

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Inoculación de rizobacterias y fertilización inorgánica sobre el rendimiento y calidad de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.).

Por:

TONY GONZÁLEZ RODRÍGUEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Torreón, Coahuila, México
Junio 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Inoculación de rizobacterias y fertilización inorgánica sobre el rendimiento y calidad de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.).

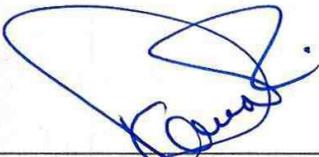
Por:

TONY GONZÁLEZ RODRÍGUEZ

TESIS

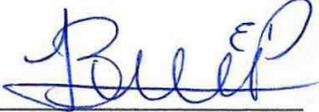
Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO



Dr. Pedro Cano Ríos
Presidente

Aprobada por:



M.C. Bernardo Espinosa Palomeque
Vocal



Dra. Oralia Antuna Grijalva
Vocal



Dr. José Luis Reyes Carrillo
Vocal Suplente



M.E. JAVIER LÓPEZ HERNÁNDEZ
Coordinador de la división de carreras agronómicas

Torreón, Coahuila, México
Junio 2019



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Inoculación de rizobacterias y fertilización inorgánica sobre el rendimiento y calidad de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.).

Por:

TONY GONZÁLEZ RODRÍGUEZ

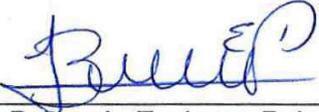
TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Pedro Cano Ríos
Asesor Principal


M.C. Bernardo Espinosa Palomeque

Coasesor


Dra. Oralia Antuna Grijalva

Coasesor


M.E. JAVIER LÓPEZ HERNÁNDEZ
Coordinador de la división de carreras agr

Torreón, Coahuila, México
Junio 2019



AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios por cuidarme y permitirme salir a delante durante toda mi vida, además de brindarme la oportunidad de alcanzar una de las metas principales en mi vida de poder ser profesionista y poder contribuir con la sociedad.

A mi Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por brindarme la oportunidad de prepararme como profesionista y de haber formado parte de esta gran institución.

Al Dr. Pedro Cano Ríos, por haberme brindado la oportunidad de realizar esta investigación y por haber compartido gran parte de sus conocimientos.

Al MC. Bernardo Espinosa Palomeque, por apoyarme durante la realización de este trabajo, tanto en campo, como en la revisión del mismo.

A la Dra. Oralia Antuna Grijalva, por su apoyo durante la revisión de mi tesis y por aceptar colaborar en este trabajo.

Al Dr. José Luis Reyes Carrillo por su colaboración en este trabajo y por su disponibilidad para resolver todas mis dudas, además de sus comentarios positivos en todo momento.

Al Ing. Domingo Avila por haberme brindado apoyo durante mi estancia de prácticas profesionales y por compartir gran parte de sus conocimientos en ambito profesional.

DEDICATORIA

A mi madre la Sra. Lilia Rodríguez Aguilar por brindarme su apoyo, comprensión y confianza durante esta etapa de mi vida, además de sus consejos y regaños para seguir por un buen camino y poder ser una buena persona de principios y valores.

A mi hermano: Juan Carlos González Rodríguez quien me brindó la oportunidad de seguir estudiando, por su apoyo incondicional, tanto de forma económica como emocionalmente, y gracias por formar parte de un logro más en mi vida.

A mi hermana la M.C. Gabriela González Rodríguez por apoyarme en todo momento tanto en el ámbito profesional como en lo personal, gracias por todo su tiempo y dedicación, finalmente gracias por ser la mejor hermana.

A mis amigos José Eduardo, Michel, Osmar, Salvador, Abel, por brindarme la oportunidad de crear una gran amistad , por siempre convivir dentro y fuera de clases sin importar que tan difícil hubiese estado el día.

RESUMEN

El uso indiscriminado de fertilizantes sintéticos hoy en día es una problemática, debido a esto se propone una alternativa en la agricultura sustentable que es la utilización de bioinoculantes a base de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR, por sus siglas en inglés). El objetivo fue evaluar el efecto de la inoculación de las rizobacterias del crecimiento vegetal (*Bacillus paralicheniformis*, *Pseudomonas lini* y co-inoculante), utilizando la solución nutritiva al 75 y 100% y como testigos sin aplicación de PGPR + SN 75% y PGPR + SN 100% sobre el rendimiento y calidad de frutos de tomate bajo condiciones de invernadero. El diseño experimental fue bloques completamente al azar con cinco tratamientos. Las variables evaluadas en fruto fueron: peso del fruto, número de frutos, diámetro polar y ecuatorial, contenido de sólidos solubles, firmeza y el rendimiento total. Los datos fueron analizados estadísticamente por análisis de varianza y las comparaciones de medias mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Los resultados indican que la inoculación con la bacteria *B. paralicheniformis* y la solución nutritiva al 75% aumenta el rendimiento en un 74.35 y 83.00% a los tratamientos sin inocular, para el número de frutos se registró una media de 33 frutos por planta, así como también la co-inoculante + 75% favoreció el aumento de sólidos solubles totales, firmeza del fruto, diámetro polar y ecuatorial del fruto variables en la calidad de los frutos para exportación. Por lo que la co-inoculación de las cepas *B. paralicheniformis* y *P. lini* y la fertilización inorgánica al 75%, es una alternativa para reducir el uso de los fertilizantes sintéticos, debido a que aumenta el rendimiento, número de frutos y la calidad del fruto.

Palabras claves. *B. paralicheniformis*, Co-inoculante, PGPR, Solución nutritiva, Rendimiento.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	ii
RESUMEN	iii
ÍNDICE	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Origen	3
2.2 Importancia a nivel mundial	3
2.3 Importancia en México	4
2.4 Taxonomía	5
2.5 Descripción morfológica de tomate	5
2.5.1 Raíz	5
2.5.2 Tallo principal	6
2.5.3 Hoja	6
2.5.4 Flor	7
2.5.5 Fruto	7
2.5.6 Semilla	7
2.6 Rizosfera	8
2.7 Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal	8
2.8 Aplicación de las PGPR	9
2.8.1 Biofertilizantes	9
2.8.2 Fitoestimulador	11
2.8.3 Agente de biocontrol	12
2.9 La agricultura protegida	12
2.10 Invernadero	13
2.11 Sustratos	14
2.11.1 Arena	14
2.11.2 Perlita	15
2.12 Solución nutritiva (SN)	15
2.13 Factores que caracterizan una solución nutritiva	16
2.14 Plagas principales del tomate	17
2.14.1 Mosquita blanca (<i>Bemisia tabaci</i>)	17
2.14.2 Trips (<i>Frankliniella occidentalis</i>)	18
2.14.3 Araña roja (<i>Tetranychus urticae</i>)	18
2.14.4 Minador de la hoja (<i>Liriomyza spp</i>)	19
2.14.5 Paratrioza (<i>Bactericera cockerelli</i>)	19

2.15 Enfermedades del tomate	20
2.15.1 Cenicilla del tomate (<i>Leveillula taurica</i>).....	20
2.15.2 Tizón tardío (<i>Phytophthora infestans</i>).....	20
2.15.3 Tizón temprano (<i>Alternaria solani</i>).....	21
III. MATERIALES Y MÉTODOS	22
3.1 Localización geográfica de la Comarca Lagunera	22
3.2 Localización del sitio de estudio.....	22
3.3 Localización del sitio experimental	22
3.4 Descripción del invernadero	23
3.5 Diseño experimental.....	23
3.6 Siembra en charola	23
3.7 Inoculación	24
3.8 Trasplante	24
3.9 Riego	25
3.10 Labores culturales	25
3.10.1 Tutorio	25
3.10.2 Podas.....	25
3.10.3 Bajado de plantas	26
3.10.4 Polinización	26
3.11 Control de plagas y enfermedades.....	26
3.12 Control de maleza	27
3.13 Cosecha	27
3.14 Variables evaluadas.....	27
3.15 Herramientas para la medición de variables	27
3.15.1 Datos de rendimiento y calidad de los frutos	27
3.16 Análisis estadístico.....	28
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1 Número de frutos	29
4.2 Peso del fruto	30
4.3 Sólidos solubles totales	31
4.4 Firmeza del fruto.....	32
4.5 Diámetro polar del fruto	34
4.6 Diámetro ecuatorial del fruto	35
4.7 Rendimiento.....	36
V. CONCLUSIONES	38
VI. LITERATURA CITADA.....	39

ÍNDICE DE FIGURAS

- FIGURA 1:** Efecto de las rizobacterias y fertilización inorgánica en el número de frutos por planta de tomate. Valores con letras diferentes en cada barra, son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba Tukey ($P \leq 0.05$). 30
- FIGURA 2:** Efecto de las rizobacterias y fertilización inorgánica en el peso del fruto de tomate. Valores con letras iguales en cada barra, son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba Tukey ($P \leq 0.05$). 31
- FIGURA 3:** Efecto de las rizobacterias y fertilización inorgánica en los sólidos solubles en los frutos de tomate. Valores con letras iguales en cada barra, son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba Tukey ($P \leq 0.05$). 32
- FIGURA 4:** Efecto de las rizobacterias y fertilización inorgánica en la firmeza de los frutos de tomate. Valores con letras iguales en cada barra, son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba Tukey ($P \leq 0.05$). 33
- FIGURA 5:** Efecto de las rizobacterias y fertilización inorgánica en el diámetro polar en frutos de tomate. Valores con letras diferentes en cada barra, son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba Tukey ($P \leq 0.05$). 35
- FIGURA 6:** Efecto de la biofertilización y fertilización inorgánica en el diámetro ecuatorial en frutos de tomate. Valores con letras iguales en cada barra, son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba Tukey ($P \leq 0.05$). 36
- FIGURA 7:** Efecto de las rizobacterias y fertilización inorgánica en el rendimiento del cultivo de tomate. Valores con letras diferentes en cada barra, son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba Tukey ($P \leq 0.05$). 37

I. INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es la segunda hortaliza de mayor importancia a nivel mundial (Ortega-Martínez *et al.*, 2010). El fruto de tomate y sus productos son considerados como un alimento funcional debido a que son una fuente de antioxidantes, vitaminas y minerales por lo que es importante en la alimentación diaria de muchos países (Fraser *et al.*, 2009).

Los principales países productores son China (56, 308, 914), India (18, 399, 000), Estados Unidos (13, 038, 410), Turquía (12, 600,000), Egipto (7, 943, 285), Italia (6, 437, 572), Irán (6, 372, 633), España (4, 671, 807), Brasil (4, 167, 629) y México (4, 047, 171) (FAOSTAT, 2016). Actualmente en México esta hortaliza es de gran importancia debido a su sabor y consumo, ocupa el 70% de preferencia de los cultivos que producen bajo condiciones protegidas (Juárez-Maldonado *et al.*, 2015).

El consumo de los fertilizantes es uno de los indicadores claves de la intensificación de la agricultura y del desarrollo agrícola, el consumo mundial de fertilizantes que llegó a 180.1 millones de toneladas en 2012 (FAO, 2016). El impacto que producen los fertilizantes es la degradación del suelo y la contaminación de los mantos acuíferos, estos daños son irreversibles (Orosco, 1995).

Es por eso que la producción orgánica de alimentos es una buena alternativa para los consumidores que prefieren alimentos libres de agroquímicos y fertilizantes, además con un alto valor nutricional (Márquez-Hernández *et al.*, 2006). La aplicación de las PGPR ofrece una alternativa para disminuir el suministro de fertilizantes sintéticos, pesticidas y suplementos ya que la mayoría de los aislamientos han realizado incrementos significativos en el crecimiento de las plantas, tanto en raíces y/o parte aérea (Khalid *et al.*, 2006). Las PGPR tienen la capacidad para colonizar la

rizosfera, promover el crecimiento de plantas, tener capacidad biocontroladora (Rueda *et al.*, 2015). Algunos géneros encontrados en los ecosistemas son las *Acinetobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus* sp. *Erwinia*, *Rhizobium*, *Pseudomonas*, *Serratia* entre otros, estos géneros se han utilizados para el control de patógenos, para mejorar la calidad y rendimiento en frutos (Esitken *et al.*, 2010). La inoculación de rizobacterias en tomate modificara positivamente el crecimiento, desarrollo y el rendimiento del tomate.

Por lo tanto el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la inoculación de las rizobacterias del crecimiento vegetal (PGPR) y concentración de la solución nutritiva sobre el rendimiento y calidad de frutos de tomate bajo condiciones de invernadero.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es un miembro del género *Solanum* de la familia *Solanaceae*, perteneciente a un grupo de 13 especies y pertenecen a la familia de las papas, es originario de América del Sur, especialmente de Perú, islas Galápagos, Bolivia, Chile, Ecuador y México (Bai y Lindhout, 2007; Knapp y Peralta, 2016). Además fue introducido en Europa en el siglo XVI por medio de la expedición de Hernán Cortes (Peralta *et al.*, 2005b). México es considerado el principal centro de domesticación, en la actualidad se conservan *in situ* una gran diversidad genética en forma variedades nativas, poblacionales domésticas y silvestres, que se han ido adaptado a las condiciones del ambiente (Knapp y Peralta, 2016; Weese y Bohs, 2007). Por otra parte en el siglo XX se han creado una gran variedad y formas diferentes a la única especie *S. lycopersicum*, a través de la domesticación, la investigación y el uso del fitomejoramiento los científicos han desarrollado nuevas variedades modernas de tomate (en su mayoría híbridos) con formas, colores y tamaño (Bai y Lindhout, 2007; Foolad, 2007).

