

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Inoculación de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal en la producción del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo invernadero.

Por:

ABRIL HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

TESIS

Como requisito parcial para obtener el grado de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Torreón, Coahuila, México

Noviembre, 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRÓNOMICAS

Inoculación de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal en la producción del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo invernadero.

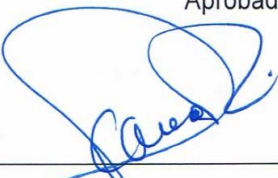
Por:

ABRIL HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ


TESIS QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:


INGENIERO AGRÓNOMO

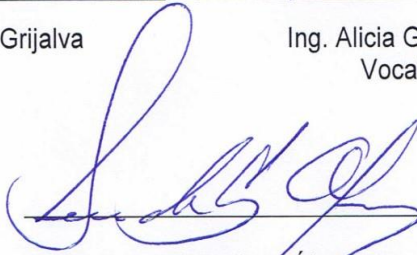
Aprobado por el Jurado Examinador:


Ph.D. Pedro Cano Ríos
Presidente


Dr. Alejandro Moreno-Reséndez
Vocal


Dra. Oralia Antuna Grijalva
Vocal


Ing. Alicia García Moreno
Vocal Suplente


Dr. Isaías de la Cruz Álvarez
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRÓNOMICAS

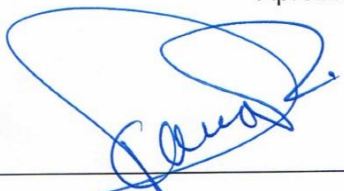
Inoculación de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal en la producción del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo invernadero.

Tesis

Elaborada por ABRIL HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ como requisito parcial para obtener el grado de:

INGENIERO AGRÓNOMO


Aprobada por el Comité de Asesoría



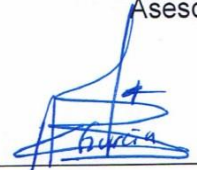
Ph.D. Pedro Cano Ríos
Asesor Principal



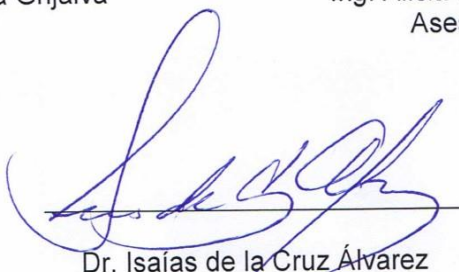
Dr. Alejandro Moreno-Reséndez
Asesor



Dra. Oralia Antuna Grijalva
Asesor



Ing. Alicia García Moreno
Asesor



Dr. Isaías de la Cruz Álvarez
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas

Universidad Autónoma Agraria
ANTONIO NARRO



COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN
DE CARRERAS AGRÓNOMICAS

Torreón, Coahuila, México

Noviembre, 2021

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Por darme la oportunidad de pertenecer a una gran institución la cual me dejó grandes aprendizajes y por el apoyo en toda mi estancia como alumna.

De manera muy especial al Ph.D. Pedro Cano Ríos, un maestro e investigador de una gran calidad y además excelente persona. Gracias por el apoyo, paciencia, orientación y consejos brindados a pesar de todas las circunstancias presentadas durante la investigación, solo puedo decir gracias.

Al Dr. Alejandro Moreno Reséndez, gracias por su completa disposición, orientación y su gran apoyo para la realización de esta investigación.

Al Dr. Uriel Figueroa Viramontes, gracias por su tiempo, apoyo y orientación brindados durante la revisión de tesis.

A los maestros que me apoyaron y me dejaron grandes aprendizajes durante mi estancia en la Universidad.

A mis amigas Luz y Karla, por sus consejos y apoyo durante este proceso.

Y finalmente a todas las personas quienes me brindaron su tiempo, apoyo y sobre todo su amistad para completar mi último proceso dentro de esta institución. Muchas gracias.

DEDICATORIAS

Primeramente, a Dios porque él fue quien me dio la vida, afecto y sabiduría lo cual me permitió llegar hasta este punto de mi vida y de mi carrera.

A mis padres, mi madre Norma Leticia Hernández Carrillo y mi padre Antonio Hernández Ortega, por haberme regalado una vida tan maravillosa, por llevarme siempre de la mano a cualquier lugar desconocido, por su amor, cariño, paciencia y confianza, gracias a ustedes he aprendido a superarme y ser alguien en la vida. Esto es por ustedes, les agradezco eternamente. Los amo con todo mi corazón.

A mis hermanos, José Antonio y especialmente a mi hermana Norma Zaynithe Hernández Hernández por su cariño, confianza y apoyo incondicional en todo momento, eres y siempre serás esa inspiración en mi vida, más que mi hermana eres mi mejor amiga, mi cómplice y mi confidente, lo mejor que la vida me pudo haber dado. Los amo.

A mis sobrinas, Kimberly Guadalupe y Zoe por ser esas personitas que siempre me sacan una sonrisa y lo mejor de mis todos los días, su inmenso amor y cariño fue lo que me ayudo a estar aquí. Las amo con todo mi ser.

En general a toda mi familia quienes me han dado su apoyo y amor incondicional, gracias por creer en mí. Los amo.

RESUMEN

Se realizó un estudio con rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (RPCV) en el cultivo de tomate (*Solanum Lycopersicum* L.), donde el objetivo fue incrementar el rendimiento y la calidad. El experimento se llevó a cabo en el periodo otoño-invierno del año 2019, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Torreón, Coahuila, México. Se evaluaron dos RPCV (*Bacillus* sp. y *Pseudomonas lini*.) inoculadas de manera individual en dos sustratos: compost (50%) + arena (40%) + perlita (10%) y arena (100%) bajo condiciones de invernadero. El diseño experimental utilizado fue en bloques al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones y un arreglo factorial de 2x2 en donde el factor "A" correspondió a las dos RPCV y el factor "B" a los dos sustratos orgánicos. Las variables evaluadas fueron: rendimiento, altura de planta, número de lóculos, espesor de pulpa, consistencia de fruto y sólidos solubles. Los datos obtenidos fueron analizados estadísticamente por medio de análisis de varianza y comparación de medias, usando una diferencia significativa mínima al 5% (DMS). Los tratamientos con sustrato de compost + arena + perlita obtuvieron el mayor rendimiento, con valores de 85.63 t·ha⁻² al inocular la bacteria *Bacillus* sp. y 85.37 t·ha⁻² al inocular *Pseudomonas lini*. En los valores obtenidos para la calidad de fruto en la variable de diámetro ecuatorial y número de lóculos mostraron efecto significativo en el factor de sustrato, para la variable diámetro ecuatorial mostró una media de 47.32 mm al usar 100% arena lo cual resultó mayor al sustrato compuesto y para la variable número de lóculos una media de 2.06 al utilizar 100% arena, mayor al sustrato compuesto; la variable espesor de pulpa presentó un efecto significativo para la interacción, en el tratamiento 1 (compost + arena + perlita + *Bacillus* sp.) con 6.34 mm y en el tratamiento 4 (arena + *Pseudomonas lini*.) con 6.37 mm. Estos resultados permiten saber que el uso de las RPCV inoculadas en sustrato orgánico incrementar el rendimiento y la calidad el tomate; por lo cual se considera una alternativa viable para la producción de tomate bajo invernadero.

