los resultados indicaron que el proceso

de fermentación sólida empleando como sustrato arroz-agua destilada a 25°C y la exposición constante a la luz permitió mayor recuperación (45×10^{18} conidios/mL), con 88 y 96% de germinación a las 18 y 24 horas respectivamente y una pureza estimada de 92.1%. Este proceso representa una alternativa viable para producción tanto industrial como artesanal de un inoculante biológico de buena calidad a base del *Trichoderma*; con buenos resultados en campo. Estudios preliminares indican que al aplicar este hongo a las semillas, sustrato en vivero, plantas en vivero, recién trasplantadas o plantas establecidas, produce efectos positivos en el crecimiento y desarrollo de las mismas.

Ahora bien, el conocimiento de estos nuevos biofertilizantes a base de concentración de esporas a partir del hongo *Trichoderma spp* ha permitido el desarrollo de estudios "in vivo" para la inducción de respuesta en plantas e incremento en la producción de cultivos.

Reynoso *et al.*, (2006), demostraron en estudios de biocontrol bajo condiciones de cultivo, que la aplicación de diferentes concentraciones de inóculo de *T. harzianum* (10^2 y 10^6), produjo un notable incremento en la cosecha de maní. Se encontró un incremento en el porcentaje de 45 a 76% en zonas naturalmente infestadas y de 57 a 95% en suelos artificialmente infestados, cuando las semillas fueron tratadas con *T. harzianum* 10^6 .

MRBT como un Producto Experimental.

Es una mezcla que está compuesta a base de extractos de crecimiento de *Trichoderma*, *Bacillus* y de cepas de *Rhizobium* en solución mineral, para la promoción del crecimiento radicular en hortalizas.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del Experimento

El presente trabajo de investigación se realizó durante el ciclo agrícola de primavera-verano, a partir del 19 de abril al 29 de julio del 2015. La producción de plántula de tomate se realizó dentro del túnel invernadero del Departamento de Parasitología, así como el trabajo experimental de desarrollo y producción del cultivo en el macro túnel del bajío de la UAAAN.

Geográficamente el lugar se sitúa a 25°23 latitud Norte y 101°00 de longitud oeste con respecto al meridiano de Greenwich y una altura de 1743 msnm. La UAAAN se localiza en Buenavista municipio de Saltillo a siete kilómetros al sur de la misma ciudad, la cual está ubicada en la región sureste del Estado de Coahuila.

Material Utilizado

Los materiales biológico empleado para promover el crecimiento y desarrollo del cultivo en este experimento fueron extractos de bacterias de tipo *Bacillus subtilis*; así como el hongo *Trichoderma harzianum* y el MRBT; un producto experimental que está compuesto de la combinación de los dos tipos de microorganismos antes mencionados y suplementado con polisacáridos de cepas de *Rhizobium phaseoli*.

Establecimiento del Cultivo

Se realizó la siembra de semillas en charolas de unicel con una mezcla de sustrato de peat moss y perlita (70: 30), regando las charolas periódicamente para mantener una buena humedad y favorecer las condiciones para la germinación de la semilla. 40 días posteriores se procedió hacer el trasplante tomando las mejores plantas para tener una uniformidad entre ellas y determinar la efectividad de los

tratamientos al aplicarlos. Los tratamientos empleados fueron aplicados en las mismas dosis para cada uno y para cada repetición.

Aplicación de los tratamientos

Los productos evaluados fueron utilizados a una dosis de 5 ml/ L de agua. La aplicación de los tratamientos se realizó con una bomba aspersora marca truper en el que se aplicó directamente sobre las raíces de las plantas, aplicando en total de 4 litros por cada tratamiento experimental; para este experimento se realizaron tres aplicaciones, las aplicaciones fueron cada 25 días, el trasplante se hizo el 29 de mayo, la primera aplicación se hizo dos días posteriores del trasplante llevándose a cabo el 1 de junio, el segundo el 26 de junio y el tercero el 21 de julio.

Toma de Datos.

La toma de datos para cada una de las variables se llevó acabo el 29 de julio del 2015, se realizó antes de efectuar la cosecha del primer corte donde se tomaron 11 plantas al azar de cada tratamiento. Las variables a tomar en cuenta para este experimento fueron; diámetro de tallo, altura de la planta, número de racimo/planta, número total de frutos formados/planta.

Para estas variables se tomaron 4 plantas de cada tratamiento como; peso total de la planta, peso del fruto, peso de la raíz, largo de la raíz.

Diseño Experimental

Para cada uno de los paramentos evaluados se realizó un análisis de varianza (ANOVA), estadístico mediante el paquete computacional SAS (Statical Análisis System). En el experimento se utilizó un diseño completamente al azar, utilizando dos surcos y se dividió a la mitad para evaluar 2 tratamientos, cada tratamiento consto de

20 plantas y cada uno represento una repetición, los tratamientos empleados fueron aplicados en las mismas dosis para cada uno de los tratamientos. Los datos obtenidos fueron analizados a través de la comparación de medias según Tukey ($\alpha = 0.05$).