2.2 Importancia a nivel mundial

El tomate es una hortaliza de mayor importancia ya que hoy en día existen diferentes variedades con distintos aspectos exterior (forma, tamaño, color) e internas (sabor, textura, dureza), variedades destinadas para consumo en fresco o procesadas (Prado, 2002). Esta hortaliza se cultiva tanto a cielo abierto como en invernadero, en todo el mundo (Flores *et al.*, 2007). Además el rendimiento y la calidad en la producción es de suma importancia para los productores que se dedican a esta

actividad (Pérez *et al.*, 2017). El incremento anual de la producción en los últimos años, se debe principalmente al rendimiento e incremento de la superficie cultivada. De acuerdo a FAOSTAT en el año 2016 los principales países productores son China (56, 308, 914), India (18, 399, 000), Estados Unidos (13, 038, 410), Turquía (12, 600,000), Egipto (7, 943, 285), Italia (6, 437, 572), Irán (6, 372, 633), España (4, 671, 807), Brasil (4, 167, 629) y México (4, 047, 171).

2.3 Importancia en México

Actualmente en México esta hortaliza es de gran importancia debido a su sabor y consumo, ocupa el 70% de preferencia de los cultivos que producen bajo condiciones protegidas (Juárez-Maldonado *et al.*, 2015). El tomate rojo genera divisas para el país ya que cerca de 30% de la producción nacional se exporta, principalmente a los Estados Unidos de Norteamérica por lo que su cultivo depende significativamente del comportamiento del mercado internacional, la producción de esta hortaliza se distribuye en todas las entidades federativas; sin embargo sobresalen por su participación Sinaloa, San Luis Potosí, Michoacán, Baja California y Zacatecas, quienes disponen de 56% del total (SIAP, 2016).

2.4 Taxonomía

Taxonomía del cultivo del tomate (Peralta *et al.*, 2005a).

División: *Spermatophyta*

Clase: *Dicotiledóneas*

Subdivisión: *Magnoliophytina*

Orden *Solanales*

Familia: *Solanaceae*

Género: *Solanum*

Especie: *Solanum lycopersicum* L.

2.5 Descripción morfológica de tomate

La planta de tomate es perenne de porte arbustivo que se cultiva como anual, además puede desarrollarse de forma rastrera, semierecta o erecta, además uno de los criterios para decidir la variedad de tomate a sembrar es el hábito de crecimiento de la planta (Nuño, 2007).

2.5.1 Raíz

El sistema radical del tomate consta de una raíz principal y gran cantidad de ramificaciones secundarias. Bajo condiciones de suelo la raíz principal crece unos 2.5 cm diarios hasta llegar a los 60 cm de profundidad, la función de la raíz es la de la absorción y el transporte de agua y nutrientes, así como la sujeción o anclaje de la planta al suelo. La raíz juega un papel fundamental en el rendimiento del cultivo y su desarrollo está también asociado a las condiciones físicas del suelo. Suelos porosos

y suaves propician raíces vigorosas, mientras que los suelos compactos limitan el desarrollo de las raíces y por ende reducen la absorción de agua, oxígeno y nutrientes (Castellanos y Ojodeagua, 2009).

2.5.2 Tallo principal

La planta presenta un tallo principal sobre el que se van desarrollando hojas, tallos secundarios (ramificación simpoidal) e inflorescencias. En todas las variedades cultivadas el tallo principal es recto en los primeros 30 a 60 cm de desarrollo, después su crecimiento es de forma indeterminada (Nuño, 2007).

2.5.3 Hoja

Las hojas tienen un eje central o peciolo, que se utiliza para el monitoreo nutrimental y de este eje salen pequeñas “hojitas” llamadas folíolos. Las hojas son las responsables de la fotosíntesis por lo que deben de tener buena disposición para mayor captación de la radiación solar, por ellos es importante el emparrillado para el en tutorado quede simétricamente establecido, para que además no interfiera con las labores culturales, una hoja típica del tomate alcanza hasta los 50 cm de largo, con gran folíolo terminal y hasta 8 grandes folíolos laterales, que pueden a su vez ser compuestas. En las hojas se encuentran los estomas, estructuras por donde se realiza el intercambio gaseoso (transpiración y asimilación del CO₂) (Castellanos y Ojodeagua, 2009; Salas *et al.*, 2001).

Presenta hoja compuesta e imparipinada, con folíolos peciolados, lobulados y con borde dentado, en número de 7 a 9, recubiertos de pelos glandulares. Las hojas se disponen de forma alternativa sobre el tallo y están recubiertas de pelos del mismo que el de los tallos (Marcelis, 1996).

2.5.4 Flor

La flor es perfecta, regular e hipógina y consta de 5 o más sépalos, de igual número de pétalos de color amarillo, se agrupan en inflorescencias de tipo racimoso (dicasio), generalmente en número de 3 a 10, la aparición de los órganos florales es de forma centripeta: primero el cáliz, luego la corola, después el androceo (filamento y anteras) y finalmente el gineceo (ovario, óvulos, estilo y estigma), la floración es un proceso que ocurre en un periodo que abarca desde los 20 hasta 50 días después de la siembra (Contreras-Magaña *et al.*, 2013).

2.5.5 Fruto

Los frutos de tomate son carnosos y tiernos, en realidad se denominan bayas, según la variedad presentara diferentes tamaño, color, peso, consistencia y composición. Además una característica importante es su color, ya que son verdes más o menos oscuros antes de su madurez, estos evolucionan a diferentes tonalidades en función de a su variedad se pueden presentar crema, amarillo, naranja, rosa, rojo o pardo y algunas variedades son rayadas (Peralta y Spooner, 2005).

2.5.6 Semilla

La semilla de tomate es de forma lenticular con dimensiones aproximadas de 5 x 4 x 2 mm (Castellanos y Ojodeagua, 2009) dicha semilla está constituida por el embrión, el endospermo y la testa o cubierta seminal la cual está recubierta de pelos (Jaramillo *et al.*, 2007). La testa o cubierta seminal es un tejido duro e impermeable. Por otra parte la calidad de la semilla depende de varios elementos, la calidad fisiológica que se verifica mediante pruebas de germinación y viabilidad de estas (Sánchez *et al.*, 2007). La salinidad es un factor importante a tomar en cuenta por que

esta disminuye el porcentaje de germinación y se prolonga el tiempo en el cual las semillas llevan a cabo este proceso (Goykovic-Cortés y Saavedra-Real, 2007).

2.6 Rizosfera

Se define como la fracción del suelo influenciada por la raíz. Esta delgada capa de suelo ha sido estudiada ampliamente, debido a que en ella se encuentran diversos tipos de microorganismos en las que se incluyen hongos, nematodos, protozoos, algas y bacterias, estas interactúan entre sí con la planta y suelo (Maheshwari, 2011), que se nutren de los exudados radicales y otorgan beneficios al establecimiento y desarrollo de las plántulas (Alvarez *et al.*, 2013).

Las actividades se vincula con distintos procesos relacionados con la retención de agua, nutrición mineral, intercambio de cationes y producción de exudados, entre otros, que hacen la diferencia al resto del suelo en sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Jaramillo, 2011). Se calcula que la concentración de bacterias en la rizosfera es de 10 a 1000 veces mayor que en el resto del suelo alejado de esta zona (Lugtenberg y Kamilova, 2009).

2.7 Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal

Son todas aquellas bacterias que habitan en las raíces de las plantas y que influyen sobre el crecimiento y desarrollo de esta de manera indirecta o directamente (Hernández *et al.*, 2011). Además pueden ser de vida libre o asociativas, aerobias, anaerobias y son conocidas como microorganismos benéficos utilizados en lugar de productos sintéticos (Esitken *et al.*, 2010). Debido a que desempeñan funciones importantes para las plantas como la producción de reguladores del crecimiento vegetal, disminuir o prevenir los efectos de microorganismos fitopatógenos (Espinosa

et al., 2017) solubilización de fosfato, fijación biológica de Nitrógeno (Molina-Romero *et al.*, 2015). Dentro de estas últimas, el ácido Indol acético (AIA) es la auxina más conocida por que desempeña un papel fundamental en el crecimiento de los cultivos (Hernández *et al.*, 2004). Sin embargo, estos mecanismos dependen de la adherencia correcta de las bacterias a las raíces de las plantas y la colonización de la rizósfera.

Las bacterias deben de cumplir con dos de tres características importantes como son capacidad para colonizar la rizosfera, promover el crecimiento de plantas, tener capacidad de control biológico (Bhattacharyya y Jha, 2012; Kloepper *et al.*, 1989). Por lo cual destacan grandes grupos: microorganismos fijadores de nitrógeno, hongos micorrizicos y PGPR (Rueda *et al.*, 2015). Algunos géneros encontrados en los ecosistemas son las *Acinetobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus* sp. *Erwinia*, *Rhizobium*, *Pseudomonas*, *Serratia* entre otros, estos géneros se han utilizados para el control de patógenos, para mejorar la calidad y rendimiento en frutos (Esitken *et al.*, 2010).

El uso de estos inóculos a base de PGPR, ha tenido ventajas en la agricultura protegida, porque se han realizado algunos estudios y se han demostrado efectos positivos en la germinación de las semillas y la fenología de los cultivos (Espinosa *et al.*, 2017), así también una mejor calidad de los frutos tanto organoléptica y nutracéutica provenientes de plantas inoculadas (González *et al.*, 2018).

2.8 Aplicación de las PGPR

2.8.1 Biofertilizantes

Son insumos formulados a partir de una o varias cepas nativas de microorganismos, estas presentan mayor posibilidad de ser efectivas en el campo, por estar adaptadas a las condiciones de suelo de cada región, el uso de estos debe

de hacerse inicialmente como complemento a la fertilización sintética, con visión de sustituirla a mediano o largo plazo de acuerdo a las condiciones del suelo, manejo y respuesta del cultivo (Armenta-Bojórquez *et al.*, 2010). Estos microorganismos vivos son aplicados a la semilla, para colonización de las rizosfera o en el interior de la planta, que promueven el crecimiento porque este aumenta la absorción de nutrientes primarios para las plantas; también son conocidos como bioinoculantes microbianos o inoculantes del suelo (Vessey, 2003). Estas bacterias son utilizadas como biofertilizantes debido a que tienen influencia y gran participación en el reciclaje de nutrientes como es el nitrógeno y fósforo, estas son capaces de tomar formas no disponibles para la plantas y transformarlas, hasta la obtención de formas asimilativas para las células vegetales (Camelo *et al.*, 2011).

El uso de este tipo de rizobacterias, pueden llegar hacer una alternativa como biofertilizante para el cultivo de tomate y la producción en la agricultura sostenible, ya que se disminuirá el impacto sobre el medio ambiente al reducir el uso excesivo de fertilizantes sintéticos, de igual forma reducir los costos de producción al requerir la mitad de la dosis de fertilizantes químicos, al ser suplementado con la fertilización bacteriana que permite tener los mismos resultados (Sánchez *et al.*, 2012). Además se han hecho experimentos donde el género *Bacillus* presenta propiedades bioquímicas y fisiológicas relacionadas con la promoción de crecimiento, ha demostrado que mejora la germinación de semillas de tomate, en plántulas incrementa la biomasa, presentan un mejor vigor de plántulas tanto en tomate como en pimiento (Luna-Guevara y Delgado-Alvarado, 2014).

2.8.2 Fitoestimulador

Son microorganismos con la habilidad de producir o cambiar la concentración de reguladores de crecimiento vegetal (Fitohormonas), su principal mecanismo es la producción de auxinas, citocininas, giberelinas, disminución de etileno (Lugtenberg y Kamilova, 2009). A continuación se describe cada uno de sus efectos: La hormona ácido indol – 3 – acético (AIA) es la principal auxina en las plantas que controla diversos procesos fisiológicos como la elongación y división celular, la diferenciación de tejidos y las respuestas a la luz y la gravedad (Vega-Celedón *et al.*, 2016). Por su parte la citocininas favorecen la división celular en la raíz, incremento del área de la raíz mediante la formación de raíces adventicias, ayuda a la formación de hojas (Aloni *et al.*, 2006), algunos géneros de rizobacterias son *Acinetobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus* sp, *Pseudomonas fluorescens* y *Rhizobium* (Vacheron *et al.*, 2013). Sin embargo las giberelinas son moléculas que regulan diversos procesos en plantas como la germinación mediante la interrupción del periodo de latencia de las semillas, la elongación de tallo, floración, desarrollo de frutos y altura de la planta (Kang *et al.*, 2012). Por otra parte el etileno es un regulador del crecimiento de las plantas, esta hormona es reconocida en muchos procesos fisiológicos, incluyendo la maduración, abscisión, elongación, senescencia floral y foliar, respuesta a los factores bióticos y/o abióticos (Bleecker y Kende, 2000). Se ha comprobado que el género *Bacillus* puede mejorar el desarrollo vegetal a través de la producción de fitoestimulantes o inhibición de fitopatógenos, se ha observado que puede mejorar la capacidad de la planta para resistir periodos más largos de sequías (Rojas-Solís *et al.*, 2013).