Palabras clave: Agricultura protegida, Compost, Calidad, Sustrato orgánico, Tomate

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	ii
RESUMEN	iii
ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE APÉNDICE	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo	3
1.2 Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Importancia del tomate	4
2.1.1 Nivel mundial	4
2.1.2 Importancia del tomate a nivel nacional	4
2.2 Rizosfera	5
2.3 Importancia de las rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (RPCV)	5
2.4 Efecto de las rizobacterias	6
2.4.1 Fijación de nitrógeno	7
2.4.2 Solubilización de fosfatos	8
2.5 Abonos orgánicos	9
2.5.1 Compostaje	10
2.6 Antecedentes de RPCV	11
2.6.1 Biofertilizantes a base de rizobacterias	11
2.6.2 Inoculación de rizobacterias con hongos micorrizogenos arbusculares	12
2.6.3 Rizobacterias utilizadas para el control de patógenos	14
2.6.4 Rizobacterias utilizadas para aumentar el crecimiento y productividad	17
2.6.5 Rizobacterias con sustrato	20
2.6.6 Bacterias con efecto en la fijación de nitrógeno y solubilización de fósforo	21
2.6.7 Bacterias con efecto en la fijación de nitrógeno	21
2.6.8 Bacterias con efecto en solubilización de fósforo	22
2.6.9 Otros estudios realizados en microorganismos	22
III. MATERIALES Y MÉTODOS	25

3.1.- Ubicación geográfica del experimento	25
3.2.- Clima	25
3.3.- Diseño experimental.....	25
3.4.- Preparación de la unidad experimental	25
3.5 Siembra y trasplante	26
3.6.- Riegos y fertilización.....	27
3.7.- Manejo del cultivo	28
3.7.1 Poda	28
3.7.2 Entutorado	29
3.7.3.- Polinización	29
3.8.- Organismos dañinos en el ciclo del tomate	29
3.8.1.- Plagas.....	29
3.9.- Variables evaluadas.....	30
3.10.- Análisis estadístico.	30
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
4.1.- Rendimiento total.....	31
4.2.- Altura.....	32
4.3.- Calidad del fruto	33
4.3.1.- Diámetro polar	33
4.3.2.- Diámetro ecuatorial.....	34
4.3.3.- Número de lóculos	35
4.3.4 Espesor de pulpa.....	36
4.3.5.- Consistencia de fruto	37
4.3.6.- Sólidos solubles (°Brix).....	38
V. CONCLUSIONES.....	40
VI. BIBLIOGRAFÍA.....	41
VII. APÉNDICE.....	51

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tratamientos evaluados con base en la combinación de dos sustratos y dos RPCV inoculadas en tomate, bajo condiciones de invernadero, en el periodo agosto-febrero 2019-2020. UAAAN-UL.....	26
Cuadro 2. Solución nutritiva utilizada en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.....	28
Cuadro 3. Variables de altura y rendimiento total de tomate en dos sustratos y dos rizobacterias en condiciones de invernadero en el periodo 2019-2020 en la Comarca Lagunera UAAAN-UL 2019.	33
Cuadro 4. Variables de diámetro polar y diámetro ecuatorial en condiciones de invernadero en el periodo 2019-2020 en la Comarca Lagunera UAAAN-UL 2019.	35
Cuadro 5. Variables de número de lóculos y espesor de pulpa bajo condiciones de invernadero en el periodo 2019-2020 en la Comarca Lagunera UAAAN-UL 2019.	37
Cuadro 6. Variables de Consistencia de frutos y Sólidos Solubles (°Brix) en condiciones de invernadero en el periodo 2019-2020 en la Comarca Lagunera UAAAN-UL 2019.....	39

ÍNDICE DE APÉNDICE

Cuadro A1. Análisis de varianza para la variable diámetro polar, a través de la bacteria y sustrato estudiado. UAAAN-UL 2020.	51
Cuadro A2. Análisis de varianza para la variable diámetro ecuatorial, a través de la bacteria y sustrato estudiado. UAAAN-UL 2020.....	51
Cuadro A3. Análisis de varianza para la variable consistencia de fruto, a través de la bacteria y sustrato estudiado. UAAAN-UL 2020.....	51
Cuadro A4. Análisis de varianza para la variable número de lóculos, a través de la bacteria y sustrato estudiado. UAAAN-UL 2020.....	52
Cuadro A5. Análisis de varianza para la variable espesor de pulpa, a través de la bacteria y sustrato estudiado. UAAAN-UL 2020.....	52
Cuadro A6. Análisis de varianza para la variable sólidos solubles (°Brix), a través de la bacteria y sustrato estudiado. UAAAN-UL 2020.....	52
Cuadro A7. Análisis de varianza para la variable altura, a través de la bacteria y sustrato estudiado. UAAAN-UL 2020.....	53
Cuadro A8. Análisis de varianza para la variable rendimiento, a través de la bacteria y sustrato estudiado. UAAAN-UL 2020.	53

I. INTRODUCCIÓN

La agricultura es una actividad de gran importancia a nivel global, ya que contribuye a la economía y a la alimentación de los países. En México, la producción de tomate es una de las actividades más importantes por su alto valor de producción porque requiere gran mano de obra y es una de las principales hortalizas de exportación además de que representa un 70% del espacio destinado a la agricultura protegida dentro del país (Álvarez, *et al.*, 2017; Espinoza *et al.*, 2017).

Sin embargo, es uno de los cultivos con mayor pérdida de producción hasta en un 50% por factores físicos y biológicos (Ruiz, *et al.*, 2012), es por esa razón que en la actualidad los productores optan por buscar alternativas a base de microorganismos y componentes orgánicos con el fin de incrementar los rendimientos en la producción del cultivo bajo invernadero y en campo abierto, además de contribuir al manejo de la agricultura sustentable. Una alternativa utilizada por los productores es el uso de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV) y sustratos a base de compost para obtener frutos de mejor calidad (Espinoza *et al.*, 2017).

Entre los géneros más conocidos de estas bacterias, se encuentran *Azotobacter*, *Beijerinckia*, *Derrxia*, *Azospirillum*, *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Metanobacterium*, *Clostridium* y *Desulfovibrio* (Díaz *et al.* 2001; Ramírez *et al.*, 2014), Las rizobacterias son utilizadas para estimular el crecimiento vegetal de forma indirecta eliminando fitopatógenos y de forma directa favoreciendo la disponibilidad de nutrientes en el suelo, síntesis de fitohormonas (auxinas, giberelinas y citocinas), producción de nitritos, entre otros (Esquivel *et al.*, 2013). Por lo tanto, en la agricultura moderna se considera importante por todos los beneficios que ofrece en cultivos. Produciendo además plantas vigorosas y ayudando a la economía (Martínez *et al.*, 2013).

Por otra parte, la combinación de RPCV con sustrato a base de compost tiene un mayor resultado por la estimulación que se genera y también es

considerado como alternativa en la producción de cultivos bajo invernadero como lo es el tomate, porque incrementa la calidad del fruto y reduce los problemas por patógenos; lo anterior se debe a que el compost utilizado como abono orgánico produce un mayor desarrollo de la planta al mejorar las propiedades físicas y químicas de la rizosfera, aporta elementos nutritivos, como N, P, Ca, Mg, además de hormonas promotoras del crecimiento (Dimas *et al.*, 2009 y Espinoza *et al.*, 2017).

1.1 Objetivo

Incrementar el rendimiento y la calidad de tomate en invernadero, mediante el uso de rizobacterias y sustratos orgánicos.

1.2 Hipótesis

Las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal inoculadas al cultivo de tomate, en conjunto con sustratos orgánicos, aumentan el rendimiento y la calidad del fruto de tomate.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia del tomate

2.1.1 Nivel mundial

El cultivo de tomate es considerado la hortaliza más producida a nivel mundial hasta en un 50% por su valor económico, ya que genera empleo, además de ser parte de la alimentación de las personas por ser fuente de minerales y vitaminas. Cada año el rendimiento de dicho cultivo aumenta en una menor superficie por la demanda que genera. A pesar de ser cultivado en distintas zonas del mundo en las cuales el clima y el tipo de suelo varían se adapta mejor a climas secos (Monardes, 2009; Álvarez *et al.*, 2017; Espinosa *et al.*, 2017). Los principales productores en 2014 fueron China 19.8%, India 18.8%, Nigeria 10.8% y Turquía 6.4%, México termino por posicionarse en el décimo lugar con 1.9% (FIRA, 2017).