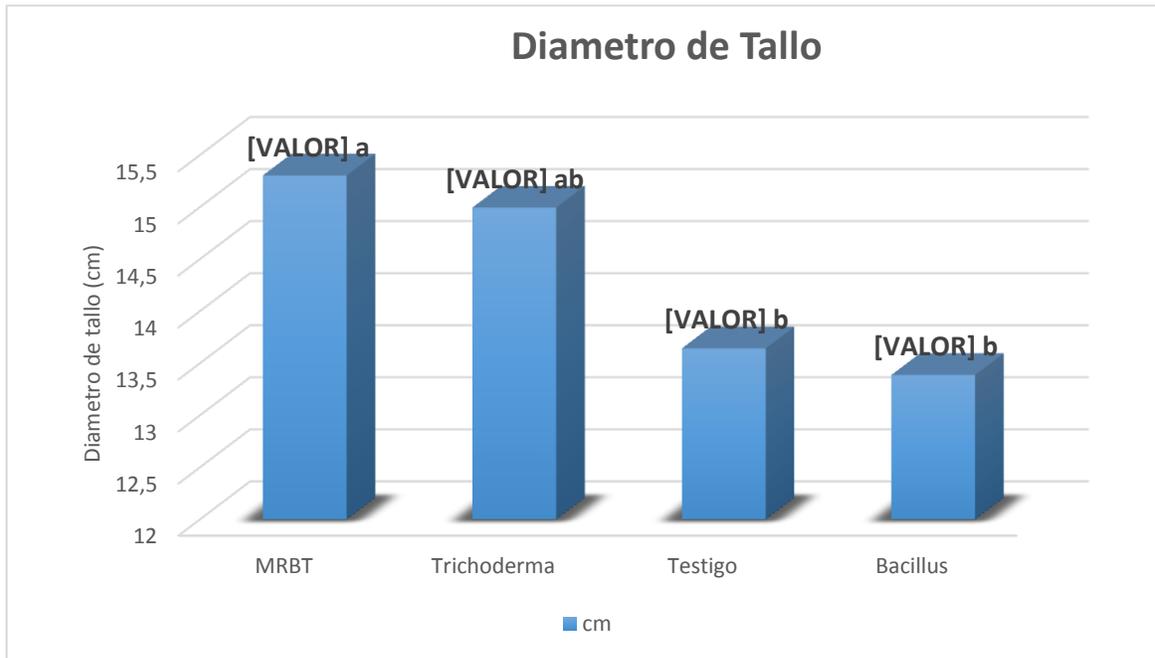
Manejo del Cultivo

En cuanto al manejo se le realizó una poda de formación a los 15 días después del trasplante, posterior a ello se realizaron podas de brotes axilares cada 6 días, esto con el fin de que la planta aprovechara más los nutrientes en la parte requerida y no exista competencia de nutrientes. También se llevaron a cabo el tutorado de las plantas con la finalidad de facilitar el crecimiento y el desarrollo vertical de la planta y favorecer su fructificación y cosecha. Para el control de mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*) se hicieron aplicaciones con Cipermetrina. Para los requerimientos de nutrición, los primeros 20 días posteriores a su trasplante se le aplicó fertilizante de triple 20 (20-20-20), después se hicieron cada semana las aplicaciones de fertilizantes con triple 18 (18-18-18).

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diámetro de Tallo

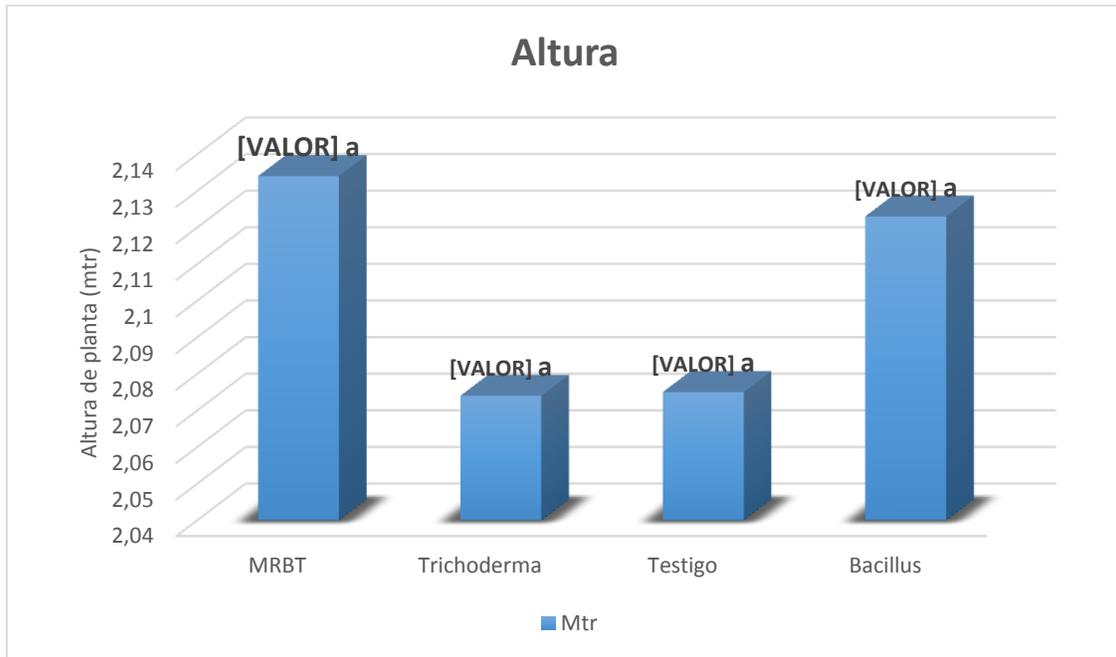
De acuerdo a la variable diámetro de tallo (cuadro 2 del apéndice) se observa una notoria diferencia significativa entre los tratamientos, sobresalió el material evaluado como MRBT y *Trichoderma* que mostrarón mayor diámetro ($\alpha = 0.05$), respecto al testigo y de la aplicación de *Bacillus* (Grafica 1). El producto MRBT mostro un 12.18% mayor diámetro respecto del testigo como efecto representativo de la promoción de tallo del cultivo del tomate.



Grafica 1. Porcentaje de incremento de diámetro del tallo en el cultivo del Tomate. (Valores con la misma letra son similares estadísticamente $\alpha=0.05$)

Altura de Planta

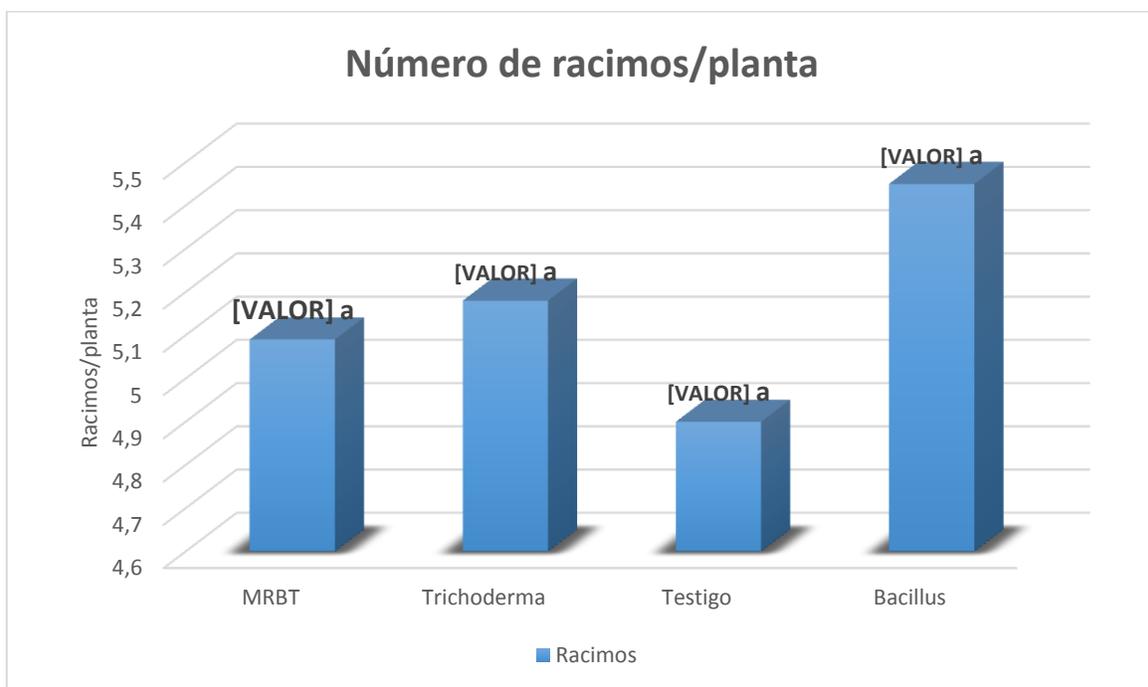
En el análisis de varianza de la altura de planta de tomate (Cuadro 4 del apéndice) no detecta diferencia significativa entre los tratamientos (C.V.=5.2%), sin embargo, se observa que el tratamiento con MRBT obtuvo los valores más altos en contraste con *Trichoderma* en el que se muestra los menores valores. La aplicación del producto MRBT indujo un incremento de 5.22% en la altura de la planta de tomate, en comparación con el Testigo (Grafica 2).