2.8.3 Agente de biocontrol

Son aquellos microorganismos que promueven crecimiento de las plantas a través del control de fitopatógenos, su principal mecanismo es producción de antibióticos, producción de sideróforos, compuestos volátiles, Producción de enzimas degradadoras de pared celular de hongos, activación de resistencias sistémicas (Vessey, 2003). Adicionalmente se ha demostrado que las rizobacterias inducen resistencia en las plantas contra enfermedades fúngicas, bacterianas y virales y también han sido efectivas contra insectos y nematodos (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2006). Por otra parte se recomienda efectuar pruebas in-vitro de diferentes cepas para tener certeza que tienen la capacidad de producir metabolitos secundarios como sideróforos y antibióticos para la selección de rizobacterias como agente de biocontrol (Aloni *et al.*, 2006).

Se han realizado ensayos de control biológico en pimiento ejercido por *Trichoderma harzianum*, para controlar *Phytophthora capsici*, este es agente causal de la podredumbre del pimiento y se logró reducir hasta el 65 % de este ataque (Ordookhan *et al.*, 2010), así mismo se ha comprobado que la cepa *Bacillus subtilis* es un microorganismo que puede contribuir, al crecimiento de las plántulas, aumenta la disponibilidad de nitrógeno y fósforo en los suelos agrícolas y el control de enfermedades fúngicas (Orberá *et al.*, 2014).

2.9 La agricultura protegida

La agricultura protegida se define como el sistema de producción realizado bajo diversas estructuras o cubiertas, entre los que destacan, los invernaderos, mallas sombras, macrotunes, etc. (Moreno *et al.*, 2011). En este sistema especializado se lleva a cabo un cierto control del medio edafoclimáticos, modificando sus condiciones;

suelo, temperatura, radiación solar, viento, humedad y composición atmosférica (Castellanos-Ramos, 2004). El objetivo de la agricultura protegida es obtener productos de alto valor, además los principales sustratos utilizados para la producción de tomate en México son heterogéneos por lo que el rendimiento varía, entre los sustratos más utilizados se encuentran la fibra de coco, arena, perlita, compost, tezontle, mezcla de aserrín – compost entre otros (Ortega *et al.*, 2016).

En México los principales sistemas de producción se clasifican en tres grupos: sistemas de producción a campo abierto, agricultura protegida en invernadero y protegido con malla sombra, actualmente se tiene información que el 84% de los productores utiliza el sistema a campo abierto, 8% bajo invernadero, 4% con malla sombra y 4% combina los tres sistemas (Cih-Dzul *et al.*, 2011).

2.10 Invernadero

Se define como una estructura usada para el cultivo y/o protección de plantas y cosechas, el cual optimiza la transmisión de radiación solar bajo condiciones controladas, para mejorar el entorno del cultivo y cuyas dimensiones facilitan el trabajo de las personas en su interior (Castellanos y Ojodeagua, 2009). Los estados con mayor número de hectáreas de cultivos en invernadero son Sinaloa (22 %), Baja California (14 %), Baja California Sur (12 %) y Jalisco (10 %); estas cuatro entidades aportan más del 50 por ciento de la producción total de cultivos protegidos (Perea, 2011). Las principales ventajas del uso de invernadero es incrementar la producción, lograr mayor calidad y alta productividad, evitar daños mecánicos por viento y granizo, para el control de plagas y enfermedades, controlar el déficit y exceso de humedad relativa, lo cual está relacionada con las condiciones climáticas específicas de cada región (Castañeda *et al.*, 2007).

2.11 Sustratos

Un sustrato se define como un material sólido (diferente al suelo) natural o sintético, mineral u orgánico que al colocarse a un contenedor (en mezcla o en forma pura), este permite la sujeción de la raíz. El sustrato puede interferir en la nutrición de la planta, la utilización de materiales que son subproductos o desechos agroindustriales posibilitan tener sustratos más baratos y un impacto ecológico positivo, como es el caso de aserrín, fibra de coco etc. Las características físicas de los sustratos son los más importantes, ya que una vez establecido el cultivo es difícil modificar y estos se deben permanecer constante a lo largo del ciclo del cultivo (Pineda-Pineda *et al.*, 2012)

Los sustratos son uno de los factores más importantes para tener éxito en un cultivo, debido a cumplen con funciones entre ellos actúan como soporte de la raíces, las protege de la luz solar, facilita la acción y efecto de la solución nutritiva al retener ciertas cantidad y permite el suministro del oxígeno (Ortega-Martinez *et al.*, 2010).

2.11.1 Arena

Se considera arena, todos aquellos materiales cuyas partículas van de un diámetro de 0.05 a 2 mm de diámetro. La densidad aparente de ese material es superior a 1.5 g/cm^3 y general el espacio poroso total es muy similar al de los suelos, además es un sustrato económico cuando se tienen disponible a una distancia cercana, las partículas con un diámetros inferior de 0.5 mm presenta una buena capacidad de retención de agua, pero están pobremente aireadas, pero si presentan un diámetro mayor de 0.5 mm presentan mejor capacidad de aireación y menor capacidad de retención de agua (Quintero *et al.*, 2011).

2.11.2 Perlita

La perlita es un sustrato de color blanco, de peso ligero, y posee gran capacidad de retención de agua y altas propiedades de aireación (Hochmuth *et al.*, 1996). El uso de este sustrato es muy atractivo debido a que posee buenas características tales como que es físicamente estable, es inerte y de un fácil manejo (Szmidt *et al.*, 1987).

Los sustratos inorgánicos tales como la perlita y lana de roca ayudan a generar rendimientos altos y de buena calidad en los cultivos (Inden y Torres, 2001). Por otra parte se utilizan en todo el mundo para la agricultura en hidroponía, es decir no utilizan el suelo como sustrato (Ghehsareh *et al.*, 2011).

2.12 Solución nutritiva (SN)

Es parte fundamental en la hidroponía, que consiste en el uso de agua de buena calidad agronómica, en la cual están disueltos; oxígeno, dióxido de carbono y todos los nutrientes requeridos por las plantas para su crecimiento y desarrollo óptimos (Baca *et al.*, 2016). Los factores de la SN que tienen mayor influencia en la producción de tomate en hidroponía son la relación mutua entre aniones, relación mutua de cationes (Lara, 1999). Además se ha demostrado que los nutrientes en general son suministrados a partir de fuentes inorgánicas, sin embargo hoy en día es común utilizar las fuentes orgánicas, como por ejemplo el te de compost, te de vermicompost, etc. (Preciado *et al.*, 2011).

Una solución nutritiva completa debe tener los siguientes elementos: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, hierro, molibdeno, manganeso, boro, zinc, cobre y níquel, estos elementos están en forma de iones para que puedan ser

absorbidos por las plantas, es importante aclarar que los cultivos difieren en sus demandas nutricionales, lo que significa que necesitan cantidades diferentes y dependen de su etapa fenológica (Castellanos y Ojodeagua, 2009).

2.13 Factores que caracterizan una solución nutritiva

Es de vital importancia realizar los análisis de agua para conocer los parámetros de calidad, que engloba la concentración de sales disueltas (CE), presencia relativa de sodio (RAS), contenido de carbonatos y bicarbonatos (que condicionen el pH), concentración de cloro, boro, hierro y manganeso y nutrimentos como el calcio (Ca), Magnesio (Mg) y sulfatos, que determina el balance final en la aplicación de fertilizantes para la preparación de una SN (Castellón *et al.*, 2015). La CE es un estimador de la concentración total de sales y debe ser mantenida a lo largo del cultivo (Graves, 1983). Sin embargo el manejo del pH para cualquier condición debe de ser manejada entre 5.5 y 6.0, con una temperatura cercana a los 22 °C un mal manejo de la SN en cualquiera de estos factores o la interacción entre ellos afecta la nutrición de la planta y por lo consiguiente el rendimiento y calidad de los frutos (Lara, 1999). Otra característica de la SN es la presión osmótica porque afecta la absorción de agua y nutrimentos para el desarrollo de las plantas en contenedores (Preciado-Rangel *et al.*, 2003). Así como también la oxigenación inadecuada de la SN afecta la absorción de nutrientes y de agua, provocando efectos negativos en el desarrollo del cultivo (Martínez-Gutiérrez *et al.*, 2012).

El balance de una SN consiste no solo en la relación mutua entre los aniones y cationes (Castellanos y Ojodeagua, 2009). Por otra parte las condiciones climáticas y los sustratos, métodos de cultivos también son variables que influyen en la

formulación de SN y deben indiscutiblemente ser considerados (Castellanos y Ojodeagua, 2009).

Se han realizado estudios utilizando la solución nutritiva Steiner y se ha demostrado un mayor rendimiento y mejor tamaño de frutos (Preciado *et al.*, 2011). Así como en las etapas vegetativas- floración, área foliar, peso de materia fresca, peso de materia seca en plantas de fresa se vio favorecido al utilizar la concentración 100/0 de N-NH₄ y N-NO₃ (Campos-García *et al.*, 2016).

2.14 Plagas principales del tomate

2.14.1 Mosquita blanca (*Bemisia tabaci*)

La mosquita blanca es una plaga polífaga, que causan daños directos y pueden actuar como vector de enfermedades virales (Gerling *et al.*, 2001). *Bemisia tabaci* es una de las plagas más importantes a nivel mundial en sistemas de producción en invernaderos, así como en cultivos subtropicales y tropical, esto debido a su rápida adaptación a nuevas condiciones geográficas y ambientales, además de que tienen un gran número de hospederos (Oliveira *et al.*, 2001).

Los daños más frecuentes de esta plaga es el debilitamiento de la planta debido a la extracción de nutrientes y la excreción de sustancias azucaradas que favorecen el crecimiento de hongos como la fumagina (Cuéllar y Morales, 2006).

Para el monitoreo de la mosca blanca esta debe hacer por medio de trampas amarillas con pegamentos, además se revisan las plantas en búsqueda de estados inmaduros. se deben de colocar de 20 a 50 trampas de monitoreo por hectárea, se designan lugares fijos para colocar las trampas, la trampa se coloca, se deja por varias semanas, se cuenta, se registran los resultados y se cambian la trampas por una

nueva, se crea un mapa con la ubicación de las trampas (Castellanos y Ojodeagua, 2009; Cuéllar y Morales, 2006).

2.14.2 Trips (*Frankliniella occidentalis*)

Frankliniella occidentalis es una plaga de importancia económica en todo el mundo, ataca a una gran variedad de cultivos como vegetales, frutales y ornamentales, estos reducen el rendimiento de los cultivos debido a que se alimentan directamente de la planta, por otra parte es el vector clave responsable de la aparición del virus del marchitamiento del tomate que es una amenaza mundial para la agricultura (Bielza, 2008).

El aumento de las poblaciones de trips en el tomate, puede ser causado por el aumento de nutrientes disponibles en la planta (Stavisky *et al.*, 2002). Los trips son una plaga difícil de controlar con insecticidas debido a su resistencia que han generado, ya que tienen la capacidad de desarrollar una rápida resistencia, esto debido a corto tiempo de generación y alta fecundidad, es por esto que tienen un impacto negativo en los programas de manejo integrado de plagas con control químico (Jensen, 2000).

2.14.3 Araña roja (*Tetranychus urticae*)

La araña roja es una plaga de gran importancia económica debido a que puede causar pérdidas importantes de rendimiento en diversos cultivos, como frutales, vegetales y en plantas ornamentales, puede presentarse en cultivos al aire libre como en invernaderos (Attia *et al.*, 2013).

La araña roja es una plaga polífaga en todo el mundo, es el principal problema del tomate bajo condiciones de invernadero en el país de México. Pasa por 5 estadios en su desarrollo: huevecillo, larva, primer estadio ninfal (protoninfa), segundo estadio

ninfal (deotinanfa) y acaro adulto. El color puede variar desde naranja, amarillo claro, verde oscuro, rojo, marrón o casi negro depende del cultivo en que se encuentre (Castellanos y Ojodeagua, 2009).

2.14.4 Minador de la hoja (*Liriomyza spp*)

El minador de la hoja es una especie nativa de los Estados Unidos, cuenta con una distribución amplia en todo el mundo, en México se considera una plaga de importancia económica, debido a la resistencia que genera contra los insecticidas (Cortez-Mondaca, 2013).

Muchas de las especies de *Liriomyza* son plagas agrícolas y ornamentales (Kang *et al.*, 2009). El género más conocido de dípteros minadores de hojas son *Liriomyza trifoli* y *Liriomyza sativae* (Parrella, 1984). El minador de la hoja provoca grandes daños debido a las galerías que ocasionan en la hoja, las larvas al momento de alimentarse de las hojas destruyen gran parte de la masa foliar, cuando la planta es joven estos daños provocan un desarrollo inadecuado del cultivo (Figueroa-Navarro, 2004).

2.14.5 Paratrioza (*Bactericera cockerelli*)

La paratrioza es un insecto picador chupador de savia, que pertenece al orden hemíptero, dentro de la familia Trizidae. Es originario del oeste de Estados Unidos. Este insecto se le conoce con diferentes nombres comunes tales como: paratrioza, pulgón saltador, psilido de la papa, melosa, entre otros (Castellanos y Ojodeagua, 2009).

Bactericera cockerelli es una de las plagas más importantes en solanáceas, principalmente en los cultivos de chile, tomate y de papa en México y en el mundo (Vega-Gutiérrez *et al*, 2008). Los daños que causa en la planta se debe a la

alimentación directa y por transmitir el patógeno bacteriano *Candidatus liberibacter psyllaurus* (Butler y Trumble, 2012).