2.1.2 Importancia del tomate a nivel nacional

México se considera como uno de los países con más producción en el cultivo de tomate ya que la superficie protegida destinada para su producción es de un 70%, además de ser el principal exportador (Ruiz *et al.*, 2012; Álvarez *et al.*, 2017; Espinosa *et al.*, 2017; FIRA, 2017). La producción sigue en aumento por la demanda del fruto y cada año se encuentran problemas por factores físicos y biológicos, lo que ocasiona una pérdida de hasta un 50% en la producción total (Ruiz *et al.*, 2012). Es por esta razón que los productores buscan actualizarse para aumentar la producción y la calidad del fruto, modificando los sistemas de riego, nutrición y teniendo un mejor manejo fitosanitario (FIRA, 2017).

Los principales estados productores de México en 2016 se posicionaron de la siguiente manera: Sinaloa 27.6%, San Luis Potosí 9.2%, Michoacán 7.0%, Baja California 6.7% y Zacatecas 5.7% (FIRA, 2017).

2.2 Rizosfera

El suelo se considera un área homogénea por las propiedades químicas, biológicas y físicas. Dichas propiedades en condiciones naturales se mantienen en equilibrio y ahí se encuentra una diversidad de microorganismos que varían según la especie vegetal. Dentro del área del suelo se encuentra la zona de la rizosfera, una región importante por su alta cantidad de actividad microbiana. La interacción entre microorganismos puede ser benéfica, neutra o perjudicial; los benéficos, como las rizobacterias localizadas en la zona de la raíz de las plantas, aceleran procesos bioquímicos que a su vez ayudan al crecimiento de la planta, además de incrementar elementos químicos que la planta pueda utilizar para continuar desarrollándose o bien para protegerse de patógenos. (Díaz *et al.*, 2001; Reyes y Valery, 2007; Esquivel *et al.*, 2013; González *et al.*, 2018).

Los microorganismos que se encuentran en la zona de la rizosfera se conocen por disponer compuestos que son exudados de las plantas, los cuales llegan a tener de entre 10 a 44% del carbono asimilado, lo que ocasiona el crecimiento en la población de los microorganismos. Entre éstos se encuentran las bacterias diazotróficas que son de importancia en el sector agrícola por la producción de fitohormonas, como son las auxinas, citocininas y giberelinas que ayudan al desarrollo del cultivo, con lo que se incrementa la producción al tener efecto en la raíz, asimilación de nutrientes, resistencia a estrés osmótico, solubilización de fosfatos, entre otros (Reyes y Valery, 2007).

2.3 Importancia de las rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (RPCV)

En los últimos años ha aumentado la investigación para el uso de algunas bacterias, como promotoras de crecimiento de cultivos agrícolas. Estas bacterias promotoras de crecimiento vegetal (BPCV) se aplican a la raíz, o tubérculos de la planta, debido a que tienen la capacidad de colonizar la raíz, estableciendo

interacciones bioquímicas de naturaleza simbiótica, que resultan benéficas para ambos organismos. Las bacterias estimulan el crecimiento de la planta incrementando el rendimiento, aunque pueden tener efectos directos e indirectos (Díaz *et al.*, 2001).

Las rizobacterias han provocado un efecto en beneficio hacia las plantas por ser promotoras de crecimiento vegetal, son llamadas también por sus siglas en inglés *PGPR*. Muchas de las rizobacterias han sido usadas como inoculantes microbianos en la agricultura para aumentar el desarrollo y rendimiento de los cultivos (Esquivel, *et al.*, 2013). Dichas rizobacterias producen ácidos orgánicos como glicólico, oxálico, malónico y succínico, que aumentan la disponibilidad de nutrientes como el fósforo (P) y potasio (K) ya que son capaces de solubilizar los fosfatos del suelo; además, aumentan la disponibilidad de micronutrientes como el hierro, en la zona de la rizosfera, también forman sideróforos, los cuales captan el hierro y lo vuelven quelato, que es una forma en que la planta lo puede asimilar (Holguin *et al.*, 2002; Luna *et al.*, 2013.; Reyes *et al.*, 2013).

Algunos autores han reportado que ciertas cepas del género *Rhizobium* se han inoculado a plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.), provocando resultados benéficos al aumentar su crecimiento, gracias a que producen un ácido llamado ácido indolacético (AIA), que es una hormona que ayuda al crecimiento de la raíz y a la producción de frutos. Otro cultivo en el cual se han inoculado cepas del género *Bacillus* spp. que al igual producen AIA es en Chile, que tuvo mismo efecto positivo al producir más frutos y con un mayor peso (Luna *et al.*, 2013).

2.4 Efecto de las rizobacterias

Las rizobacterias ejercen mecanismos directos e indirectos o una combinación de ambos, en el crecimiento de las plantas, en su metabolismo y fisiología (Molina *et al.*, 2015 y Moreno *et al.*, 2017). Los efectos directos consisten en aportar un aumento en la movilización de los nutrientes requeridos y mejor absorción de los mismos, además de producir un antibiótico que ayuda contra hongos, bacterias y virus, produciendo a su vez fitohormonas esenciales

como lo son las auxinas, giberelinas, citoquininas, etileno y ácido abscísico, además de vitaminas y enzimas, e incrementa la permeabilidad de la raíz. En cambio, el efecto indirecto consiste en el aumento de N_2 , aumento en los nódulos de las raíces y aporta una mejor resistencia sistémica en la planta. También se caracterizan por disminuir los microorganismos fitopatógenos que ocasionan la competencia de nutrientes y por consiguiente dañan el desarrollo del cultivo (Díaz *et al.*, 2001; Holguin *et al.*, 2002; Esquivel *et al.*, 2013; Reyes *et al.*, 2013; González *et al.*, 2015). Sin embargo, existe una desventaja en el efecto de las RPCV, y es que no puede tener el mismo resultado en diferente especie vegetal (Moreno *et al.*, 2017).

2.4.1 Fijación de nitrógeno

El nitrógeno (N) representa al primer elemento primario en las necesidades de las plantas porque forma parte de la estructura de los aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos y componentes celulares, sin embargo, la disponibilidad de este elemento en el suelo no es la suficiente requerida por las plantas, por ello se utilizan microorganismos que puedan ayudar a la absorción. Los microorganismos pueden ser bacterias de vida libre o aquellas que hacen simbiosis con especies vegetales, especialmente con leguminosas, para aumentar la fijación N de 24 hasta más de 584 kg/ha de nitrógeno, que ciertas plantas no pueden convertir el nitrógeno atmosférico (N_2) a amonio (NH_4^+) y necesitan la fijación biológica de nitrógeno (FBN). De esta manera, las bacterias ocasionan la reducción de N_2 y lo convierten mediante la acción enzimática de la nitrogenasa a NH_4^+ . La asociación entre bacteria y especie vegetal es de suma importancia en la agricultura ya que permite cumplir los requerimientos de nutrición del cultivo sin incrementar la dosis de sustancias sintéticas, ayudando de esta forma a reducir la contaminación del ambiente (Moreno *et al.*, 2014 y Moreno *et al.*, 2017).

Existe un gran número de bacterias que fijan N_2 , entre las que destacan más unas que otras por su capacidad de biofertilizante o promotoras de crecimiento,

producen raíces laterales y pelos radicales que ayudan a mejorar la absorción de nutrientes; entre los géneros más conocidos están *Azotobacter*, *Beijerinckia*, *Derxia* y *Azospirillum*. Las bacterias pueden ser anaerobias y aerobias. En el primer grupo se encuentran los géneros *Metanobacterium*, *Clostridium* y *Desulfovibrio*, en el segundo están *Enterobacter*, *Pseudomonas* y *Bacillus* (Díaz *et al.*, 2001; Reyes *et al.*, 2013.), además de los ya mencionados, existen otros utilizados para el mismo propósito como lo son *Agrobacterium*, *Arthrobacter*, *Burkholderia*, *Caulobacter*, *Chromobacterium*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, *Klebsiella*, *Micrococcous*, *Pantoea*, *Rhizobium* y *Serratia* (Moreno *et al.*, 2017).