Grafica 2. Porcentaje de incremento de altura del cultivo de Tomate (Valores con la misma letra son similares estadísticamente $\alpha=0.05$)

Numero de Racimos por Planta

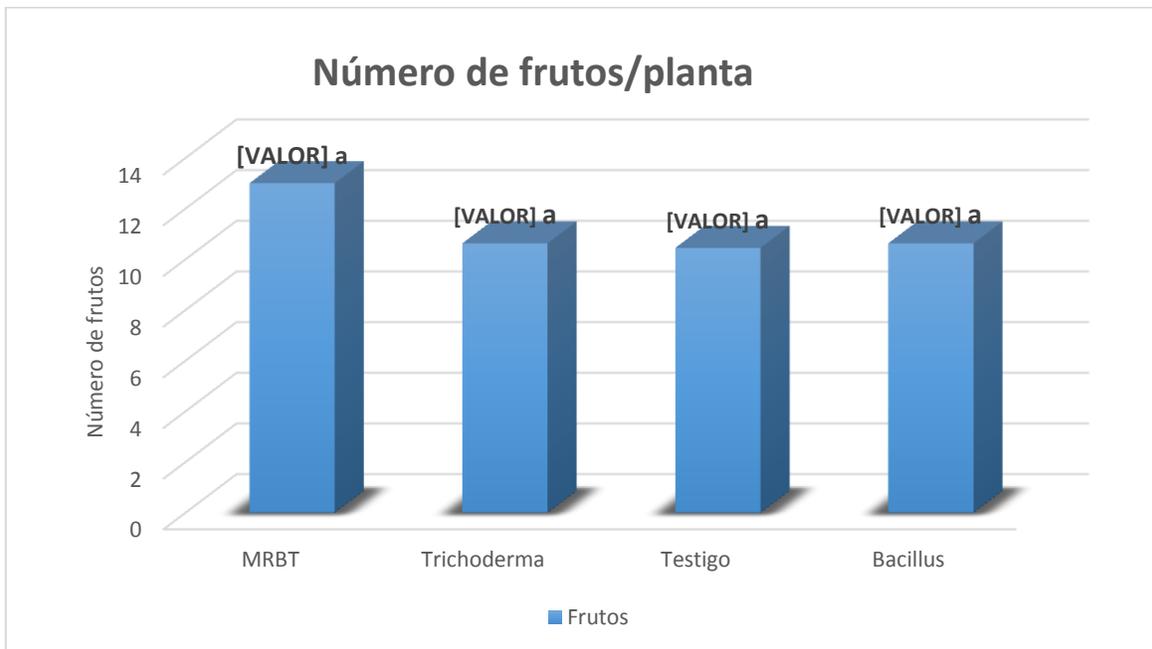
La cantidad de racimos por planta mostro que todos los tratamientos se comportaron similarmente (cuadro 6 del apéndice), prácticamente las diferencias manifestaron pobre variación (C.V.=13.76%), no obstante el tratamiento con *Bacillus* obtuvo numéricamente el mayor número de racimos, diferenciándose de los materiales en este aspecto de promoción en el fruto, tal y como se aprecia en la Grafica 3.



Grafica 3. Porcentaje de incremento en el número de racimos por planta del cultivo del Tomate (Valores con la misma letra son similares estadísticamente $\alpha=0.05$)

Numero de Frutos por Planta

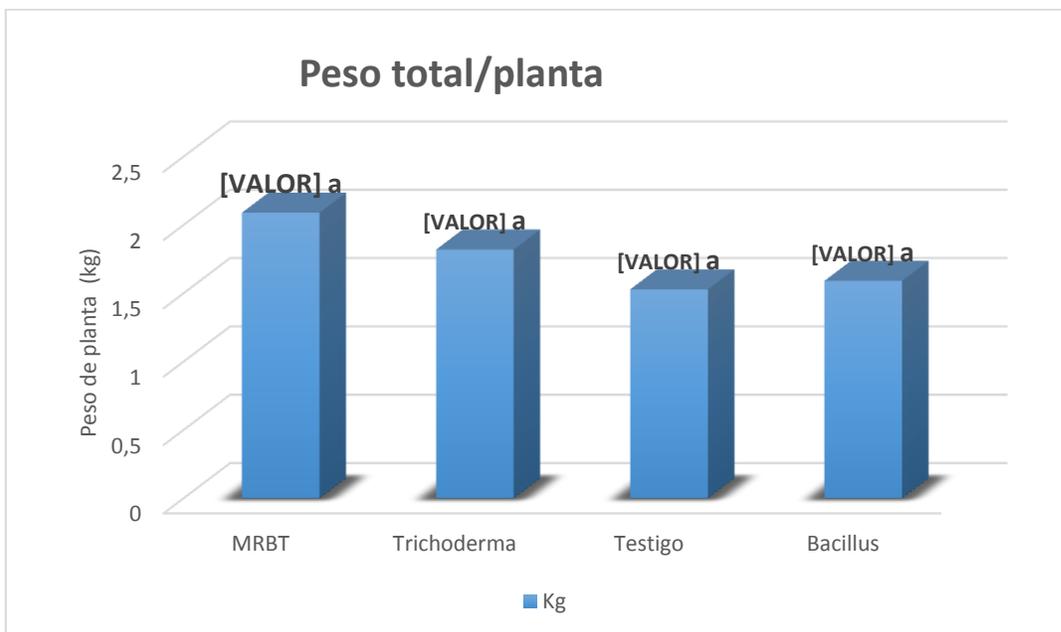
Al cuantificar la cantidad de frutos formados por tratamiento, habiendo transcurrido 61 días, independientemente del tamaño y peso, se observó ya estadísticamente que todos los tratamientos se comportaron de forma similar ($\alpha = 0.05$), (C.V.=28.06%), anqué en este análisis de varianza existió un mayor margen de variación entre los datos, razón por la cual estadísticamente no fue posible estratificar esta variable por tratamiento (Grafica 4).