Para el control de *Bactericera cockerelli* se utilizan insecticidas de origen químico, sin embargo se puede realizar un control biológico en donde se puede utilizar el parasitoide *Tamarixia triozae* (Luna-Cruz *et al.*, 2011).

2.15 Enfermedades del tomate

2.15.1 Cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*)

Leveillula taurica es un patógeno fúngico que causa la enfermedad de la cenicilla del tomate, ataca a diferentes cultivos como pimiento, tomate, berenjena, cebolla, algodón y tiene la capacidad de una rápida propagación (Zheng *et al.*, 2013).

Los daños pueden ser muy severos si no se toman las medidas a tiempo. Las medidas preventivas, es recomendable elegir variedades tolerantes al patógeno, eliminar los residuos de cosecha y quemarlos o compostearlo lejos del invernadero y eliminar la maleza alrededor del invernadero (Castellanos y Ojodeagua, 2009). Una alternativa para su manejo es el uso de genotipos tolerantes (Guzmán-Plazola *et al.*, 2011).

2.15.2 Tizón tardío (*Phytophthora infestans*)

El tizón tardío es causado por el oomycete *Phytophthora infestans* es considerado la enfermedad más destructiva del tomate y la papa, este patógeno está ampliamente distribuido en todo el mundo (Ballvora *et al.*, 2002)

Una de las características del tizón tardío es que tiene la capacidad de generar a partir de micelios grandes cantidades de esporangios, esta liberan zoosporas que

forman las estructuras de infección (Judelson *et al.*, 2008) El control de esta enfermedad es difícil porque tiene una gran velocidad de adaptación a las diferentes estrategias de control, así como a las variedades genéticamente resistentes (Hass *et al.*, 2009).

2.15.3 Tizón temprano (*Alternaría solani*)

El hongo causante del tizón temprano es *Alternaría solani*, es una de las enfermedades más importantes del cultivo de tomate debido a que genera grandes pérdidas económicas cada año (Spletzer y Enyedi, 1999), esta enfermedad provoca una defoliación en las plantas, por lo que disminuye el rendimiento y la calidad del fruto (Foolad *et al.*, 2002).

Una detección temprana de esta enfermedad es muy importante para poder realizar un manejo eficiente (Kumar *et al.*, 2013).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización geográfica de la Comarca Lagunera

Esta región se localiza en la parte central de la porción norte de México. Se encuentra ubicada entre los meridianos $101^{\circ} 40'$ y $104^{\circ} 45'$ de longitud Oeste y los paralelos $25^{\circ} 05'$ y $26^{\circ} 54'$ de latitud Norte. La altitud de esta región sobre el nivel del mar es de 1,139 metros, la región cuenta con una extensión montañosa y una superficie plana donde se localizan tres áreas agrícolas, así como áreas urbanas. La temperatura media anual es de 18.6°C , presentando su valor más bajo en enero y más alto en julio. La precipitación media anual es 235 mm.

3.2 Localización del sitio de estudio

El municipio de Torreón está localizado en la región lagunera del estado de Coahuila y cuenta con una extensión territorial de 1,947.7 kilómetros cuadrados y una población de 639,629 habitantes. Las coordenadas geográficamente en latitud norte $25^{\circ} 32'$ y $103^{\circ} 27'$ de longitud oeste, con una altitud de 1,120 msnm.

3.3 Localización del sitio experimental

El experimento se realizó, en el ciclo primavera verano 2017, bajo condiciones de invernadero pertenecientes al departamento de horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad laguna, Ubicada en el Periférico Raúl López Sánchez s/n, col. Valle verde, torreón, Coahuila México. Se localiza geográficamente en los paralelos $25^{\circ} 33' 26''$ de Latitud Norte y en los meridianos $103^{\circ} 22' 31''$ de Longitud Oeste, con una altitud entre 1000 y 2500 msnm.

3.4 Descripción del invernadero

El invernadero N° 2 cuenta con las siguientes características: un área de 210 m², es de forma semicircular, con cubierta de acrílico reforzado y malla sombra al 50%, piso grava y sistema de enfriamiento automático mediante la pared húmeda, cuatro ventiladores en el techo y dos extractores en la parte frontal, la temperatura mínimas y máximas al interior del invernadero fluctúan entre 17.4 y 32.6 respectivamente, mientras que la humedad relativa mínimas y máximas oscila entre los 30 y 70 %.

3.5 Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental en bloques completamente al azar con cinco tratamientos con seis repeticiones. Los tratamientos fueron de la combinación de PGPR y niveles de la concentración de la solución nutritiva Steiner (SN) (Steiner, 1961): T1 = *B. paralicheniformis*+ SN 75 %, T2 = *P. lini*+ SN 75 %, T3 = co-inoculante + SN 75 %, T4 = sin PGPR + SN 75 %, T5 = sin PGPR + SN 100 % (Testigo).

3.6 Siembra en charola

El material vegetal empleado fue tomate cv. Moctezuma (Harris Moran®). Se sembró en bandejas de poliestireno de 200 cavidades utilizando Peat moss (Premier®, México) como sustrato. Estas se cubrieron con plástico negro durante 72 h aplicando un riego cada 24 h. Las características del agua de riego fueron: pH 7.38, RAS 3.2 y CE 1.18 dS m⁻¹

3.7 Inoculación

Se utilizaron dos cepas de PGPR (*B. paralicheniformis* y *P. lini*). Estas fueron proporcionadas por el Laboratorio de Ecología Microbiana de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, Durango, México. Los inóculos bacterianos se cultivaron individualmente en medio Luria Bertani®. Posteriormente se colocaron en una incubadora durante 24 h a 30 °C, con agitación de 200 rpm (Precisión Scientific 815®). Las concentraciones bacterianas se ajustaron a 1×10^8 UFC mL⁻¹ con buffer fosfato salino al 0.5X.

A los 12 días después de la emergencia, las plántulas fueron inoculadas empleando el método de inmersión durante un periodo de 5 minutos en una suspensión bacteriana de 4 L, a una concentración de 1×10^8 mL. Los tratamientos testigos solo se trataron con agua destilada. La inoculación se realizó para *B. paralicheniformis*, *P. lini* de forma individual, así como una co-inoculación de las mismas.

3.8 Trasplante

Se efectuó 35 días después de la siembra, cuando las plantas alcanzaron una altura de 12 a 15 cm de altura, colocando una planta en el centro de bolsas de polietileno negro calibre 500 de 18 L de capacidad. Las bolsas se llenaron con una mezcla a base de arena de río y perlita [Multiperl®, México (80:20, v:v)]. Éstas fueron colocadas en doble hilera, con una separación de 1.60 m entre hileras. Se usó con arreglo topológico “tresbolillo” a 0.30 m de centro a centro entre las bolsas, para obtener una densidad de 4.2 plantas m⁻². La arena de río se desinfectó previamente con una solución de 5 % de hipoclorito de sodio y se dejó secar al ambiente por tres días.

3.9 Riego

A los cuatro días después del trasplante (ddt) se inició el riego aplicando la SN al 75 y 100 % de su concentración. Las Soluciones nutritivas fueron preparadas a partir de nitrato de calcio $[\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$, nitrato de potasio (KNO_3), sulfato de magnesio ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), sulfato de potasio (K_2SO_4), más micronutrientes (Maxiquef®). El pH de las soluciones se ajustó a 5.5 con ácido fosfórico (H_3PO_4).

Se suministró de manera manual aplicando a los cuatro días después del trasplante, 23 de Mayo 2017, en promedio 0.5 L por maceta día⁻¹. El volumen se incrementó a 1 y 2 L día⁻¹, a los 30 y 71 ddt, respectivamente.

3.10 Labores culturales

3.10.1 Tutoreo

Se realizó de forma manual, el cual consistió en la colocación de un tramo de rafia de 3 metros aproximadamente para cada planta, el hilo de rafia se sujetó al tallo principal por debajo de la primera hoja verdadera, se en tutoraba pasándolo por cada entrenudo hasta el brote terminal, atándolo en la estructura metálica de la parte superior del invernadero, quedando la planta de forma vertical. Posteriormente con el crecimiento de la planta se en tutoraba hasta el crecimiento apical, esto se realizó a lo largo del ciclo del cultivo, además las plantas fueron guiadas a un solo tallo.

3.10.2 Podas

Esta actividad se realizó durante todo el ciclo fenológico, cada ocho días, esta labor consistió en la eliminación de brotes axilares con la finalidad de mantener la planta a un solo tallo y evitar competencia con el tallo principal, posteriormente se

eliminaron las hojas senescentes ya que al encontrarse en las partes bajas de la planta forman un microclima propicio para el desarrollo de hongos y enfermedades. Se realizó la poda de yema apical cuando la planta completo sus primeros ocho racimos.

3.10.3 Bajado de plantas

Se llevó a cabo para facilitar la toma de datos, polinización y cosecha, pero lo más importante es evitar que la planta se encuentre en la zona de máxima acumulación de calor del invernadero (zona alta).

3.10.4 Polinización

Esta labor se desarrolló una vez iniciada la floración y hasta el amarre del octavo racimo, realizándose diariamente entre las 11:00 y 14:00 horas, al inicio de la apertura de las flores, estimulando de manera mecánica la polinización con un vibrador eléctrico o en ocasiones se realizó agitando las plantas por medio de la rafia de tutoreo.

3.11 Control de plagas y enfermedades

Durante el ciclo del cultivo se realizaron muestreos cada dos días para detectar la presencia de plagas y enfermedades. Las plagas que más se presentaron fueron la mosquita blanca (*Bemisia tabaci*), Paratrioza (*Bactericera cockerelli*), minador de hoja (*Liriomyza* ssp). Para ellos se aplicaron preventivos de agua con jabón con una dosis 3 g de jabón en 5 L de agua.

3.12 Control de maleza

Esta labor se realizó de forma manual y periódicamente para evitar hospederos de plagas y enfermedades, de igual manera evitar competencia entre el cultivo y maleza, principalmente de nutrientes, espacio, agua, luz y CO₂ y se realizó dentro y fuera del invernadero, utilizando herramientas como azadón, pala y machete para eliminar la maleza con un margen de un metro de la orilla del invernadero.

3.13 Cosecha

La cosecha de los frutos se realizó del primer al octavo racimo, cuando éstos presentaron un color rosa entre 30 y 60 % de acuerdo a la clasificación de color de USDA (1991).

3.14 Variables evaluadas

Las variables evaluadas en el presente trabajo fueron: peso de fruto, número de frutos, diámetro polar y ecuatorial, número de fruto, rendimiento y firmeza.

3.15 Herramientas para la medición de variables

3.15.1 Datos de rendimiento y calidad de los frutos

Para la calidad del tomate se determinó en 18 frutos por planta, correspondiente a cada repetición de los tratamientos, registrando los diámetros polar y ecuatorial, el contenido de sólidos solubles con refractómetro (Master-T ATAGO®, Tokio, Japón), la firmeza con un penetrometro (FHT200®, Extech Instruments, USA), y el peso del fruto con una balanza (Ohaus 3729®, México) y el rendimiento se obtuvo por planta, del primero al octavo racimo.

3.16 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza para determinar las diferencias entre los tratamientos, en los casos en los que se encontró diferencia estadística significativa, se realizaron comparación de medias aplicando la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Utilizando el paquete estadístico Statistical Analysis System 9.0 (SAS).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Número de frutos

Para esta variable el análisis de varianza presentó diferencias estadísticas entre los tratamientos ($P < 0.01$), con una media de 24.8 y un coeficiente de variación de 15.28%. El mayor número de frutos se registró en los tratamientos T1 (*B. paralicheniformis* + SN 75%) con una media de 33.33, seguido de T2 (*P. lini* + SN 75%) con una media de 31.00, mientras que la menor cantidad se obtuvo en el tratamiento T5 (sin PGPR + SN 100%) con una media de 19.83 (FIGURA 1). Resultados similares encontraron García *et al.* (2004) donde obtuvieron un incremento del 22.79 y 56.25% en el número de frutos por planta de tomate al utilizar las cepas *B. licheniformis* y *B. subtilis*, respectivamente. Así mismo, Sánchez *et al.* (2012) inoculando las cepas *Enterobacter* sp. TVL-2 y *P. putida* PSO14 donde estos superaron en un 29% y 17% al testigo. Los resultados del presente estudio fueron superiores a los reportados por Hernández y Chailloux, (2004) quienes inocularon *Glomus mossea* + *Pseudomonas fluorescens* con una fertilización mineral al 50% obteniendo una media de 17.73 de número de fruto. Además, fueron superiores a los reportados por Terry *et al.* (2005) quienes evaluaron *Glomus clarum* + Biostin y obtuvieron un media de 15.25 frutos por plantas. Según Sarbadhikary y Mandal, (2017) el aumento en el número de frutos por planta se debe a que las PGPR son capaces de sintetizar fitohormonas como son las citoquininas y AIA, además de fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fosfato y también son capaces de inhibir el crecimiento de microorganismos fitopatógenos.