2.4.2 Solubilización de fosfatos

El Fósforo (P) forma parte de los macroelementos ocupando el segundo lugar después del N. Es uno de los tres elementos esenciales que las plantas requieren en mayor cantidad porque interviene en moléculas de ARN y ADN y también en los fosfolípidos., Sin embargo, la mayoría de los suelos tienen deficiencia de este elemento, ya que se encuentra en forma insoluble, lo que ocasiona incrementar la dosis en productos sintéticos o buscar alternativas como los microorganismos, que pueden ser bacterias que ayuden a la mineralización de P orgánico mediante fosfatasas en el suelo y a la solubilización de fosfatos a través de ácidos orgánicos. De esta forma, el P puede ser absorbido por las plantas sin dificultad para cumplir con la función de desarrollo, además de que los microorganismos ayudan a la solubilización de fosfatos, aportan producción de ácido giberélico, cianuro de hidrógeno, citoquinina, etileno y resistencia a patógenos existentes en el suelo. Los géneros más utilizados de bacterias son los siguientes: *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Burkholderia*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Rhizobium*, *Erwinia*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Acinetobacter* y *Flavobacterium* entre otros (Sánchez *et al.*, 2012; Sánchez *et al.*, 2014 y Moreno *et al.*, 2017).

2.5 Abonos orgánicos

En la actualidad el uso indiscriminado de productos agrícolas a base de sustancias sintéticas ha sido una problemática grave para los productores, por la residualidad que éstos tienen, además del deterioro que ocasionan en el suelo. Por esa razón se han buscado alternativas que no dañen y que ayuden a la conservación del suelo, se ha puesto mayor atención a la agricultura sustentable y la agricultura orgánica debido a que éstas se caracterizan por emplear materiales orgánicos que utilizan para mejorar el suelo y aumentar la producción de los cultivos (Álvarez *et al.*, 2006; Rodríguez *et al.*, 2009; Saldaña *et al.*, 2014)

Los abonos orgánicos pueden abarcar desde residuos vegetales, estiércoles, lodos de aguas residuales, microorganismos etc. Dichos abonos pueden ser catalogados como fertilizantes y acondicionadores de suelo, la elección para utilizarlos depende del efecto que tiene en la nutrición vegetal (Álvarez *et al.*, 2006), que a su vez la capacidad de nutrición depende de las propiedades de materia prima, proceso de elaboración, grado de mineralización de los minerales y condiciones en campo (Saldaña *et al.*, 2014).

Los fertilizantes tienen un efecto directo ya que son fuente de nutrientes que se refleja en un lapso corto de tiempo en el crecimiento de las plantas. Los acondicionadores de suelo son aquellos que afectan indirectamente el crecimiento de las plantas, ya que mejoran las propiedades físicas del suelo como son la aireación, la retención de agua, la estructura y el drenaje, además de ayudar en la actividad microbiológica. Todos los abonos orgánicos se caracterizan por contener carbono (C) y nitrógeno (N); la relación entre ambos (C/N) determina la tasa o velocidad de descomposición. Éstos pueden aplicarse de forma directa o pasar por un proceso de compostaje, también depende de la procedencia, el manejo que se dé y la composición química. Además, los abonos orgánicos complementan la nutrición, ya que por la cantidad de elementos que contiene reduce el uso de fertilizantes sintéticos y disminuye los problemas ocasionados por patógenos. Sin embargo, puede haber reacciones negativas si

el manejo no es el adecuado al momento de la preparación, porque puede provocar fitotoxicidad mediante sustancias que inhiben la germinación y el desarrollo de las plantas (Álvarez *et al.*, 2006).

2.5.1 Compostaje

El compostaje es un proceso aerobio en el cual interviene la actividad de microorganismos con la finalidad de descomponer materia orgánica en condiciones óptimas de temperatura, humedad y oxigenación, e incluso depende del residuo y método que se utilice, con lo cual se produce CO₂, agua y calor. Los microorganismos principales en este proceso son las bacterias y los hongos que intervienen en el proceso de mineralización de la materia orgánica (Acosta *et al.*, 2006 y Escudero y Arias, 2012). Mientras ocurre el compostaje, la temperatura va cambiando de estar en temperatura ambiente pasa a estar en 40°C porque es la que requieren los microorganismos mesófilos y aumenta hasta 75°C por los termófilos, después desciende hasta un frío que requiere para su maduración. Con los cambios de temperatura también se va modificando el pH que baja a un ácido y sube hasta un alcalino y al final se establece en un neutro, que son las condiciones aptas para poder ser utilizado como compost (Escudero y Arias, 2012).

El uso de compost como abono orgánico tiene beneficios dentro de los cuales se encuentran: complemento en la nutrición de la planta, aumento en el crecimiento y desarrollo, lo que conlleva al incremento de la producción por las propiedades físicas y químicas del abono, que a su vez aportan macroelementos primarios como N, P, K, y algunos secundarios como el Mg y Ca. Una de las características del abono es que interactúa con las RPCV, estimulando su desarrollo, y de esta forma el compost es utilizado como sustrato en cultivos producidos bajo condiciones de invernadero (Espinosa *et al.*, 2017). La aplicación de abono de buena calidad aumenta la biomasa microbiana del suelo, ocasionando un mejor proceso en la respiración y en la actividad enzimática (Acosta *et al.*, 2006). Cuando el abono proviene de residuos vegetales no siempre

contiene los requerimientos esenciales de un buen abono, lo cual al utilizarlo se produce una toxicidad por falta de maduración (Escudero y Arias, 2012).

2.6 Antecedentes de RPCV

2.6.1 Biofertilizantes a base de rizobacterias

En investigaciones realizadas especialmente en el género *Pseudomonas* spp. Santillana (2006) descubrió que para la elaboración de un biofertilizante a base de esa bacteria con tres cepas, hubo que realizar tres experimentos en invernadero. El primero consistió en encontrar un medio de cultivo apropiado, el segundo la multiplicación de las bacterias y el tercero la determinación de la dosis apropiada en cultivos como, frijol maíz, papa y tomate; como resultado, obtuvo que la multiplicación tuvo una viabilidad de tres meses, la cual garantizaba su uso hasta ese periodo y en la dosis de las tres cepas utilizadas no se encontró diferencia significativa; en cuanto al cultivo de frijol y maíz se encontró diferencia significativa en cuanto a la materia seca comparada con el testigo que no tenía inoculante.

De los bioproductos que se han desarrollado a base de rizobacterias con el fin de convivir en armonía con el ambiente, Terry *et al.*, (2010) evaluaron un bioproducto elaborado a base de *Pseudomona aeruginosa* llamado Glutacid® en cultivo de tomate. El experimento constó de cinco tratamientos, cuatro con el bioproducto (5 g.L⁻¹) y el testigo sin aplicación del producto; las semillas se sumergieron en el líquido del producto entre 15 a 30 minutos y a su vez se aplicó el producto en forma foliar al cultivo, las variables evaluadas fueron crecimiento y desarrollo, y se determinó el rendimiento agrícola. Los resultados mostraron que el bioproducto fue eficiente, destacando la aplicación en la semilla ya que originó plantas más vigorosas y estimuló el crecimiento, obteniendo rendimientos aceptables.