Grafica 4. Porcentaje de incremento en el número de fruto por planta del cultivo de Tomate (Valores con la misma letra son similares estadísticamente $\alpha=0.05$)

Peso Total por Planta

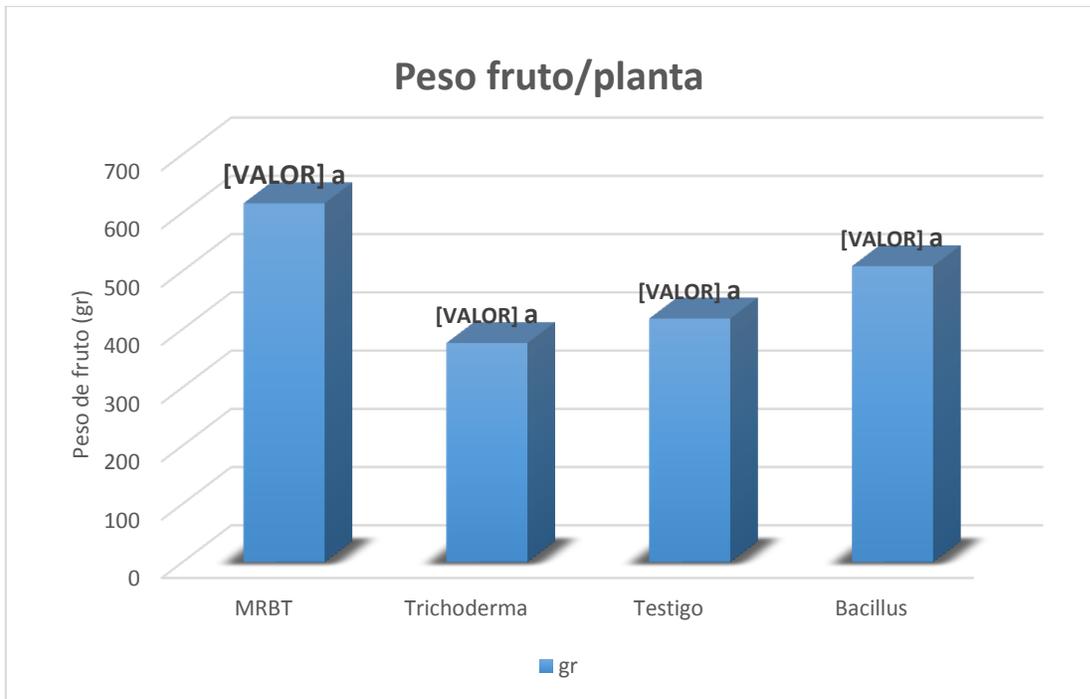
La variación de datos obtenidos de peso por planta (C.V.=32.72%), fue amplia y aunque en los datos numéricos se observa diferencias marcadas, la variación en los pesos por unidad muestreada agrupó los tratamientos de manera similar ($\alpha = 0.05$), tal y como se observa en la (Grafica 5). Sin embargo el producto MRBT resalta como el material que mejor promovió el desarrollo de esta variable en la planta de tomate.



Grafica 5. Porcentaje de incremento en el peso total por planta de Tomate (Valores con la misma letra son similares estadísticamente $\alpha=0.05$)

Peso del Fruto por Planta

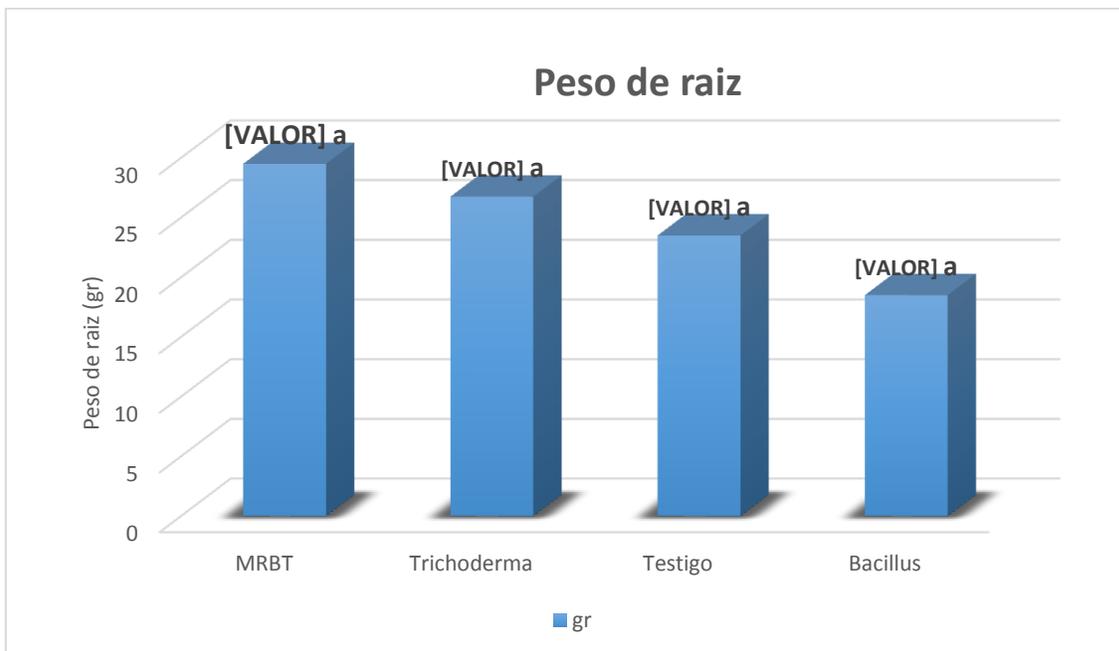
La grafica 6 muestra los valores de la cantidad de frutos, que a los 61 días se obtuvieron por planta y donde numéricamente se observa que existen diferencias marcadas en peso de fruto, resaltando el producto MRBT como el mejor incremento en la variable, sin embargo la heterosidad (C.V.=56.17%) entre las determinaciones de bloques no permite estratificar o separar como diferentes los tratamientos (cuadro 12 apéndice), por lo que se reportan como similares estadísticamente (Grafica 6).



Grafica 6. Porcentaje de incremento en el peso total del fruto de Tomate (Valores con la misma letra son similares estadísticamente $\alpha=0.05$)

Peso de Raíz

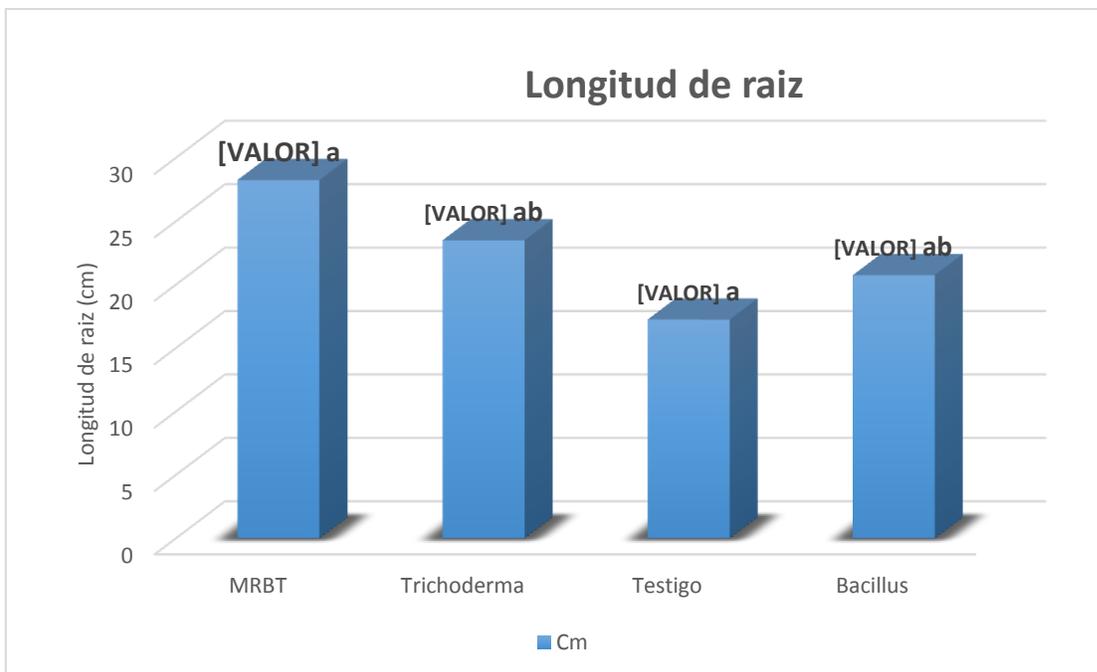
Datos numéricos con alta variación (Cuadro 14 del apéndice) en el peso de la raíz dieron como resultado en la comparación de medias según Tukey ($\alpha = 0.05$), que los tratamientos se comportaron estadísticamente igual, por lo que se agruparon como similares y para propósito de diferenciación deberá de considerarse idénticos todos los tratamientos. Si bien el margen de variación entre las repeticiones de cada tratamiento fue amplio y no existe evidencia estadística suficiente para separar los tratamientos, al menos se alcanza apreciar que numéricamente el producto MRBT muestra más de un 25% en peso de raíz que el testigo, diferencias similares a las obtenidas en otras variables.