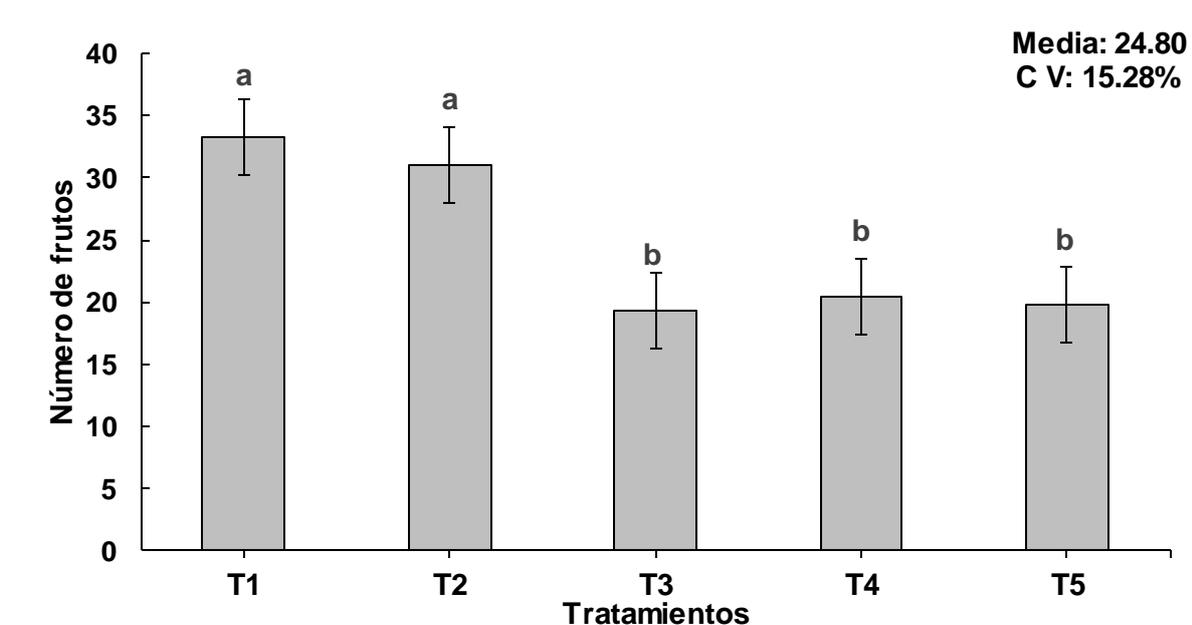


FIGURA 1: Efecto de las rizobacterias y fertilización inorgánica en el número de frutos por planta de tomate. Valores con letras diferentes en cada barra, son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba Tukey ($P \leq 0.05$).

4.2 Peso del fruto

Para las variables peso de fruto no hubo diferencia estadística, sin embargo, el tratamiento T3 (co-inoculante + SN 75%) registró aumento del peso de fruto en un 2.4% en comparación al T5 (sin PGPR + SN 100%) (FIGURA 2). Estos resultados se deben a que la co-inoculación permite disminuir la SN al 50% de acuerdo a Terry *et al.* (1998). Además se ha demostrado que la co-inoculación con diversos microorganismos pueden mejorar el balance de nutrientes que promueven o movilizan nutrientes a la planta y por lo ende mejoran la calidad y productividad de la misma Flores *et al.* (2010). Por otra parte estos resultados concuerdan con lo reportado por Espinosa *et al.* (2017) quienes registraron incrementos del peso del fruto al inocular la cepa *Bacillus* spp, con una media de 77.8 g superando en un 16.78% al peso del fruto obtenidos en las plantas sin inocular. Estos efectos puede deberse a que las PGPR tienen un potencial de aumentar el peso del fruto, debido a que son capaces

de sintetizar fitohormonas, fijan nitrógeno, son solubilizadoras de fosfato e inhiben el desarrollo de microorganismos fitopatógenos (Abraham-Juárez *et al.*, 2018).

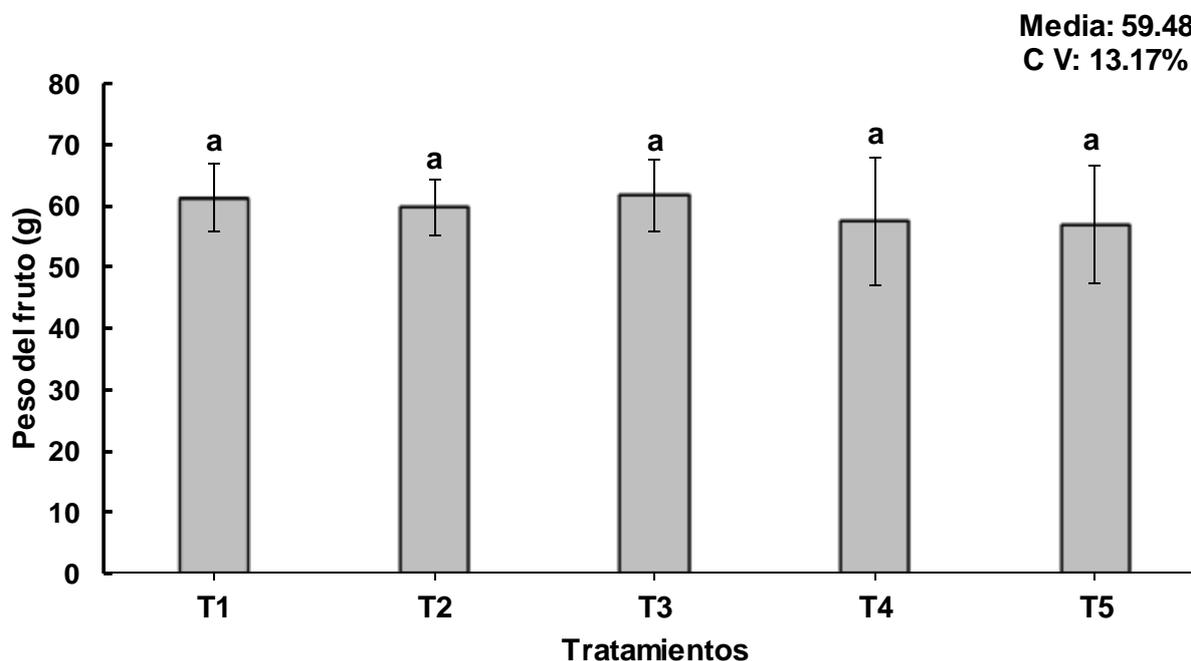


FIGURA 2: Efecto de las rizobacterias y fertilización inorgánica en el peso del fruto de tomate. Valores con letras iguales en cada barra, son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba Tukey ($P \leq 0.05$).

4.3 Sólidos solubles totales

Para la variable sólidos solubles el análisis de varianza no detectó diferencia significativa ($P > 0.05$), sin embargo el mayor contenido de sólidos solubles se presentó en el T3 (co-inoculante + SN 75%) con una media de 5.04 °Brix, y el menor contenido de sólidos se presentaron en los tratamientos testigos T4 (sin PGPR + SN 75%) y T5 (sin PGPR + SN 100%) con medias de 4.83 y 4.87 °Brix, respectivamente (FIGURA 3) Los resultados mostrados en este trabajo concuerdan con Abraham-Juárez *et al.* (2018) quienes al evaluar la cepa *Bacillus subtilis* en el cultivo melón desarrollado bajo condiciones protegidas. Así como también Terry Alfonso *et al.* (2018) donde evaluaron nutrición parcial ecológica más la co-inoculación obtuvieron

una media de 5.23, así como también resultados similares reportaron Terry y Leyva, (2006) utilizando variante ecológica (abonos orgánicos + *A. Brasilense* + *G. mosseae* + aspersión de Biostan (IF) + Biostan (F1+ FR) obtenido una media de 5.31 de °Brix. Por otra parte los valores reportados en el presente trabajo están dentro del promedio por lo que son aceptados para consumo en fresco ya que superan al valor óptimo de 4 °Brix (Santiago *et al.*, 1998).

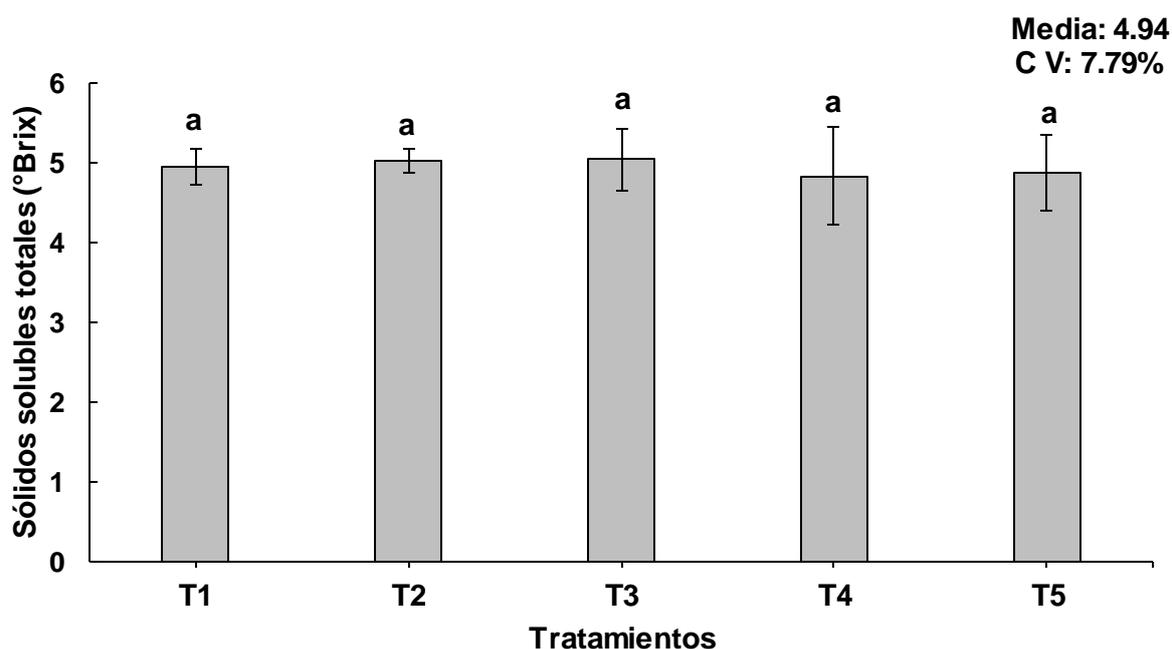


FIGURA 3: Efecto de las rizobacterias y fertilización inorgánica en los sólidos solubles en los frutos de tomate. Valores con letras iguales en cada barra, son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba Tukey ($P \leq 0.05$).

4.4 Firmeza del fruto

Para la variable firmeza del fruto no presento diferencia significativa ($P > 0.05$), sin embargo, los frutos con mayor firmeza se presentaron en el T2 (*P. lini* + SN 75%), obtenido incrementos del 2.2% en comparación a los tratamiento T4 (sin PGPR + SN 75%) y T5 (sin PGPR + SN 100%), respectivamente (FIGURA 4). Un efecto semejante es reportado por Terry Alfonso *et al.* (2018) al evaluar la fertilización mineral al 50% + bioproductos a base de micorrizas y bacterias. Resultados de la firmeza son similares

a los reportados por Espinosa *et al.* (2017) al evaluar las cepas *Bacillus spp*, *Aeromonas ssp* y *P. lini* en el cultivo de tomate. Así también, Ruiz-Cisneros *et al.* (2019) no encontró diferencia significativa sin embargo los frutos tratados con la cepa *B. subtilis*, mostraron los valores más altos de firmeza, resultando en un incremento en la firmeza en 1.6 veces comparado con los frutos provenientes de las plantas testigo. Por otra parte este efecto puede ser atribuido a cambios en la producción de fitohormonas, principalmente el etileno que es el responsable de la expresión de genes de la maduración (Mena-Violante *et al.*, 2009). Estos resultados indican la importancia de una nutrición adecuada ya que al no completarse se obtendrá un desequilibrio nutricional, que alteran el crecimiento de la planta y como consecuencia, la composición del fruto y su resistencia para el almacenamiento.

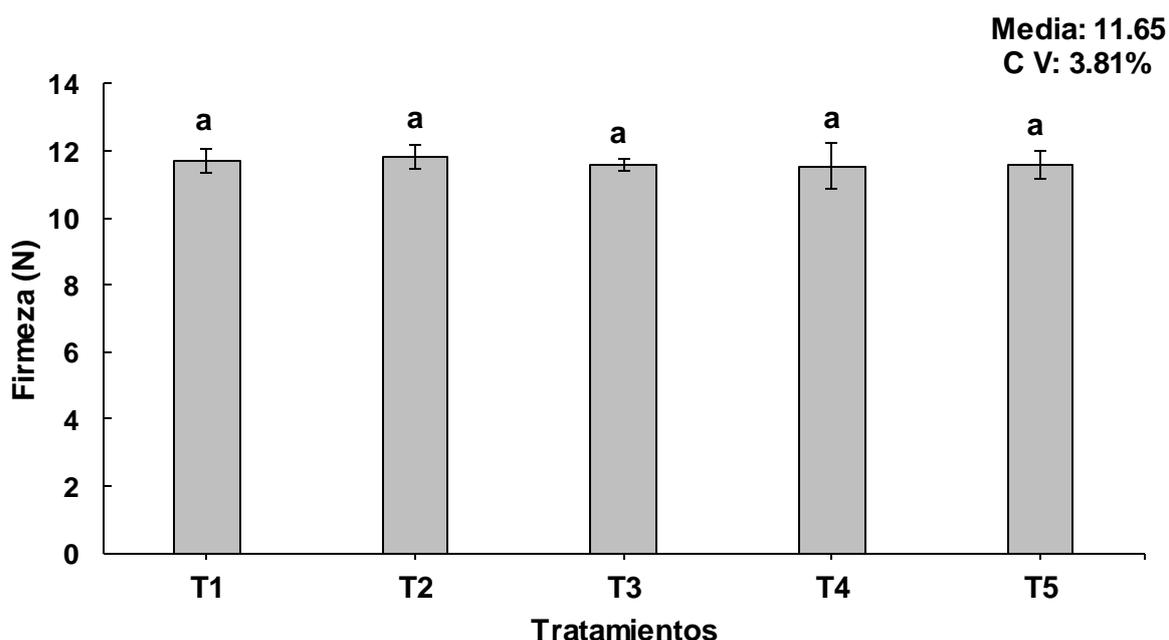


FIGURA 4: Efecto de las rizobacterias y fertilización inorgánica en la firmeza de los frutos de tomate. Valores con letras iguales en cada barra, son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba Tukey ($P \leq 0.05$).