Terry *et al.*, (2002) evaluaron el efecto agrobiológico de dos biofertilizantes, en la evaluación se estudió la influencia de la inoculación simple y combinada de

Azotobacter chroococcum y hongos formadores de micorrizas arbusculares en variables de crecimiento, desarrollo y rendimiento en distintos cultivos hortícolas como tomate, lechuga, habichuela y rabanito. Los resultados fueron exitosos con el uso de la inoculación de la rizobacteria, sin embargo, los productos a base de *Glomus clarum* y *Azotobacter chroococcum* fueron en los que obtuvo mejores resultados.

García *et al.*, (2011) estudiaron el efecto de la rizobacteria *Azospirillum brasilense* como alternativa ecológica para la producción de maíz, desarrollaron dos experimentos y evaluaron el rendimiento del grano; en los resultados no hubo diferencia significativa, sin embargo, hubo un aumento en el rendimiento de grano en comparación del testigo que no tuvo fertilización y tampoco inoculación, en conclusión, en promedio ambos experimentos aumentaron la relación beneficio/costo en un 56%.

2.6.2 Inoculación de rizobacterias con hongos micorrizogenos arbusculares

Aguirre y Espinosa (2016) hicieron el mismo proceso de mezcla entre HMA y RPCV, pero con distintos géneros; durante el desarrollo realizaron una inoculación con *Pseudomonas fluorescens*, *A. brasilenses* y posteriormente una coinoculación con *Rhizofagus intraradices* + *A. brasilense* con lo que obtuvo incremento en cuanto al número de frutos de chile jalapeño y la otra coinoculación se hizo con *R. intraradices* + *P. fluorescens* y *A. brasilense* obteniendo mayor crecimiento en el fruto.

Para la producción de chile jalapeño en invernadero Díaz *et al.* (2015), obtuvieron que al inocular HMA, en específico *R. intraradices* durante el trasplante, en comparación con las plantas no inoculadas, el resultado fue favorable a las plantas inoculadas con el hongo, ya que se incrementó la clorofila y por consiguiente el rendimiento del fruto, obteniendo contenidos altos de elementos nutritivos como N, P, Fe y Zn y los frutos tuvieron un incremento en peso de 30%.

En un estudio llevado a cabo por Alvarado *et al.* (2014) se evaluó la efectividad de HMA *R. intraradices* en plantas de tomate variedad 'El Cid', bajo condiciones de casa-sombra. Los resultados al inocular las plantas con el hongo fueron el incremento significativo en el contenido de clorofila en las hojas, la altura de planta y la colonización micorrízica en comparación con las plantas no inoculadas; también se encontró incremento en el fruto en cuanto al diámetro y peso, aumentando así su rendimiento hasta un 30%.

Díaz *et al.* (2008) realizaron una investigación en el efecto del HMA *Glomus intraradices* y una RPCV *A. brasilense* en el cultivo de sorgo en condiciones semiáridas, se utilizaron semillas inoculadas con *G. Intraradice*, *A. brasilense* y otra combinada, además de una multicepa de *A. brasilense* al año siguiente. Los resultados obtenidos fueron que las semillas con inoculación *G. Intraradice* y *A. brasilense* incrementaron de manera semejante el rendimiento y peso volumétrico del grano en el primer año, en el segundo la multicepa *A. brasilense* no tuvo efecto en las características de la planta y grano. El HMA aumento la altura de la planta, biomasa seca foliar y radicular, la longitud de la panoja y el contenido de proteína en el grano, en promedio de los dos años se registró que se obtuvo mayor altura de planta con el HMA y el aumento de rendimiento de grano fue similar con *G. intraradice* y *A. brasilense*.

Sánchez *et al.* (2008) desarrollaron un estudio sobre el cultivo de trigo para evaluar la influencia del HMA *G. intraradice* y de una rizobacteria *A. brasilense* bajo dos condiciones, en campo e invernadero. La inoculación independiente obtuvo como resultado un crecimiento en la altura de la planta, la biomasa foliar fresca y seca y la biomasa radical; además, aumentó la colonización micorrízica en todos los tratamientos con microsimbiontes. En condiciones de campo bajo dos regímenes de humedad, que fueron de temporal y con un riego de auxilio, los microsimbiontes no influyeron en el aumento de la colonización micorrízica, en las características de la planta ni en el rendimiento y calidad del grano. Los resultados en campo mostraron que el trigo solo tuvo respuesta en la aplicación de un riego de auxilio.

Reyes *et al.* (2014) trabajaron en condiciones de invernadero y evaluaron el efecto de inoculantes microbianos en plantas de chile habanero en cuanto a crecimiento, contenido nutricional en follaje y productividad, utilizando tres especies, las cuales fueron *Rhizophagus irregularis*, *Pseudomonas* spp. y *A. brasilense*. El tratamiento que se dio a las plantas durante el trasplante con *Pseudomonas* spp. generó un mejor resultado al aumentar el rendimiento, crecimiento y tamaño del fruto.

Las RPCV por sí solas pueden tener un efecto positivo en los cultivos en cuanto a un buen rendimiento si se busca omitir el uso de fertilizantes sintéticos; Angulo *et al.*, (2015) mencionan que al mezclar HMA con un consorcio aislado de la rizosfera de limón ubicado en el estado de Tabasco y *R. intraradices* durante la siembra, RPCV especialmente de la especie *P. tolaasii* y *Bacillus pumilus* 15 días después de la emergencia. Con base en la investigación realizada, se obtuvieron mejores resultados en las variables de altura de planta, diámetro de tallo y peso seco de la planta en el cultivo de chile jalapeño y Bell Pepper en comparación al testigo.

2.6.3 Rizobacterias utilizadas para el control de patógenos

Dentro de las rizobacterias no solo están aquellas que brindan un mejor desarrollo en la planta para sustituir los agroquímicos, sino que también hay cepas que pueden ser usadas para desempeñar efectos antagónicos sobre otros microorganismos y al mismo tiempo inducen la resistencia sistémica en las plantas (González *et al.*, 2015).

Hernández *et al.* (2016) evaluaron el efecto de inhibición bajo condiciones *in vitro* de la enfermedad tizón ceniciento (*Macrophomina phaseolina*), que ocasiona graves pérdidas en el cultivo de frijol. Además de su control biológico en condiciones semicontroladas, las cepas de rizobacterias *Burkholderia cepacia* y *P. fluorescens* no tuvieron una diferencia significativa con el control químico y en condiciones de campo se utilizó el control de *B. subtilis* y *P. fluorescens* y

determinaron una reducción de la enfermedad; estas rizobacterias brindaron protección al cultivo ante la enfermedad causada por *M. phaseolina*, como hubiera actuado el control químico, lo cual da una alternativa ecológica cuando se presente dicha enfermedad en el cultivo de frijol.

Además de la evaluación del tizón ceniciento en frijol, Hernández *et al.* (2018) evaluaron el efecto de las rizobacterias como control biológico en la enfermedad causada por *R. solani*; se desarrollaron experimentos *in vitro* en los cuales las rizobacterias *P. fluorescens* y *P. aeruginosa* inhibieron por completo el desarrollo de la enfermedad, con el método llamado doble capa, y las rizobacterias *B. subtilis* y *B. cepacia* solo inhibieron el 65%; bajo condiciones semicontroladas, en todos los tratamientos se encontraron que diferían estadísticamente al control en cuanto a la proporción de plantas enfermas.

Hernández *et al.* (2003) evaluaron diferentes rizobacterias en cuanto a la resistencia sistémica inducida (RSI) en el cultivo de frijol, para el control de la enfermedad causada por *Colletotrichum lindemuthianum*, y en tomate por *Botrytis cinérea*. Como indicadores utilizaron cepas del género *P. aeruginosa* (7NSK2-562, KMPCH y 7NSK2), *P. fluorescens* (WCS 417 y J-143), *B. cepacia* (0057), y el producto químico Benzothiadiazole, para lo inóculos fúngicos utilizaron cepas de *Colletotrichum lindemuthianum* 06/038 y *Botrytis cinerea* R16. Los resultados fueron que las cepas NSK2, KMPCH, WCS 417, J-143 y 0057 indujeron resistencia en el cultivo de frijol; en tomate, el producto químico Benzothiadiazole le indujo resistencia ante la enfermedad, sin embargo, las cepas de *B. cepacia* 0057, *P. fluorescens* J-143 y *P. aeruginosa* KMPCH mostraron mejores resultados en resistencia a las enfermedades.