Grafica 7. Porcentaje de incremento en el peso de la raíz de Tomate (Valores con la misma letra son similares estadísticamente $\alpha=0.05$)

Longitud de Raíz

En la variable longitud de raíz de la planta de tomate fue notorio observar (Cuadro 16 del apéndice) diferencias altamente significativa entre los tratamientos, estadísticamente los tratamientos aplicados en el cultivo mostraron una gran diferencia respecto al testigo, el producto MRBT mostro mayor longitud de raíz que *Bacillus* y *Trichoderma* donde se observó un incremento de 36.14% mayor que *Bacillus* y 20.21% en *Trichoderma*. (Grafica 8) Muestra un incremento de 63.76% mayor que el Testigo. Eso indica que la mezcla de materiales microbiológicos (producto MRBT) es más eficiente en la elongación celular de raíz y por ende un mayor crecimiento. Estos resultados concuerdan con Díaz *et al.*, (2001) quienes realizaron trabajos con lechuga (*Lactuca sativa* L.) donde mencionan que los productos microbiológicos son promotores de crecimiento incrementado el desarrollo de la zona radical, lo que repercute directamente con el rendimiento del cultivo.



Grafica 8. Porcentaje de incremento en longitud de raíz de Tomate respecto al Testigo (Valores con la misma letra son similares estadísticamente $\alpha=0.05$)

La aplicación de microorganismos benéficos del tipo de bacterias y hongos de los géneros *Bacillus*, *Trichoderma* y *Rhizobium* promueven el crecimiento radicular y vegetal significativamente, tal y como se ha reportado en *Agave tequilana* (Tlapal *et al.*, 2004), Además las plantas inoculadas mostraron un mejor vigor al presentar menor incidencia de síntomas de enfermedades fúngicas o bacterianas, comparando con los reportados por Suarez, (2010) en el cultivo del tomate, Neyra *et al.*, (2013) en el cultivo de chile y los de Luna *et al.*, (2013) en trabajos efectuados con la aplicación de productos a base de *Bacillus* en el cultivo de pimiento.

En este trabajo se encontró diferencias estadísticamente ($\alpha = 0.05$), en el diámetro del tallo y longitud de raíz, lo cual posiblemente indicaría que los demás valores comparativos pudieran tener diferencias significativas, si el cultivo de tomate se dejase más tiempo bajo cultivo, alargando su tiempo de cosecha (Hernández, 2008). Publicaciones de investigaciones destacan que el principal efecto antagónico de *B. subtilis*, es sobre fitopatógenos de suelo y es debido a la liberación de antibióticos más que a la presencia física por espacio, ya que *B. subtilis* posee una actividad antibiótica contra gran número de hongos y bacterias de suelo (Rodgers, 1989), sin embargo también tiene efecto promotor de crecimiento y rendimiento tal y como se observó en el trabajo.

La mezcla de extractos de crecimiento del cultivo de *Trichoderma*, *Bacillus* y *Rhizobium* en la aplicación a la base del tallo en el cultivo de tomate permitió el desarrollo significativamente mayor en las plantas tratadas con este producto experimental, con lo que se observó un efecto sinérgico con ambos materiales y estadísticamente diferente a cuando se aplican de forma individual, observación de la cual existe poca variación que muestran este efecto, debido al antagonismo de las cepas de *Bacillus* sobre hongos y algunas bacterias (Zhao, 2010).

Dado que los datos usado para este trabajo son los resultados a los 61 días de crecimiento al trasplanté las diferencias estadísticas en algunas variables como en número de fruto formados por planta, peso de la planta, peso total del fruto por planta, no se lograron apreciar entre otras cosas principalmente debido al amplio

margen de variación entre los datos y sus repeticiones, quizás debido al vigor de crecimiento del cultivo no lo permite, sin embargo las diferencias numéricas de la mayor parte de las variables siempre fueron constante y mejores en la mezcla de extractos de crecimiento microbiano con lo que esta formulado el producto experimental.

VI. CONCLUSIÓN

En tomate indeterminado de la variedad Charleston bajo condiciones de invernadero en la que se desarrolló el trabajo, se genera un efecto sinérgico de promoción de crecimiento empleando el producto experimental MRBT en el cultivo, principalmente en las variables agronómicas de diámetro de tallo y longitud de raíz. La aplicación de forma individual de *Bacillus* y *Trichoderma* produce promoción de crecimiento en menor cuantía que la mezcla de ambos. El vigor del cultivo de tomate es mayor en todas las variables estudiadas aunque no significativamente.

VII. LITERATURA CITADA

- Agrios, N. G. 1985 Fitopatología. Editorial. LIMUSA. México. 755 p
- Alexopoulos C., Mims C. and Blackwell M. 1996. Introductory Mycology. John Wiley and Sons Inc 4ta Ed. USA 880 p.
- Baker, K.F. y Cook, R.J. 1974. Biological Control of Plant Pathogens. Freeman Compañy, San Francisco, USA.433p
- Barnett, H. L., and B. B. Hunter. 1998. Illustrated Genera of Imperfect Fungi. American Phytopathological Society Press. St. Paul, Minnesota. USA. 218 p
- Benítez T, Rincón A.M., Limón M.C., and Codón A. 2004. Biocontrol mechanism of *Trichoderma* strains. International Microbiology. 7: 249-260
- Bioland. 2005. Características del género *Bacillus*. www.bioland.com.
- Burdman, S., Jurkevitch, E. and Okon, Y. 2000. Recent advances in the use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in agriculture. Microbial Interactions in Agriculture and Forestry, Vol. II. (Subba Rao NS & Dommergues YR, eds), pp. 229-250. Science Publishers, Enfield, NH.
- Bustamante O., J.D. 2003. Bioespacios y la modificación microclimática, alternativa de control del "chino" en tomate (*L. esculentum*. M) y otras hortalizas. In: Memoria del curso internacional sobre la producción de hortalizas en invernadero. J.Z. Castellanos y J.J. Muñoz (eds). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Celaya, Gto. pp 245-251.
- Camargo, H. 2005. Evaluación en campo de la incidencia de *Rhizoctonia solani* en arroz (*Oriza sativa*), luego de la inoculación en semilla de un formulado comercial a base del antagonista *Trichoderma harzianum*. Transferencia Tecnológica y Emprendimiento (CITTE). 20(2) p17
- Castellanos, J.Z. y P. Vargas-Tapia. 2004. El uso de sustratos en la horticultura