4.5 Diámetro polar del fruto

Para esta variable de diámetro polar no presentó diferencias significativas ($P > 0.05$) (FIGURA 5). Sin embargo el mejor tamaño de fruto se registró en el tratamiento T3 (co-inoculante + SN 75%) con diámetro polar de 5.73 cm siendo este superior al T4 (sin PGPR + SN 75%) con un diámetros polar de 5.39 cm. Los resultados obtenidos en el presente trabajo son similares a los reportados por Ruiz-Cisneros *et al.* (2019) quienes inocularon la cepa *B. subtilis* en plantas de tomate y obtuvieron frutos más grandes con diámetro polar de 5.5 cm en comparación al testigo sin inocular. De acuerdo a Espinosa *et al.* (2017) las PGPR generan efectos positivos respecto al diámetro del fruto. Con relación al tamaño del fruto Mena-Violante y Olalde-Portugal, (2007) reporta valores similares al evaluar la cepa *B. subtilis* BEB-13 bs + aplicación de Solución Long. Ashton. Sin embargo la co-inoculación de bacterias benéficas propician efectos positivos para el desarrollo de la planta, así por lo tanto generando aumentos en rendimiento y el tamaño del fruto en comparación a la inoculación de una sola cepa Terry y Leyva, (2006). Así mismo co-inoculación de PGPR permite disminuir el consumo de fertilizantes minerales en un 25% sin afectar la calidad de los frutos y sin disminuir el rendimiento (Terry *et al.*, 1998).

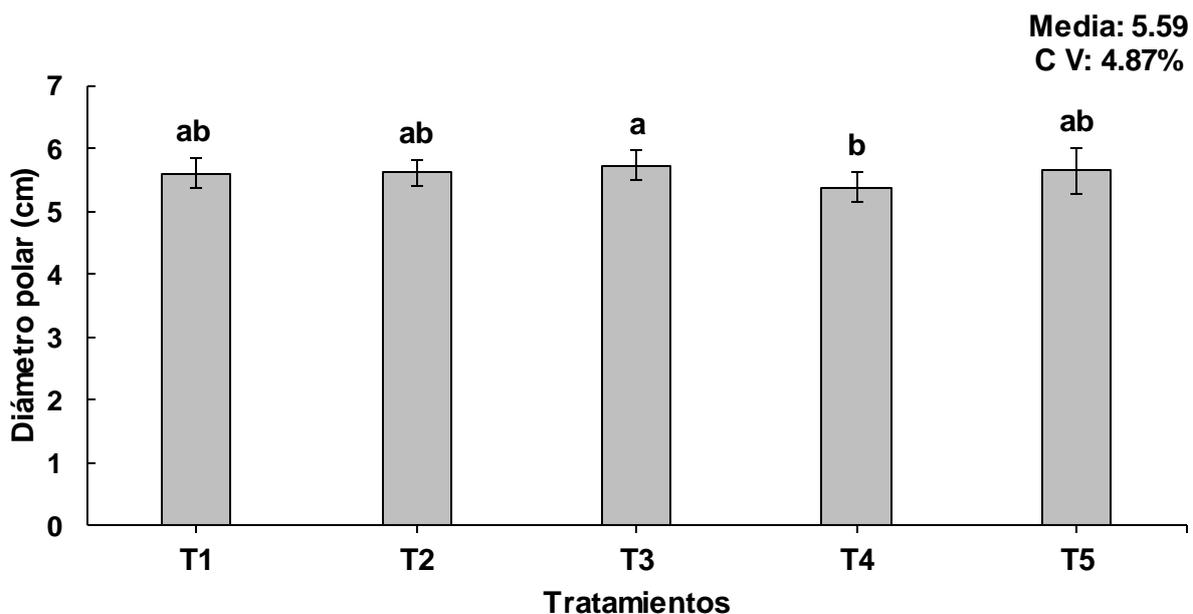


FIGURA 5: Efecto de las rizobacterias y fertilización inorgánica en el diámetro polar en frutos de tomate. Valores con letras diferentes en cada barra, son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba Tukey ($P \leq 0.05$).

4.6 Diámetro ecuatorial del fruto

Para esta variable de diámetro ecuatorial no presentó diferencias significativas ($P > 0.05$) (FIGURA 6). Sin embargo el mejor tamaño de fruto (diámetro ecuatorial) se presentó en el tratamiento T3 (co-inoculante + SN 75%), con una media de 4.41 cm, siendo superior en un 1.42% al tratamiento testigo T5 (sin PGPR + SN 100%). Este comportamiento coincide con lo reportado por Espinosa *et al.* (2017) y Mena-Violante y Olalde-Portugal, (2007) quienes no registraron diferencias significativas para el diámetro ecuatorial del fruto, sin embargo al inocular la cepa *Bacillus* sp, esta incrementa el tamaño del fruto.

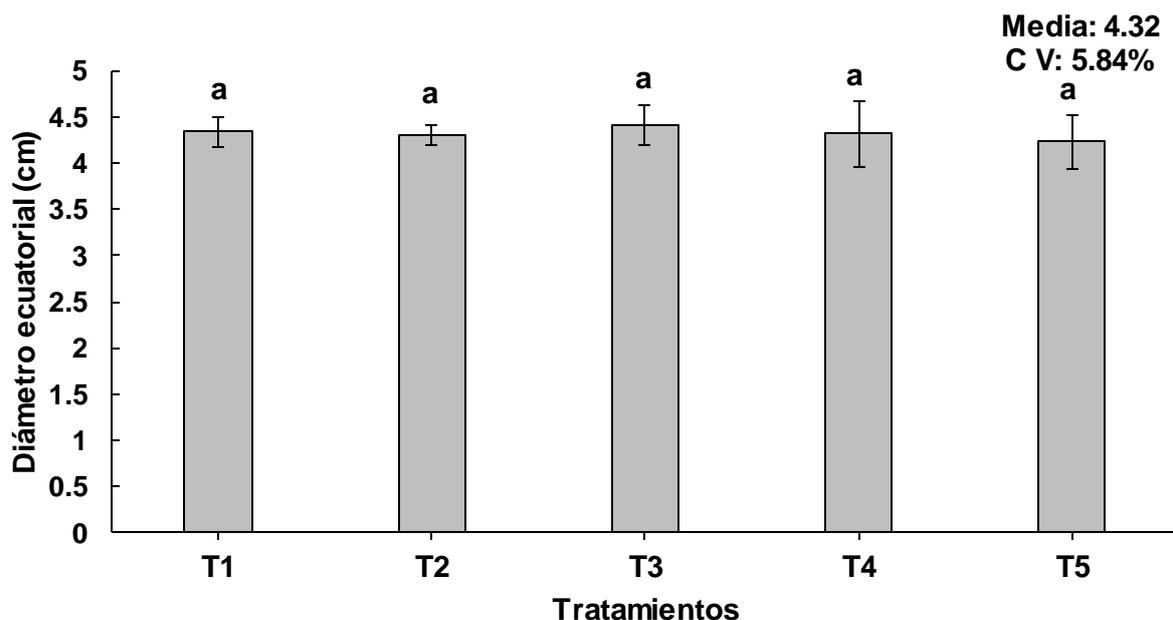


FIGURA 6: Efecto de la biofertilización y fertilización inorgánica en el diámetro ecuatorial en frutos de tomate. Valores con letras iguales en cada barra, son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba Tukey ($P \leq 0.05$).

4.7 Rendimiento

En cuanto al análisis de varianza para esta variable de rendimiento, indica que mostró diferencias estadísticas entre los tratamientos ($P < 0.01$), en tanto el tratamiento T1 (*B. paralicheniformis* + SN 75%) resultó ser superior en 74.35 y 83.00% a los tratamientos sin inocular T4 (sin PGPR + SN 75%), y T5 (sin PGPR + SN 100%), respectivamente (FIGURA 7). Resultados similares se han reportados con cepas pertenecientes al género *Bacillus*. Por ejemplo Espinosa *et al.* (2017), quienes al evaluar el género *Bacillos spp* este mejoró el rendimiento en un 25.06% en comparación al tratamiento testigo sin inocular. Así mismo González *et al.* (2018) reporta incrementos significativos en el rendimiento del cultivo de tomate inoculado con *Bacillus sp* obteniendo una media de 9.84 k/m², superando ampliamente al sin inocular. De igual forma Abraham-Juárez *et al.* (2018) evaluó la cepa *Bacillus subtilis* inoculado en el cultivo de melón (*Cucumis melo* L.) bajo condiciones protegidas de

manera que esta cepa tiene el potencial de aumentar el rendimiento. Por lo tanto los resultados previstos en estos trabajos se atribuye a que *Bacillus* tiene el efecto de inhibir el crecimiento fitopatógenos (Islam *et al.* 2012). Y la eficiencia de la utilización de fertilizantes nitrogenada (% UFN) se incrementa debido a la inoculación de microorganismos benéficos (PGPR) (Grageda-Cabrera *et al.* 2018; Terry y Leyva, 2006). Así mismo presenta diversos mecanismos como: la fijación biológica de nitrógeno atmosférico, solubilización de fosfato y síntesis de fitohormonas como el ácido indol acético aumentan el rendimiento de los cultivos (Arcos y Zuñiga, 2016).

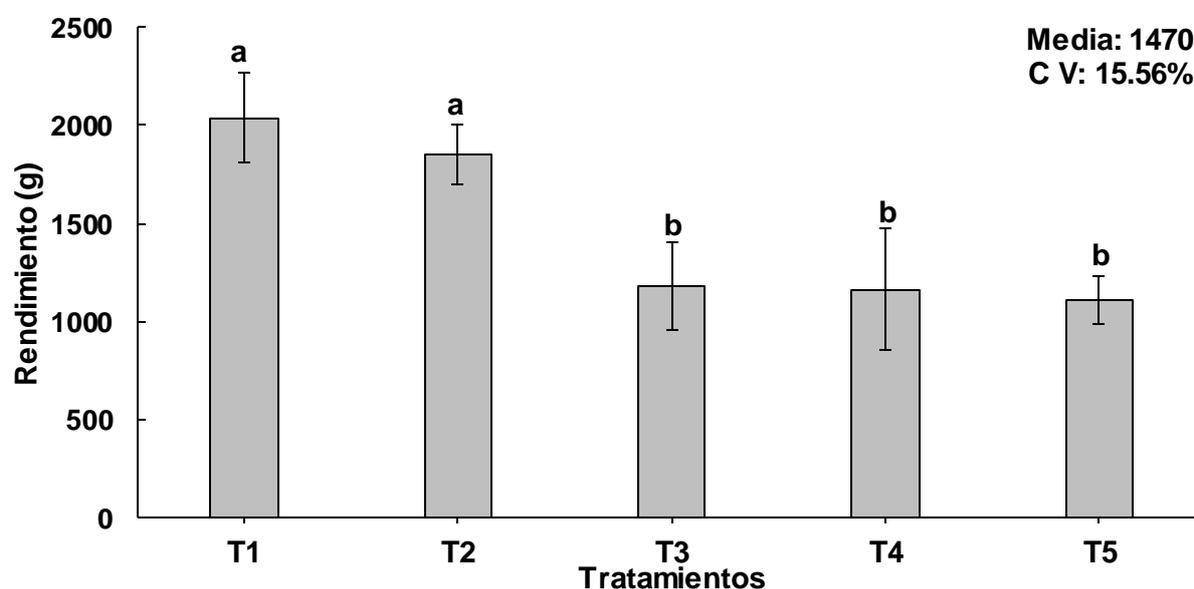


FIGURA 7: Efecto de las rizobacterias y fertilización inorgánica en el rendimiento del cultivo de tomate. Valores con letras diferentes en cada barra, son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba Tukey ($P \leq 0.05$).

V. CONCLUSIONES

Las variables analizadas del cultivo de tomate demostraron ser influenciadas positivamente a la inoculación de PGPR. La co-inoculación de las cepas *B. paralicheniformis* y *P. lini* y la fertilización inorgánica al 75%, es una alternativa para reducir el uso de los fertilizantes sintéticos, debido a que aumenta el rendimiento, número de frutos y la calidad del fruto. Por lo tanto se concluye que es posible reducir la cantidad de fertilización inorgánica, con la aplicación de bioinoculantes a base de PGPR disminuir la contaminación del medio ambiente.