Mejía *et al.* (2016) mencionan que entre las enfermedades más frecuentes en Chile habanero (*Capsicum chinense*) se encuentran las causadas por *Fusarium equiseti* y *Fusarium solani*; realizaron una evaluación en diez cepas del género *Bacillus* para observar el antagonismo *in vitro* en los causantes de dichas enfermedades. El resultado fue que todas las cepas funcionaban como inhibidores del crecimiento micelial, entre 21.28 y 71.70%, y para la presencia

de marchitez por *F. equiseti*, solo dos de las cepas, *B. subtilis* y *B. cereus*, pudieron retrasar la severidad de la enfermedad. De esta forma se comprobó que la capacidad para controlar las enfermedades presentes en este cultivo por un método de biocontrol, depende de la cepa y de la especie de hongo fitopatógeno.

Layne (2008) evaluó las cepas de dos géneros de bacterias (*Beijerinckia* y *Pseudomonas*) en el cultivo de frijol, en contra de la enfermedad causada por *Xanthomonas campestris*; las cepas se inocularon de forma individual y en conjunto. Los resultados obtenidos fueron que la combinación de las cepas estimuló el crecimiento de los nódulos medianos, grandes, activos totales y el peso seco nodular, sin embargo, no tuvo un resultado favorable en cuanto a la resistencia sistémica en la planta contra la enfermedad.

Arcos y Zúñiga (2015) pusieron a prueba rizobacterias de crecimiento vegetal en el cultivo de papa de dos variedades (Compis y Andina), para combatir la enfermedad rizoctoniasis causada por el hongo *R. solani* Kühn; la evaluación se llevó a cabo en condiciones de clima frío y húmedo en invernadero; se aplicaron cepas del género *B. subtilis* nativas, obtenidas de Perú, y *B. amyloliquefaciens* obtenidas de Bolivia. La evaluación también incluyó dos tipos de suelo, uno que estuviera infectado con *R. solani* y sin rizobacterias y otro sin rizobacterias ni presencia de *R. solani*. Como resultado obtuvieron que las variedades de papa inoculadas con rizobacterias tienen capacidad para inhibir a la enfermedad, esto debido a un mecanismo de antagonismo o bien por resistencia residual.

Lagunas *et al.* (2001) llevaron a cabo una investigación para evaluar la eficiencia de cepas del género *Bacillus* para el control de una enfermedad en tomate causada por el hongo *P. capsici*. La investigación consistió en obtener tres cepas (B2, B3 y B10), las cuales fueron seleccionadas por su capacidad antagónica, dichas cepas redujeron significativamente el crecimiento micelial de la enfermedad *in vitro*, la cepa que tuvo mayor efecto fue B2 con 41%, B3 en 34% y B10 en 33.8%; al ser inoculadas a la semilla, ocasionaron la estimulación de la germinación, volumen de raíz y peso seco del follaje, sin embargo, al ser

aplicadas al suelo infestado de *P. capsici*, no redujo la incidencia ni la severidad de la marchitez.

Guillén *et al.* (2006) realizaron una investigación con el objetivo de conocer el efecto de un biocontrol a base de rizobacterias, en específico del género *Bacillus*; se evaluaron cuatro aislados del ese género (B1, B3, B9, B13) sobre la enfermedad que causa pudrición en la raíz del chile, además de su efecto en el crecimiento y rendimiento. El efecto de la aplicación fue mayor altura de la planta en 20% y mayor rendimiento al final del cultivo en 270%, además de la reducción de la incidencia hasta un 80% y un 39% en la severidad de la pudrición de la raíz. También se llevó a cabo la identificación de las rizobacterias utilizadas mediante pruebas bioquímicas, placas biológicas, y por la acción de la cadena polimerasa (PCR), el aislado de *Bacillus* B1 se identificó como *B. amyloliquefaciens*, B3 como *B. licheniformis* y B9 y B13 como *B. subtilis*.

Maldonado *et al.* (2007) realizaron un análisis con dos agentes inductores de resistencia, ácido acetil salicílico y *B. subtilis* en el cultivo de calabacita, para saber su eficiencia en la infección causada por el *Cucumber Mosaic virus* bajo condiciones de invernadero. *B. subtilis* fue aplicado al suelo, al follaje y a ambos; el ácido acetil salicílico solo se aplicó al follaje, las plantas se inocularon a los 20 días con *C. Mosaic virus* y las variables evaluadas fueron peso de biomasa fresca y concentración viral. Los resultados obtenidos, mostraron que las plantas inoculadas con *B. subtilis* aplicado al suelo y el ácido acetil salicílico, tuvieron los mejores resultados en cuanto mayor biomasa fresca comparado con el testigo, y las otras inoculaciones resultaron ser un valor significativamente menor al testigo.

2.6.4 Rizobacterias utilizadas para aumentar el crecimiento y productividad

Hernández *et al.* (2018) llevaron a cabo una investigación sobre aplicación de microcápsulas y cultivo líquido del género *P. putida*, sobre el crecimiento y productividad del cultivo de chile morrón en invernadero. El estudio consistió en la utilización de tres cepas FA-8, FA-56 y FA-60 de *P. putida* de forma individual y combinada, dichas cepas se inocularon de forma directa a la raíz como

microcápsulas y en suspensión líquida. Los resultados tuvieron diferencia significativa en las dos formas de aplicación, ya que la cepa FA-56 tuvo incremento en: altura, volumen radical, biomasa seca, rendimiento de fruto, contenido de sólidos solubles (°Brix) y UFC; el éxito de la microcápsula a diferencia de la suspensión líquida fue la inmovilización de las células, ya que están protegidas y de esta forma le confiere una liberación paulatina, mejorando la colonización de las rizobacterias sobre las raíces.

En estudios de laboratorio realizados por Díaz *et al.* (2001) a 30 cepas para evaluar la germinación y el crecimiento en el cultivo de lechuga; obtuvieron que una de las cepas *Hafnia alvei* P-3 fue la que obtuvo más de un 30% en la germinación comparada con el testigo, dos de las cepas de *P. aeruginosa* 7PS y 11PS se encontró que ocasionaban inhibición en la germinación; en cuanto al crecimiento de la planta ascendió excepto por una cepa que fue igual al testigo, sin embargo, la cepa que obtuvo un mayor crecimiento en cuanto a peso seco, materia seca, área foliar y volumen radical fue R1B que no fue identificada.

Santillana *et al.* (2005) estudiaron el efecto de 19 cepas de rizobacteria del género *Rhizobium* en la germinación y desarrollo de plantas de tomate. Para la evaluación de germinación, las semillas fueron inoculadas con la bacteria en arena esterilizada; en cuanto al desarrollo el estudio se llevó a cabo bajo condiciones de una cámara de crecimiento, el suelo utilizado fue de textura franco-arenoso, con un pH de 7.3. Nueve de las cepas (PEVF02, PEVF03, PEVF05, PEVF08, PEVF09, PEVF10, PEPSM12, PEPSM15 y PEPSM17) estimularon la germinación, y siete (PEVF01, PEVF02, PEVF03, PEVF04, PEVF05, PEVF08 y PEPSM14) el desarrollo de la planta, sin embargo, dos de las 19 cepas (PEVF02 y PEVF08) tuvieron un efecto positivo en la estimulación de la germinación y del desarrollo.