- bajo invernadero, In: Manual de producción hortícola en invernadero. J.Z. Castellanos (ed). 2a ed. INTAGRI. México, pp: 124-150.
- Cerrato, F. R., Alarcón, A. 2007. "Microbiología Agrícola" hongos, bacterias, micro y macrofauna, control biológico y planta- microorganismo. Ed. Trillas. 2ª Edición. México. pp. 348-355.
- Clements, L., Miller, B. and Streips, U. 2002. Comparative growth analysis of the facultative anaerobes *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, y *Escherichia coli*. Syst. Appl. Microbiol 25:284-286.
- Costa, R., Gotz, M., Mrotzek, N., Lottmann, J., Berg, G. and Smalla, K. 2006. Effects of site and plant species on rhizosphere community structure as revealed by molecular analysis of microbial guilds. FEMS Microbiol Ecol 56: 236–249.
- Chamarro L. J. 2001. Anatomía y Fisiología de la planta. En: El Cultivo del Tomate. F. Nuez. Mundi Prensa. España: 43-91
- Chanway, C.P., R.K. Hyenes y L.M. Nelson. 1989. Plant growth promoting rhizobacteria: Effects on growth and nitrogen fixation of lentil (*Lens esculenta* Moench.) and pea (*Pisum sativum* L.). Soil Biol. Biochem. 21: 511-517.
- Chávez, M.P. 2006. Producción de *Trichoderma sp* y evaluación de su efecto en cultivo de crisantemo (*Dendranthema grandiflora*). Trabajo de grado maestría microbiología industrial. p 178.
- DeBach, P. y Rosen, 1991, Biological control by natural enemies, 2da ed., Londres, Cambridge Univ. Press. p 19.
- Delgadillo–Jiménez, R., Gil–Virgen, C., Tabares–Franco, S. y Olalde, P. 2001. Bacterias promotoras del crecimiento de plantas: agro-biotecnología. Avance y Perspectiva. 20(4). CINVESTAV. Irapuato, Gto. México. p 6.
- Díaz, V. P; Ferrera, C. R: Almaraz S. J. J. y Alcanzar G. G. 2001. Incubación de bacterias promotoras de crecimiento en lechuga. Terra 19: 327 - 355

- Domínguez E. 2000. Mejora genética de la fertilidad del polen de tomate a bajas temperaturas: aprovechamiento de la selección gametofítica. Tesis Doctoral. Universidad de Málaga. p 20.
- Dos Santos, M.E. 2005. Hidroponía y promoción del crecimiento de plántulas de tomate inoculadas con bacterias RPCP. UNQ Editorial serie digital Ciencia y Tecnología. 2 (1) p 47.
- Esquinas-Alcázar J. y F. V. Nuez. 2001. Situación taxonómica, domesticación y difusión del tomate. En: El Cultivo del Tomate. F. Nuez. Mundi Prensa. España pp. 13-42.
- FAO. 2007 (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). "Recursos genéticos microbianos en el simposio de recursos genéticos para América latina y el Caribe". Undécima reunión ordinaria. Roma, 11-15 de junio de. www.fao.org/ag/cgrfa/cgrfa11.htm
- FAO, 2010. Estadísticas sobre la producción mundial de jitomate. 1(10) 187p.
- Fenchel, T., King G. and Blackburn, T. 2000. Bacterial Biogeochemistry. The Ecophysiology of mineral Cycling. 2ed Academic Press, San Diego. pp 43-59, 117-161.
- Fuentes-Ramírez, L.E. and Caballero-Mellado, S. 2005. Bacterial biofertilizers. PGPR: Biological Control and Biofertilization (Sadiqui ZA, ed), pp. 143-172. Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Glick, B.R. 1995. The engancement of plant growth by free-living bacteria. Can. J. Microbiol. 41:109-117.
- Harman, G.E.; Petzoldt, R.; Comis, A.; Chen, J. 2004. Interactions Between *Trichoderma harzianum* strain T22 and maize inbred line Mo17 and effects of these interactions on diseases caused by *Pythium ultimum* and *Colletotrichum graminicola*. Phytopath. 94:147-153. 32.
- Harman, G.E. 2006. Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma spp.* Phytopath. 96:190-194.

- Hernández S.M. 2008. Biocontrol de *Rhizoctonia solani* y *Fusarium oxysporum* con microencapsulados de *Bacillus subtilis* y su efecto en el crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* mill.) Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. p 86
- Howell CR et al 2003. Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant diseases: the history and evolution of current concepts. *Plant Dis* 87:4-10.
- Howell, C.R.; Puckhaber, L.S. 2005. A study of the characteristics of “P” and “Q” strains of *Trichoderma virens* to account for differences in biological control efficacy against cotton seedling diseases. *Biol. Control*. 33:217-222. 37.
- Howell, C.R. 2006. Understanding the mechanisms employed by *Trichoderma virens* to effect biological control of cotton diseases. *Phytopath*. 96(2):178-180.
- Hoyos C., L.M.; Orduz, S.; Bissett, J. 2009. Growth stimulation in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by *Trichoderma*. *Biol. Control*. 51:409-416.
- INIFAP, 2001. Etiología de la enfermedad del chino del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) y sus alternativas de control en el estado de Morelos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Centro. 5p
- Janse, J. D, 2004. Fatty acid analysis in the identification, taxonomy and ecology of (plant pathogenic) bacteria. In: Kowalchuk GA, de Bruijn FJ, Head IM, Akkermans AD, van Elsas JD, eds. *Molecular Microbial Ecology Manual*, 2nd ed. New York, USA: Springer Publishing, 973-982.
- Jiménez, D. M. R. 2004. Péptidos secretados por *Bacillus subtilis* que modifican la arquitectura de la raíz de *Arabidopsis thaliana*. Tesis Doctorado. CINVESTAV. Unidad Irapuato Gto. México. 85p