VI. LITERATURA CITADA

- Abraham-Juárez, M.R., I. Espita-Vazquez, R. Guzman-Mendoza., V. Olalde Portugal., G.M. Ruiz-Aguilar., J.L. García-Hernandez., Y H.G. Nuñez-Palenius. 2018. Development, yield, and quality of melon fruit (*Cucumis melo* L.) inoculated with Mexican native strains of *Bacillus subtilis* (Ehrenberg). *Agrociencia*. 52(1):91-102.
- Aloni, R., E. Aloni., M. Langhans and C.L. Ullrich. 2006. Role of cytokinin and auxin in shaping root architecture: regulating vascular differentiation, lateral root initiation, root apical dominance and root gravitropism. *Ann Bot*. 97(5):883-893.
- Álvarez A., S., S. Pezzullo D., E. Rovere., y R. Pérez D. 2013. Presencia de *Pseudomonas fluorescens* (Pseudomonadaceae) en la rizosfera de *Senna arnottiana* (Facaceae) viverizada para ensayos de restauración ecológica. *Restauración Ecológica en la Diagonal Árida de la Argentina*. 1(1):121-128.
- Arcos, J., y D, Zuñiga. 2016. Rizobacterias promotoras de crecimiento de plantas con capacidad para mejorar la productividad en papa. *Revista Latinoamericana*. 20(1):18-31.
- Armenta-Bojórquez., A.D., C. García G., J.R. Camacho B., M.A. Apodaca S., G. Montoya L., y E. Nava P. 2010. Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai: revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible*. 6(1):51-56.
- Attia, S., K.L. Grissa., G. Lognay., E. Bitume., T. Hance., y A.C. Mailleux. 2013. Una revisión de los principales enfoques biológicos para controlar la plaga mundial *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) con referencia especial a los pesticidas naturales. *Journal of Pest Science*. 86 (3):361-386.

- Ayala-Tafoya., F., R. Sánchez M., L. Partida R., M.G. Yáñez J., F.H. Ruíz E., T. Velázquez A., y M.D. Parra D. 2015. Produccion de pimiento morrón con mallas sombras de colores. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 38(1):93-99.
- Baca C., G.A., E. Rodriguez C., y A. Quevedo N. (2016). La Solución Nutritiva en Hidroponia. México. *Terra latinoamericana*. 17(1):209-219.
- Bai, Y., and P, Lindhout. 2007. Domestication and breeding of tomatoes: what have we gained and what can we gain in the future. *Annals of botany*. 100(5):1085-1094.
- Ballvora, A., E.M. Raffaella., J, Weib., K, Meksem., A.B. Christina., P. Oberhagemann and G. Christiane. 2002. The R1 gene for potato resistance to late blight (*Phytophthora infestans*) belongs to the leucine zipper/ NBS/LRR class of plant resistance genes. *The plan Journal*. 30(3):361-371.
- Bhattacharyya, P.N., and D.K. Jha. 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 28(4):127-135.
- Bielza, P. 2008. Insecticide resistance management strategies against the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*. *Pest Manag Sci*. 64(11):1131-1138.
- Bleecker, A., and H. Kende. 2000. Ethylene: a Gaseous signal molecule in plants. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*. 16(1):1-18.
- Butler, C.D., and J.T. Trumble. 2012. The potato psyllid, *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae): life history, relationship to plant diseases, and management strategies. *Terrestrial Arthropod Reviews*. 5(2):87-111.
- Camelo, M., P. Vera S., y R. Bonilla R. 2011. Mecanismos de acción de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 12(2):159-166.

- Campos-García., T., P. Sánchez G., G. Alcántar G., y G. Calderón Z. 2016. Respuesta agronómica y nutrimental de fresa a soluciones nutritivas con diferente relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 7(3):599-606.
- Castañeda M., R., E. Ventura R., R.R. Peniche V., y R. Herrera R. 2007. Análisis y simulación del modelo físico de un invernadero bajo condiciones climáticas de la región. *Agrociencia*. 41(3):317-335.
- Castellanos Z., J., y L. Ojodeagua J. 2009. Manual de producción de tomate en invernadero. Intagri, S.C. Celaya, Guanajuato. México. p. 350.
- Castellanos-Ramos., J.Z. 2004. Manual de Producción Hortícola en Invernadero. 2 ed. Intagri. México. pp. 103-123.
- Castellón, G.J., R. Bernal M., y M. Hernández R. 2015. Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala. *Ingeniería*. 19(1):39-50.
- Chamarro, L. J. 2001. El cultivo de tomate. Mundi-Prensa México. Guanajuato, México. pp. 43-87.
- Cih-Dzul., I., J.L. Jaramillo V., M.A. Tornero C., y R. Schwentesius R. 2011. Caracterización de los sistemas de producción de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el estado de Jalisco, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 14(1):501-512.
- Contreras-Magaña, E., H. Arroyo P., J. Ayala A., F. Sánchez C., y E.C. Moreno P. 2013. Morphological characterization of floral differentiation in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 19(4):59-70.
- Cortez-Mondaca., E., y F.A. Valenzuela E. 2013. Natural Enemies of the Leafminer *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae): Challenges and Perspectives for its Biological Control. *Southwestern Entomologist*. 38(4): 643-661.

- Cuéllar M., E., y J. Morales F. 2006. La mosca blanca *Bemisia tabaci* (Gennadius) como plaga y vectora de virus en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Revista Colombiana de Entomología. 32(1):1-9.
- Esitken, A., E.Y. Hilal., S. Ercisli., F.M. Donmez., M. Turan and A. Gunes. 2010. Effects of plant growth promoting bacteria (PGPB) on yield, growth and nutrient contents of organically grown strawberry. Scientia Horticulturae. 124(1):62-66.
- Espinosa P., B., A. Moreno R., P. Cano R., P. Álvarez R., J. Sáenz M., H. Sánchez G., y G. González R. 2017. Inoculación de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. afrodita en invernadero. Terra Latinoamericana. 35(2):169-178.
- FAOSTAT. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2016. <http://faostat3.fao.org/>. Consulta marzo de 2019.
- FAO. Organización de las Naciones Unidas. 2016. <http://www.fao.org/>. Consulta en abril de 2019.
- Figuerola M., Y., y D. Navarro M. 2004. Estudio del parasitismo natural del minador de hojas, *Liriomyza* spp. en cultivo de judía bajo invernadero plástico en la provincia de Almería. Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas. 30(3):563-572.
- Flores, J., W. Ojeda B., I. López., A. Rojano., y I. Salazar. 2007. Requerimientos de riego para tomate de invernadero. Terra Latinoamericana. 25(2):127-134.
- Flores, P., J. Fenoll., P. Hellin., y P. Aparicio-Tejo. 2010. Isotopic evidence of significant assimilation of atmospheric-derived nitrogen fixed by *Azospirillum brasilense* co-inoculated with phosphate-solubilising *Pantoea dispersa* in pepper seedling. Applied Soil Ecology. 46(3):335-340.

- Foolad, M.R. 2007. Genome mapping and molecular breeding of tomato. *International Journal Plant Genomics*. 3(1):1-52.
- Foolad, M., L. Zhang., A.A. Khan., D. Nino-Liu., and G. Lin. 2002. Identification of QTLs for early blight (*Alternaria solani*) resistance in tomato using backcross populations of a *Lycopersicon esculentum* x *L. hirsutum* cross. *Theoretical and Applied Genetics*. 104(7):945-958.
- Fraser, P.D., E.M. Enfissi., and P.M. Bramley. 2009. Genetic engineering of carotenoid formation in tomato fruit and the potential application of systems and synthetic biology approaches. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 483(2):196-204.
- García J., A., A. Probanza., B. Ramos., R. Palomino M., y F.J. Gutiérrez M. 2004. Effect of inoculation of *Bacillus licheniformis* on tomato and pepper. *Agronomie*. 24(4):169-176.
- Gerling, D., O. Alomar and J. Arnò. 2001. Biological control of *Bemisia tabaci* using predators and parasitoids. *Crop Protection*. 20(9):779-799.
- Ghehsareh, A.M., N. Samadi and H. Borji. 2011. Comparison of date-palm wastes and perlite as growth substrates on some tomato growing indexes. *African Journal of Biotechnology*. 10(24):481-498.
- González R., G., B. Espinosa P., P. Cano R., A. Moreno R., L. Leos E., H. Sánchez G., y M. Sáenz J. 2018. Influencia de rizobacterias en la producción y calidad nutracéutica de tomate bajo condiciones de invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 9(2):367-379.
- Goykovic-Cortés., V., y G. Saavedra R. 2007. Algunos efectos de la salinidad en el cultivo de tomate y prácticas agronómicas de su manejo. *IDESIA (Chile)*. 25(3):47-58.

- Grageda-Cabrera., O.A., S.S. González F., J.A. Vera N., J.F. Aguirre M., y J.J. Peña C. 2018. Efecto de los biofertilizantes sobre la asimilación de nitrógeno por el cultivo de trigo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 9(2):281-289.
- Hernández-Rodríguez., A., M. Heydrich P., M.G. Velázquez V., y A.N Hernández L. 2006. Perspectivas del Empleo de Rizobacterias Como Agentes de Control Biológico en Cultivos de Importancia Económica. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 24(1):42-49.
- Graves, C. 1983. The nutrient Film Technique. *Horticultural Reviews*. 5(1):43-58.
- Guzmán-Plazola., R. A., M. L. Fajardo F., R. García E., y M. A. Cadena H. 2011. Desarrollo epidémico de la cenicilla y rendimiento de tres cultivares de tomate en la comarca lagunera, Coahuila, México. *Agrociencia*. 45(3):363-378.
- Haas, B.J., S. Kamoun., M.C. Zody., R.H. Jiang., R.E. Handsaker., L.M. Cano and T.O. Bozkurt. 2009. Genome sequence and analysis of the Irish potato famine pathogen *Phytophthora infestans*. *Nature*. 41(7):393.
- Hernández-Martínez., J., R. García M., A. Vaca., R. Valdivia A., y J. Omaña S. 2004. Evolución de la competitividad y rentabilidad del cultivo del tomate rojo (*Lycopersicon esculentum* L.) en Sinaloa, México. *Agrociencia*. 38(4):431-436.
- Hernández, A., N. Rives., A. Caballero., A.N. Hernández., y M. Heydrich. 2004. Caracterización de rizobacterias asociadas al cultivo del maíz en la producción de metabolitos del tipo AIA, sideróforos y ácido salicílico. *Revista Colombiana de Biotecnología*. 6(1):6-13.
- Hernández B., A., M. Rodriguez D., M. Barrios R., A.V. Rodriguez T., y L. Guerrero Z. 2011. Análisis de la diversidad microbiana de la rizosfera de tres especies

- vegetales de un suelo contaminado con hidrocarburos del petróleo y su potencial rizoremediador. *Rev Latinoam Biotecnol Amb Algal*. 2(1):1-17.
- Hernández M., I., y M. Chailloux. 2004. Las micorrizas arbusculares y las bacterias rizosféricas como alternativa a la nutrición mineral del tomate. *Cultivos Tropicales*. 25(2):5-12.
- Hochmuth, G.J., and R.C. Hochmuth. 1996. Keys to successful tomato and cucumber production in perlite media. University of Florida. 1(1):9-12.
- Inden, H., y A. Torres. 2001. Comparison of four substrates on the growth and quality of tomatoes. *International Symposium on Growing Media and Hydroponics*. 644(1):205-210.
- Islam, M.R., Y.T. Jeong., Y.S. Lee and C.H. Song. 2012. Isolation and Identification of Antifungal Compounds from *Bacillus subtilis* C9 Inhibiting the Growth of Plant Pathogenic Fungi. *Mycobiology*. 40(1):59-66.
- Jaramillo, R.I. 2011. La micorriza arbuscular (MA) centro de la rizósfera: comunidad microbiológica dinámica del suelo. *Revista Contactos*. 81(1):17-23.
- Jensen, S.E. 2000. Insecticide resistance in the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*. *Integrated Pest Management Reviews*. 5(2):131-146.
- Juárez-Maldonado., A., K. Alba R., A. Zermeño G., H. Ramírez., y A. Benavides M. 2015. Análisis de crecimiento del cultivo de tomate en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 6(5):943-954.
- Judelson, H.S., A.M. Ah-Fong., G. Aux., A.O. Avrova., C. Bruce., C. Cakir and H.J. Meijer. 2008. Gene expression profiling during asexual development of the late blight pathogen *Phytophthora infestans* reveals a highly dynamic transcriptome. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 21(4):433-447.

- Kang, L., B. Chen., J.N. Wei and T.X. Liu. 2009. Roles of thermal adaptation and chemical ecology in *Liriomyza* distribution and control. *Annual Review of Entomology*. 54(1):127-145.
- Kang, S.M., A.L. Khan., M. Hamayun., J. Hussain., G.J. Joo., Y.H. You and I.J. Lee 2012. Gibberellin-producing *Promicromonospora* sp. SE188 improves *Solanum lycopersicum* plant growth and influences endogenous plant hormones. *The Journal Microbiology*. 50(6):902-909.
- Khalid, A., M. Arshad and Z.A. Zahir. 2006. Phytohormones: microbial production and applications. In *Biological Approaches to Sustainable Soil Systems*. 1(1): 207-220.
- Kloepper, J.W., R. Lifshitz and R.M. Zablotowicz. 1989. Free-living bacterial inocula for enhancing crop productivity. *Trends in Biotechnology*. 7(1)(39-44).
- Knapp, S., and I.E. Peralta. 2016. The Tomato (*Solanum lycopersicum* L., Solanaceae) and Its Botanical Relatives. *Springer nature*. 1(1):7-21.
- Kumar, S., R. Singh., P.L. Kashyap and A.K. Srivastava. 2013. Rapid detection and quantification of *Alternaria solani* in tomato. *Scientia horticulturae*. 151(1):184-189.
- Lara, H.A. 1999. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra Latinoamericana*. 17(3):221-229.
- Liu, Y.C. 2004. Molecular identification of a plant quarantine pest (*Frankliniella occidentalis*) by one-tube nested PCR targeting ribosomal DNA internal transcribed spacer regions. *Plant Protection Bulletin (Taipei)*. 46(1):27-46.
- Lugtenberg, B., and F. Kamilova. 2009. Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annual Review of Microbiology*. 63(1):541-556.