Guzmán *et al.* (2012) realizaron estudios para evaluar que inoculante de las especies de bacterias diazotróficas, de los géneros *Azotobacter* y *Azospirillum*, las cuales fueron obtenidas de la rizosfera del cultivo de algodón (*Gossypium hirsutum*), podrían funcionar mejor en un futuro como principio activo

en inoculantes para el cultivo ya mencionado. El estudio se llevó a cabo *in vitro* y se determinó la promoción de crecimiento vegetal, mediante la actividad de la enzima nitrogenasa, la técnica de reducción de acetileno y producción de índoles a través del método colorimétrico de Salkowsky. Se obtuvieron nueve aislamientos del género *Azotobacter* y cuatro de *Azospirillum* spp.; de los cuales solo cinco del género *Azotobacter* fueron seleccionados por su potencial como bacterias promotoras de crecimiento vegetal.

En el estado de Chiapas se lleva a cabo la producción de café (*Coffea arabica*), con manejo frecuentemente sintético, sin embargo, existen productores que empiezan a utilizar las prácticas orgánicas, por ello es que Anaya *et al.* (2011) llevaron a cabo un estudio para evaluar el efecto en las plántulas de café variedad Bourbon, los inoculantes utilizados fueron: una cepa *G. intraradices*, cepas PACHAZ08 de *Azotobacter* y 11B de *Azospirillum*. Los resultados obtenidos se vieron reflejados en las características morfológicas y bioquímicas en las plántulas que fueron inoculadas con *Azospirillum*, el cual mejoró la estructura de la raíz y con la asociación de *Glomus* y *Azobacter*, la interacción de los microorganismos produjo una mejor absorción de agua y nutrientes, además de mayor capacidad fotosintética y acumulación de biomasa carbonada.

Carrillo *et al.* (2013) realizaron un estudio con el fin de reducir la aplicación de fertilizantes sintéticos; pusieron a prueba la inoculación de bacterias del género *Azotobacter* RzH120 y *Azospirillum* RzH132 en plántulas de cilantro (*Coriandrum sativum* L.), y también analizaron la respuesta del suelo, al utilizar prácticas de quema de cascarilla de arroz en una parcela y en otra solamente inoculación de *Trichoderma* spp. para el posterior establecimiento del cultivo. Se encontró como resultado que efectivamente, las bacterias tuvieron un impacto positivo en el crecimiento de las plántulas en ambas parcelas, sin embargo, en el rendimiento no se tuvieron diferencias significativas; lo que demuestra que no es necesario la práctica agrícola para el aumento de la productividad. Los autores concluyeron que puede disminuir el uso de producto sintético hasta un 30% y obtener buenos resultados en la producción de cilantro.

Bécquer *et al.* (2015) realizaron un estudio en el cultivo de trigo para evaluar el peso seco aéreo, el peso seco radical, la longitud del tallo, la germinación y el contenido de clorofila foliar, con inoculación de rizobacterias *Sinorhizobium meliloti*, *A. zae* y *A. canadense*, y con el hongo *Trichoderma harzian*. La inoculación sola del hongo solo tuvo se vio reflejado en la longitud del tallo, en conjunto con algunas bacterias no se vio favorecida a la planta, sin embargo, el tratamiento del hongo con *S. meliloti* y *A. canadense* aumentó el peso seco radical y el peso seco aéreo; el tratamiento *A. zae* con *S. meliloti* contribuyeron al contenido de clorofila y la longitud del tallo. Concluyendo que el hongo *T. harzianu* por sí solo no tiene un efecto significativo en las variables evaluadas.

Cruz *et al.* (2016) realizaron una investigación en cultivos de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*), cebolla, lechuga y tomate. El estudio consistió en la inoculación de cepas 7A y AMRp10 del género *Azospirillum*, además de una aspersión foliar a base de miel de abeja al 2% bajo condiciones de invernadero, las variables evaluadas fueron: altura, área foliar, diámetro de tallo, peso seco, unidades SPAD (contenido de clorofila y N en las plantas) y diámetro de bulbo en el cultivo de cebolla. Los resultados con respecto a la aplicación foliar incrementaron de forma significativa la altura (13%), área foliar (38%) y peso seco (30%) de las plántulas de brócoli, con la inoculación de 7A incrementaron 7% las unidades SPAD; en las plántulas de lechuga con la aspersión, la altura y área foliar fueron mayores que con AMRp10; en tomate, la altura aumentó 23% y el área foliar fue 52% mayor en comparación con AMRp10.

2.6.5 Rizobacterias con sustrato

González *et al.* (2018) ejercieron una investigación en el cultivo de tomate utilizando *Bacillus* spp., *Aeromonas* spp. y *Pseudomonas lini* en condiciones de invernadero y en dos sustratos diferentes; el primero constaba de compost + arena de río y perlita y el segundo constaba solo de arena de río, los testigos fueron ambos sustratos sin RPCV. Los resultados mostraron que en el primer sustrato incrementaron los sólidos solubles totales (SST), licopeno, azúcares

totales, ácido ascórbico y el porcentaje de ácido cítrico en los frutos del tomate, sin embargo, la inoculación de la cepa de *Bacillus* spp. obtuvo los mayores incrementos de SST, licopeno y ácido ascórbico. La mezcla del sustrato orgánico y *Bacillus* spp. resultó ser una probable alternativa en producción de tomate.

Espinosa *et al.* (2017) realizaron un estudio en el cultivo de tomate cv. Afrodita, que consistió en utilizar rizobacterias del género *Bacillus* spp., *Aeromonas* spp., y *P. lini*, bajo condiciones de invernadero y con dos sustratos; el primero contenía 50% compost, 40% arena de río y 10 perlita y el segundo contenía solo arena de río, los testigos fueron ambos sustratos sin rizobacterias; las variables evaluadas fueron diámetro polar y ecuatorial, espesor de pericarpio, contenido de sólidos solubles, firmeza, fenoles totales y capacidad antioxidante. El primer sustrato con *Bacillus* spp. mostró los mayores incrementos en todas las variables que se evaluaron. El mismo resultado que obtuvieron González *et al.* (2018) en cuanto al compuesto (compost + arena de río + perlita + *Bacillus* spp.).

2.6.6 Bacterias con efecto en la fijación de nitrógeno y solubilización de fósforo

González *et al.* (2015) realizaron aislamientos de cepas de distintos géneros de rizobacterias, en busca de las que tuvieran mejores características con capacidad de solubilizar fosfatos, fijar nitrógeno y producir auxinas; mencionan que el género *R. nepotum* y *Serratia phymuthica* incrementaron hasta un 20% en el peso de la parte aérea, además del aumento en la producción de biomasa, recomendando que ambas cepas pueden incrementar la calidad de plántula en el cultivo de chile poblano (*Capsicum annuum* var. *Annuum* Poblano).

2.6.7 Bacterias con efecto en la fijación de nitrógeno

Pazos y Hernández (2001) llevaron a cabo un estudio en catorce cepas de *A. brasilense*, las cuales se calificaron por la capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico. El estudio fue en el cultivo de arroz (*Oryza sativa*) mediante modelo Microcosmos, en el cual se determinó la altura de las plantas inoculadas, masa fresca de la raíz, el contenido de fenoles libres y la cuantificación de proteínas en

las hojas. Los resultados obtenidos mostraron que las catorce cepas tuvieron buen efecto, en específico la cepa R5(15).