- Kim, H., Yoon, B., Lee, C., Suh, H., Oh, H., Katsuragi, T. and Tani, Y. 1997. Production y properties of a lipopeptide biosurfactant from *Bacillus subtilis* C9. J. Ferment. Bioeng 84: 41-46.
- Kloepper, J.W. 1989. Bacterias promotoras del crecimiento de plantas: agrobiotecnología. Avance y Perspectiva vol. 20. CINVESTAV. Irapuato, Delgadillo, R., Gil, V., Tabares, S. y Olalde P. 2001. Gto. México
- Lazarovits, G. and Nowak, J. 1997. Rhizobacteria for improvement of plant growth and establishment, HortScience. 32:188-192.
- Leandro, L.F.S.; Guzmán, T.; Ferguson, L.M.; Fernández, G.E.; Louws, F.j. 2007. Population dynamics of *Trichoderma* in fumigation and compostamended soil and on strawberry roots. Applied Soil Ecology. 35:237-246
- Lecuona, RE. Ed. 1996. Microorganismos patógenos empleados en el control microbiano de insectos plaga. Limusa, Argentina. 338 p
- Luna M.C.; Martínez P.R.A.; Hernández I.M.; Arvizu M.S.M.; Pacheco A.J.R. 2013 Caracterización de rizobacterias aisladas de tomate y su efecto en crecimiento de tomate y pimiento. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México. Rev. Fitotecnex. (36). 7p.
- Madigan, M. T., Martinko, J. M. y Parker, J. 1998. Biología de los microorganismos. 8ª Ed. Edit; Prentice Hall. España. 986p.
- Moffat, A.S. (2001), "Finding new ways to fight plant diseases", *Science*, 292, 2270-2273.
- Muñoz R., J. J. 2003. La producción de hortalizas bajo invernadero en México. In: Manual de Producción Hortícola en Invernadero. J.Z. Castellanos y J.J. Muñoz R. (eds.). pp. 14-16.
- Neyra V.S.; Terrones R.L.; Toro C.L.; Zarate G.B.; Soriano B.B. 2013. Efecto de la inoculación de *Rhizobium etli* y *Trichoderma viride* sobre el crecimiento aéreo y radicular de *Capsicum annum* var. Langen. Universidad de Trujillo, Perú. 11p.

- Nicholls, E.C.I. 2008. Control biológico de insecto en un enfoque agroecológico. 1ra Ed. Edit; Universidad de Antioquia. 294 p.
- Ojo de Agua, 2007. Estrés salino y comparación de dos sistemas de producción sobre el rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivada en invernadero. Colegio de postgraduados, Tesis maestría. Montecillo, Estado de México. 105 p.
- Ortega, M. L. D. 2010. Efecto de los sustratos en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo condiciones de invernadero. Tesis de Maestría. Colegio de posgraduados, Montecillos, México. 129 p.
- Peralta, I., S. Knapp, and D.M. Spooner. 2005. New species of wild tomatoes (*Solanum* section *Lycopersicon*: *Solanaceae*) from northern Peru. Syst. Bot. 30:424-434
- Podile, A. R. and Prakash, A. P. 1996. Lysis y biological control of *Aspergillus niger* by *Bacillus subtilis* AF-1 Can. J. Microbiol 42:533-538.
- Riegel, D.; Nielsen. G. 1996 *Trichoderma* spp. As plant growth stimulants. CRC. Crititcal Lewies in Biotechnology 7 (2): 97-106.
- Reynoso, Y., Casadesús, L., García, A., Gutiérrez, J., Álvarez, V. & Álvarez, V. (2006). Aislamiento, selección e identificación de bacterias del género *Bacillus* antagonistas de *Pectobacterium carotovorum*. Fitosanidad.10p
- Rodgers, P.B.1989. Potential of biological control organisms as source of antifungal compounds for agrochemical and pharmaceutical product development pestic. Sci. 27: 155-164. England.
- Rodríguez, R. Tavares, R. y Medina, 2001. Cultivo moderno del tomate. 2ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa. España. 255 p.
- Tlapal B., González H., Zavaleta M., Sánchez G., Mora A., Nava D., Del Real L., Rubio C. 2014. Colonización de *Trichoderma* y *Bacillus* en planta de *Agave tequila* Weber, var. Azul y el Efecto Sobre la Fisiología de la Planta y Densidad de *Fusarium*. Rev. Mex. Fitopatol.32 (1). 201p.

SAGARPA.2010 (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). Monografía de cultivos "Jitomate", Subsecretaría de Fomento a los agronegocios. 10 p. Disponible en línea: <http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/pablo/Documentos/monografías/Jitomate.pdf> (consulta abril 18, 2013)

Serrano, L., C. Flores, M. Patiño, M. Ortiz, V. Albitier, M. Caro, R. Allende, A. Carrillo, E. Galindo 2003, "Desarrollo de bioprocesos para la producción de agentes de control biológico: experiencias de escalamiento y pruebas de campo", Memorias del X Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería, Puerto Vallarta, Jalisco. 2p.

SIAP, 2013. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Cierre de la Producción Agrícola por Cultivo "Modalidad riego + temporal". SAGARPA, D.F., México.

Sid A., Ezziyyani m., Perez-Sanchez C., and Candela M^a E. 2003. Effect of chitin on biological control activity of *Bacillus spp.* and *Trichoderma harzianum* against root rot disease in pepper (*Capsicum annum, L.*) plants. European J. of plant pathology, 109: 633 -637.

Suarez L.F.R. 2010. Evaluación de microorganismos promotores de crecimiento en jitomate (*Lycopersicum esculentum L.*) bajo condiciones de invernadero. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 62 p.

Venegas, E. Ciampi L., Collado L., Costa M., Fuentes R., Nissen J., Schobitz R. y Schoebitz M. 2005. Aislamiento e identificación de bacterias nativas del género *Bacillus* con antagonistas de cepas patógenas de *Fusarium*. En *Cala. Agro sur*.33, (2) p.1-12.

Verma, M.; Brar, S.K.; Tyagi, R.D.; Surampalli, R.Y.; Valéro, J.R. 2007. Antagonistic fungi, *Trichoderma spp.*: Panoply of biological control. *Biochemical Engineering J.* 37:1-20.

Vinale, F.; Sivasithamparam, K.; Ghisalberti, E.L.; Marra, R.; Barbetti, M.J.; Li, H.; Woo, S.L.; Lorito, M. 2008a. A novel role for *Trichoderma* secondary

metabolites in the interactions with plants. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 72:80-86.

Vinale F, Ghisalberti E, Sivasithamparan K, Marra R, Ritieni A. 2009. Factors affecting the production of *Trichoderma harzianum* secondary metabolites during the interaction with different plant pathogens. *Lett Appl Microbiol*; 48:705-711

Whipps, J. M. 2001. Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. *J Exp Bot*. 52: 487-511.

Yedidia, I.; Benhamou, N.; Chet, I. 1999. Induction of defense responses in cucumber plants (*Cucumis sativus* L) by the control agent *Trichoderma harzianum*. *Applied and environmental microbiology*. 65(3) 1061-1070.

Zhao Z., Wang Q., Wang K., Brian K., Liu C. 2010. Study of the antifungal activity of *Bacillus vallismortis* in vitro and identification of its antifungal components. *Bioresource Technology*. 101(1). 292p

VIII. APENDICES

Cuadro 1. Diámetro de Tallo* en los diferentes tratamientos del cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.