- Luna-Cruz., A., J.R. Lomeli F., E. Rodríguez L., L.D. Ortega A., y A. Huerta P. 2011. Toxicidad de cuatro insecticidas sobre *Tamarixia triozae* (Burks) (Hymenoptera: Eulophidae) y su hospedero *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae). *Acta Zoológica Mexicana*. 27(3):509-526.
- Luna-Guevara., M.L., y A. Delgado A. 2014. Importancia, contribución y estabilidad de antioxidantes en frutos y productos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista de Investigación y Difusión Científica Agropecuaria*. 18(1):51-66.
- Maheshwari, D. K. (2011). *Bacteria in agrobiolgy: plant growth responses*. Springer Science. 1(1):131-165.
- Marcelis, L.M. 1996. Sink strength as a determinant of dry matter partitioning in the whole plant. *Journal of Experimental Botany*. 1(1):121-129.
- Márquez-Hernández., C., P. Cano-Ríos., Y. Chew-Madinaveitia., A. Moreno-Reséndez., y N. Rodríguez-Dimas. 2006. Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 12(2):183-188.
- Martínez-Gutiérrez., G.A., Y.A. Ortiz-Hernández., y R. López-Pozos. 2012. Oxigenación de la solución nutritiva recirculante y su efecto en tomate y lechuga. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 35(5):49-52.
- Mena-Violante., H.G., A. Cruz-Hernández., O. Paredes-López., M.A. Gómez-Lim., y V. Olalde-Portugal. 2009. Cambios relacionados con textura de frutos y mejoramiento de la vida de anaquel por la inoculación de raíces de tomate con *Bacillus subtilis* BEB-13BS. *Agrociencia*. 43(1):559-567.
- Mena-Violante., H.G., y V. Olalde-Portugal. 2007. Alteration of tomato fruit quality by root inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): *Bacillus subtilis* BEB-13bs. *Scientia Horticulturae*. 113(1):103-106.

- Molina-Romero., D., M.R. Bustillos-Cristales., O. Rodríguez-Andrade., M.G. Elisabeth., Y. Santiago-Saenz., M. Castañeda-Lucio., y J. Muños-Rojas. 2015. Mecanismos de fitoestimulación por rizobacterias, aislamientos en América y potencial biotecnológico. *Biológicas*. 17(2):24-34.
- Moreno R., A., J. Aguilar D., y A. Luévano G. 2011. Características de la agricultura protegida y su entorno en México. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 15(29):763-774.
- Nuño Moreno. 2007. Manuel de producción de tomate rojo bajo condiciones de invernadero para el valle de Mexicali, Baja California. Baja California, México. p. 13.
- Oliveira, M.V., T.E. Henneberry and P. Anderson. 2001. History, current status, and collaborative research projects for *Bemisia tabaci*. *Crop protection*. 20(9): 709-723.
- Orberá T., M., M.J. Serrat., y E. Ortega. 2014. Potencialidades de la cepa SR/B-16 de *Bacillus subtilis* para el control de enfermedades causadas por hongos en cultivos de interés agrícola. *Biotecnología Aplicada* 31(1):7-12.
- Ordookhan, K., K. Khavazi., A. Moezzi and F. Rejali. 2010. Influence of PGPR and AMF on antioxidant activity, lycopene and potassium contents in tomato. *African Journal of Agricultural Research*. 5(10):108-116.
- Orozco, P. (1995). Impacto ambiental de los fertilizantes en la agricultura con énfasis en el cultivo de la papa. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria*.1(1):37-57.
- Ortega-Martinez., L.D., J. Sánchez-Olarte., J. Ocampo-Mendoza., E. Sandoval-Castro., B.A. Salcido-Ramos., y F. Manzo-Ramos. 2010. Efecto de diferentes

- sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* L) bajo condiciones de invernadero. Ra Ximhai. 6(3):339-346.
- Ortega M., D., V. Martínez C., J. Ocampo M., E. Sandoval C., y B. Pérez A. 2016. Eficiencia de sustratos en el sistema hidropónico y de suelo. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 7(3):643-653.
- Parrella, M.P. and C.B. Keil. 1984. Insect pest management: the lesson of *Liriomyza*. Bulletin of the ESA. 30(2):22-25.
- Peralta, I.E., S. Knapp and D.M. Spooner. 2005a. New Species of Wild Tomatoes (*Solanum* Section *Lycopersicon*: Solanaceae) from Northern Peru. Systematic Botany. 30(2):424-434.
- Peralta, I.E., and D.M. Spooner. 2005b. Morphological characterization and relationships of wild tomatoes (*Solanum* L. Sect. *Lycopersicon*). Monographs In Systematic Botany. 104(1):227.
- Perea E. 2011. Alto crecimiento de agricultura protegida; hay desorden y abandono regional. <http://imagenagropecuaria.com/articulos>. Consulta Febrero de 2019.
- Espinoza, P., H. Adulfo., M.J. Chávez., F.G. Carrillo., R. Mendoza., M. Nieves., y H.R. Ascencio. 2017. Fertilización foliar en el rendimiento y calidad de tomate en hidroponia bajo invernadero. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 8(2):333-343.
- Pineda-Pineda., J., C.F. Sanchez., A. Ramirez-Arias., A.M. Castillo-González., L.A. Valdes-Aguilar., y E.C. Moreno-Perez. 2012. Aserrín de pino como sustrato hidropónico. i: variación en Características físicas durante cinco ciclos de cultivo. Revista Chapingo Serie Horticultura. 18(1):95-111.
- Prado, J. (2002). Tipos y especificaciones de calidad en cultivo de tomate. Vida rural. 148(1).100-124.

- Preciado-Rangel, P., G.A. Baca-Castillo., J.L. Tirado-Torres., J. Kohashi-Shibata., L. Tijerina-Chávez., y A. Martínez-Garza. 2003. Presión Osmótica de la solución nutritiva y la producción de plántulas de melón. *Terra Latinoamericana*. 21(4):461-470.
- Preciado R., P., M. Fortis H., J.L. García H., O. Rueda P., R. Esparza P., A. Lara H., y A. Orozco V. 2011. Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero. *Interciencia*. 36(9): 689-693.
- Quintero C., M.F., C.A. González M., y J.M. Guzmán P. 2011. Sustratos para cultivos hortícolas y flores de corte. En: Flórez R., V.J. (Ed.). *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo*. Universidad Nacional de Colombia. 1(1):79-108.
- Rojas-Solís, D., M. Contreras P., y G. Santoyo. 2013. Mecanismos de del crecimiento. *Biológicas*. 15(2):36-41.
- Rosa-Rodríguez., R.L., A. Lara-Herrera., L.E. Padilla-Bernal., J.J. Avelar-Mejía., y M.P. España-Luna. (2018). Proporción de drenaje de la solución nutritiva en el rendimiento y calidad de tomate en hidroponía. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 9(1)43-56.
- Rotenberg, D., N. Krishna Kumar., D.E. Ullman., M. Montero A., D.K. Willis., T.L. German and A.E. Whitfield. 2009. Variation in Tomato spotted wilt virus titer in *Frankliniella occidentalis* and its association with frequency of transmission. *Phytopathology*. 99(4):404-410.
- Rueda P., E.O., J. Ortega G., J.M. Barrón H., J. López E., B. Murillo A., L.G. Hernández., y R.D. Valdez D. 2015. Los fertilizantes biológicos en la agricultura. *Invurnus*. 10(1):10-17.

- Ruiz-Cisneros, M.F., J.J. Ornelas-Paz., G.L. Olivas-Orozco., C.H. Acosta-Muñiz., D.R. Sepulveda-Ahumada., P.B. Zamudio-Flores., y C. Rios-Velasco. 2019. Effect of *Bacillus* strains alone and in interaction with phytopathogenic fungi on plant growth and tomato fruit quality. *Revista Bio Ciencias*. 6(1):1-17.
- Salas., J.A., M.E. Sanabria., y R. Pire. 2001. Variación en el índice y densidad estomática en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) sometidas a tratamientos salinos. *Bioagro*. 13(3):99-104.
- Sánchez., J.M., J.A. Mejía C., A. Hernandez L., N.A. Peña., y A. Carballo C. 2007. Acondicionamiento Osmótico de semillas de tomate cáscara. *Agricultura Técnica en México*. 33(2):115-123.
- Sánchez L., D.B., R.M. Gómez B., M.F Garrido R., y R.R. Bonilla, B. 2012. Inoculación con bacterias promotoras de crecimiento vegetal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3(7):124-141.
- Sarbadhikary, S.B., and N.C. Mandal. 2017. Field application of two plant growth promoting rhizobacteria with potent antifungal properties. *Rhizosphere*. 3(1): 170-175.
- Santiago, J., y F. Borrego. (1998). Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana*. 1(1):59-65.
- SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2016. <https://www.siapgob.mx/>. Consulta marzo de 2019.
- Spletzer, M.E., and A.J. Enyedi. 1999. Salicylic acid induces resistance to *Alternaria solani* in hydroponically grown tomato. *Phytopathology*. 89(9):722-727.
- Stavisky, J., J. Funderburk., B.V. Brodbeck., S.M. Olson and P.C. Andersen. 2002. Population dynamics of *Frankliniella* spp. and tomato spotted wilt incidence as

- influenced by cultural management tactics in tomato. *Journal of Economic Entomology*. 95(6):108-122.
- Steiner, A.A. (1961). A universal method for preparing nutrient solution of a certain desired composition. *Plant and Soil*. 15(2):134-154.
- Szmidt, R.K., D.A. Hall and G.M. Hitchon. 1987. Development of perlite culture systems for the production of greenhouse tomatoes. In *Symposium on Horticultural Substrates and their Analysis*. *Acta Hortic*. 221(1):371-378.
- Terry, A.E., and G.A Leyva. 2006. Evaluación agrobiológica de la coinoculación Micorrizas- Rizobacterias en Tomate. *Agronomía Costarricense*. 30(1):65-73.
- Terry, A.E., M.A. Pino., y N. Medina. 1998. Efectividad Agronómica de Azofert y Economic en el cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill). *Cultivos Tropicales*. 19(3):33-33.
- Terry Alfonso., E., J. Ruiz P., y Y. Carillo S. 2018. Efecto de diferentes manejos nutricionales sobre el rendimiento y calidad de frutos de tomate. *Agronomía Mesoamericana*. 29(2):389.
- Terry, E., A. Leyva., y M.M. Díaz. 2005. Uso combinado de microorganismos benéficos y productos bioactivos como alternativa para la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill). *Cultivos Tropicales*. 26(3):77-81.
- Tian, M., E. Huitema., L. Cunha., T. Torto and S. Kamoun. 2004. A Kazal- like extracellular serine protease inhibitor from *Phytophthora infestans* targets the tomato pathogenesis-related protease P69B. *Journal of Biological Chemistry*. 279(25):221-263.
- USDA. (1991). United States Department of Agriculture. United States Standards for Grades of Fresh Tomatoes. <https://www.ams.usda.gov/>. Consulta marzo de 2019.

- Vacheron, J., G. Desbrosses., M.L. Bouffaud., B. Touraine and C. Prigent. 2013. Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning.. *Frontiers in Plant Science*. 4(1):356.
- Van Haeff, J.M. 1983. Manual para la educación agropecuaria. Tomate. 3. ed. Editorial trillas. México, D.F. pp. 11-16
- Vega-Celedón., P., M.H. Canchignia., M. González., y M. Seeger. 2016. Biosíntesis de Ácido Indol-3-Acético y promoción del crecimiento de plantas por bacterias. *Cultivos Tropicales*. 37(1):33-39.
- Vega-Gutiérrez., M.T., J.C. Rodríguez-Maciel., O. Díaz-Gómez., R. Bujanos-Muñiz., D. Mota-Sánchez., J.L. Martínez-Carrillo., y J.A. Garzón-Tiznado. 2008. Susceptibilidad a insecticidas en dos poblaciones mexicanas del salerillo, *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae). *Agrociencia*. 42(4):463-471.
- Vessey, K.j. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*. 255(2):571-586.
- Weese, T.L., and L. Bohs. 2007. A Three-Gene Phylogeny of the Genus *Solanum* (*Solanaceae*). *Systematic Botany*. 32(2):445-463.
- Zheng, Z., T. Nonomura., K. Bóka., Y. Matsuda., R.G. Visser., H. Toyoda and Y. Bai. 2013. Detection and quantification of *Leveillula taurica* growth in pepper leaves. *Phytopathology*. 103(6):623-632.