TRATAMIENTO	REPETICIONES											Media**
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
MRBT	17.92	17.44	14.47	14.05	16.02	15.36	14.33	13.4	15.81	13.69	15.85	15.3036 a
Trichoderma	11.97	15.48	14.82	15.32	15.02	15.82	16.17	14.55	12.98	16.15	16.66	14.9945 ab
Testigo	14.47	16.4	10.88	13.12	14.35	14.16	11.88	13.5	13.3	13.97	14.03	13.6418 b
Bacillos	9.92	14.35	14.48	12.87	12.81	14.23	12.79	14.13	12.75	15.01	13.91	13.3864 b

* Expresada en centímetro (cm)

** Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey, $\alpha=0.05$).

Cuadro 2. Análisis de varianza del diámetro de tallo del cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.

FV	GL	SC	CM	F	Pr>F
Tratamiento	3	30.2898432	10.0966144	4.92	0.0053
Error	40	82.0089455	2.0502236		
Total	43	112.2987886			
C.V=9.990937%					

Cuadro 3. Incremento en la Altura* en los diferentes tratamientos del cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.

TRATAMIENTO	REPETICIONES											Media**
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
MRBT	2.06	2.15	2.04	2.25	2.23	2.09	1.94	2.21	2.02	2.2	2.29	2.13455 a
Bacillos	1.93	1.95	2.12	2.14	2.2	2.16	2.32	2.11	2.11	2.09	2.23	2.12364 a
Trichoderma	2.02	2.16	1.97	1.99	2.28	2.18	2.2	2.02	1.9	1.98	2.12	2.07455 a
Testigo	2.17	2.17	2.02	2	2.06	1.94	1.98	2.22	2.21	2.08	1.98	2.07545 a

* Expresada en metro (Mtro.)

** Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey, $\alpha=0.05$).

Cuadro 4. Análisis de varianza del Incremento de la Altura en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.

FV	GL	SC	CM	F	Pr>F
Tratamiento	3	0.03284318	0.01094773	0.88	0.4573
Error	40	0.49507273	0.01237682		
Total	43	0.52791591			
C.V=5.292519%					

Cuadro 5. Incremento en el número de racimos por planta en los diferentes tratamientos en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.

TRATAMIENTO	REPETICIONES											Media*
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
<i>Bacillos</i>	3	5	6	5	6	7	5	5	6	6	6	5.4545 a
<i>Trichoderma</i>	5	6	6	5	6	5	5	5	4	5	5	5.1818 a
MRBT	4	6	5	5	5	5	6	5	5	5	5	5.0909 a
Testigo	4	5	5	5	5	6	5	5	5	4	5	4.9091 a

* Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey, $\alpha=0.05$).

Cuadro 6. Análisis de varianza en el número de racimos por planta en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.

FV	GL	SC	CM	F	Pr>F
Tratamiento	3	1.70454545	0.56818182	1.13	0.3500
Error	40	20.18181818	0.50454545		
Total	43	21.88636364			
C.V.=13.76819					

Cuadro 7. Número de fruto por planta en los diferentes tratamientos en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.

TRATAMIENTO	REPETICIONES											Media*
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
MRBT	11	12	13	14	16	17	14	9	11	15	11	13.000 a
<i>Bacillos</i>	10	15	10	7	14	13	9	12	10	10	7	10.636 a
<i>Trichoderma</i>	11	15	6	7	14	9	10	11	11	14	9	10.636 a
Testigo	9	11	7	8	14	21	8	10	13	6	8	10.455 a

* Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey, $\alpha=0.05$).

Cuadro 8. Análisis de varianza en el incremento del número de fruto por planta en los diferentes tratamientos del cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.

FV	GL	SC	CM	F	Pr>F
Tratamiento	3	48.7272727	16.2424242	1.65	0.1932
Error	40	393.8181818	9.8454545		
Total	43	442.5454545			
C.V.= 28.06115%					

Cuadro 9. Peso total de la planta* de tomate de los diferentes tratamientos bajo condiciones de invernadero.

TRATAMIENTO	REPETICIONES				Media**
	1	2	3	4	
MRBT	2.79	1.645	1.656	2.265	2.0890 a
Trichoderma	2.308	1.043	1.702	2.225	1.8195 a
Bacillus	0.583	2.25	1.757	1.772	1.5905 a
Testigo	1.096	1.557	2.092	1.37	1.5288 a

* Expresada en kilogramo (kg)

** Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey, $\alpha=0.05$).

Cuadro10. Análisis de varianza para el peso total de la planta del cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.

FV	GL	SC	CM	F	Pr>F
Tratamiento	3	077580219	0.25860073	0.78	0.5265
Error	12	3.96800675	0.33066723		
Total	15	4.74380894			
C.V.=32.72949%					

Cuadro 11. Peso total del fruto* por planta de los diferentes tratamientos en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.

TRATAMIENTO	REPETICIONES				Media**
	1	2	3	4	
MRBT	685	495	495	789	616.0 a
Bacillus	100	986	503	442	508.0 a
Testigo	354	345	704	270	418.3 a
Trichoderma	280	95	305	825	376.3 a

* Peso expresado en gramos (gr)

** Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey, $\alpha=0.05$).

Cuadro12. Análisis de varianza en el Peso total del fruto por planta en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.

FV	GL	SC	CM	F	Pr>F
Tratamiento	3	135426.250	45142.083	0.62	0.6143
Error	12	871235.500	72602.958		
Total	15	1006661.750			
C.V.=56.17917%					

Cuadro 13. Peso de la raíz* de los diferentes tratamientos en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.

TRATAMIENTO	REPETICIONES				Media**
	1	2	3	4	
MRBT	43	27	25	23	29.500 a
<i>Trichoderma</i>	36	21	20	30	26.750 a
Testigo	23	24	27	20	23.500 a
<i>Bacillus</i>	16	13	20	25	18.500 a

* Expresada en gramos (gr)

** Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey, $\alpha=0.05$).

Cuadro14. Análisis de varianza del peso de raíz en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.

FV	GL	SC	CM	F	Pr>F
Tratamiento	3	268.1875000	89.3958333	2.02	0.1653
Error	12	531.7500000	44.3125000		
Total	15	799.9375000			

C.V=27.10133%

Cuadro 15. Longitud de la raíz* en los diferentes tratamientos en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.

TRATAMIENTO	REPETICIONES				Media**
	1	2	3	4	
MRBT	34	29	21	29	28.250 a
<i>Trichoderma</i>	24	24	21	25	23.500 ab
<i>Bacillus</i>	17	20	20	26	20.750 ab
Testigo	14	21	22	12	17.250 b

* Expresado en centímetro (cm)

** Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey, $\alpha=0.05$).

Cuadro16. Análisis de varianza de la longitud de raíz en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.

FV	GL	SC	CM	F	Pr>F
Tratamiento	3	258.6875000	86.2291667	4.85	0.0195
Error	12	213.2500000	17.7708333		
Total	15	471.9375000			

C.V=18.78795%