2.6.8 Bacterias con efecto en solubilización de fósforo

Cisneros *et al.* (2017) evaluaron el efecto de bacterias solubilizadoras de fosfatos (BSF) obtenidas del género *Bacillus*, sobre el crecimiento en plántulas de café variedad Castillo. El experimento se llevó a cabo en condiciones de invernadero, se utilizaron tres sustratos, suelo natural (*Typic Melanudand*) + pulpa de café descompuesta con y sin BSF, suelo natural + pulpa de café descompuesta+ roca fosfórica con y sin BSF y suelo natural sin BSF fertilizado con fosfato diamónico. Como resultado obtuvieron que la aplicación de pulpa de café con y sin roca fosfórica y BSF favoreció a la disponibilidad del fósforo, que a su vez mejoró el crecimiento de las plántulas; al realizar análisis químicos las variables de peso seco aéreo, peso seco de raíz y peso seco total incrementaron.

Sánchez *et al.* (2012) evaluaron el efecto de seis cepas como promotoras de crecimiento vegetal, en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero, los géneros utilizados fueron *Enterobacter* (TVL-1 y TVL-2), *Pseudomonas* spp. (PSO13 y PSO14) y *Bacillus* spp. (BEOO2 y BEOO3). Los resultados obtenidos fueron que las cepas TVL-1, TVL-2 y PSO14 tuvieron los mejores resultados, al demostrar la capacidad para solubilizar fósforo poco soluble; TVL-2 y PSO14 incrementaron la biomasa y el desarrollo de la planta de manera significativa, así como la producción de frutos, además las cepas fueron capaces de producir índoles y sideróforos.

2.6.9 Otros estudios realizados en microorganismos

Terry *et al.* (2005) llevaron a cabo un experimento al combinar microorganismos benéficos con un producto bioactivo (Biostan), con la finalidad de evaluar la eficiencia en el desarrollo, rendimiento y calidad del fruto en el cultivo. El experimento se realizó sobre un suelo Ferralítico Rojo lixiviado típico, los tratamientos fueron las plantas co-inoculadas con cepas del género *G.*

clarumy A. brasilense, a los cuales se les aplicó de forma foliar y asperjada el bioactivo durante las diferentes etapas de desarrollo. Los resultados mostraron una compatibilidad entre el producto y los microorganismos, de forma que permitió un adecuado estado nutricional en la planta, al mismo tiempo que posibilitó un rendimiento de 35 t·ha⁻², el cual superó en un 17% al testigo, y los frutos obtuvieron una buena calidad bromatológica.

Cárdenas *et al.* (2014) evaluaron tres cepas aisladas del género *Azospirillum* spp. (SRGM2, SRGM3 y SRGM4) en el desarrollo de plantas de pasto Guinea *Panicum máximum* Jacq, variedad Tanzania, el experimento de la evaluación consistió en la inoculación por imbibición de las semillas, las cuales fueron sembradas en macetas bajo condiciones de casa-sombra; la inoculación fue simple, después se realizó una co-inoculación de una cepa del género *Enterobacter aglomerans* (UV1), la cual se obtuvo de suelos en los que anteriormente se produjo algodón, las variables estudiadas en las plantas fueron: germinación, peso foliar fresco y seco, peso radical fresco y seco, fósforo y proteína foliar. Los resultados mostraron que la inoculación simple y combinada estimuló la germinación, en las demás variables hubo un aumento del 26.80% en proteína cruda, y 45.67% en materia seca foliar a comparación de las plantas fertilizadas un 100% de forma sintética. La cepa SRGM2 co-inoculado obtuvo los mejores resultados.

Patiño y Sánchez (2013) hicieron un estudio al utilizar roca fosfórica (RF) en conjunto con inoculación de organismos promotores de crecimiento vegetal, para comprobar que es una forma eficaz de fertilización en cultivos tropicales. La evaluación se llevó a cabo en condiciones de invernadero, en el cultivo de chile variedad Cayena. Las plantas se fertilizaron con RF en conjunto de inoculación y otras sin inoculación con dos aislados de bacterias solubilizadoras de fosfato, las cuales fueron *Burkholderia ambifaria* y *Burkholderia lata*, el sustrato utilizado fue un suelo ácido deficiente en fósforo. Los resultados de los ensayos mostraron que hubo un efecto significativo con la RF sola y tampoco en conjunto con la

inoculación y que al usar un bioinoculante reduce la mitad la dosis de RF sin afectar estadísticamente las variables.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.- Ubicación geográfica del experimento

El trabajo experimental se realizó en un invernadero de 200 m² con cubierta plástica, piso de grava y sistema de enfriamiento automático con pared húmeda y dos extractores. Se trabajó durante el ciclo otoño-invierno 2019, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna (UAAAN-UL), situada entre 101° 40' y 104° 45' de longitud oeste y entre los paralelos 25° 05' y 26° 54' de latitud norte, con una altitud 1.139 msnm, en Torreón, Coahuila.

3.2.- Clima

Esta región recibe una precipitación media anual de 235 mm, y su temperatura media anual es de 18.6 °C.

3.3.- Diseño experimental

El diseño experimental fue en bloques al azar con tres repeticiones; los tratamientos corresponden a un arreglo factorial 2x2, además de un tratamiento testigo. El factor A corresponderán a los sustratos: 1) compost (50%) + arena (40%) + perlita (10%) y 2) Arena; el factor B corresponde a las RPCV: 1) *Bacillus* sp. y 2) *Pseudomonas lini*. La lista de los tratamientos se anota en el Cuadro 1.

3.4.- Preparación de la unidad experimental

La unidad experimental estuvo compuesta por una maceta, con una planta. Cada maceta consistió en una bolsa de plástico de 18 L de capacidad y se acomodaron en doble hilera, con arreglo en tresbolillo y separación entre hileras de 1.6 m, para una densidad de 4 plantas m².

Cuadro 1. Tratamientos evaluados con base en la combinación de dos sustratos y dos RPCV inoculadas en tomate, bajo condiciones de invernadero, en el periodo agosto-febrero 2019-2020. UAAAN-UL.

Tratamiento	RPCV inoculada	Composición del sustrato (%)
T1	<i>Bacillus</i> sp.	50 compost + 40 arena + 10 perlita.
T2	<i>Pseudomonas lini</i>	50 compost + 40 arena + 10 perlita
T3	<i>Bacillus</i> sp.	100 arena
T4	<i>Pseudomonas lini</i>	100 arena
T5 (Testigo)	Sin inocular	100 arena

Rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (RPCV).

3.5 Siembra y trasplante

El material vegetal utilizado fue tomate cv. Moctezuma, el cual fue sembrado el día 17 de julio de 2019 en charolas de poliestireno de 200 cavidades utilizando como sustrato Peat moss. Las charolas fueron ubicadas al interior del invernadero cubiertas con bolsas de plástico en color negro, se les aplicó un riego dos veces por día utilizando agua de la llave. La inoculación de las rizobacterias se hizo cuando la plántula tenía 35 días después de su emergencia el día 24 de agosto de 2019; se utilizó el método de inmersión, que consistió en sumergir las charolas en la suspensión bacteriana correspondiente, a una concentración de 1×10^8 UFC \cdot - mL $^{-1}$ en 10 L de agua, durante 1 minuto aproximadamente. Las plantas testigo solo se trataron con agua destilada. Las plantas fueron trasplantadas al tener tres hojas verdaderas.

3.6.- Riegos y fertilización

Los riegos fueron manuales y oscilaron entre 0.5 a 2 litros de agua·- dia⁻¹ por maceta, tomada de la solución nutritiva, la cual fue hecha en tanques de 200 L. El primer riego fue de 0.5 L el día siguiente después del trasplante, el volumen se incrementó a 1 L a los 36 ddt y 2 L a los 71 ddt.

La solución nutritiva empleada en el tratamiento testigo durante todo el ciclo del cultivo fue la recomendada por Castellanos y Ojodeagua (2009). La demanda nutricional del cultivo para los tratamientos inoculados con las PGPR fue cubierta utilizando Maxifrut[®] y Maxiquel[®], ambos productos de la compañía BioCampo[®], para aplicar macro y micro elementos. Estos productos fueron aprobados por las normas de producción orgánica certificada INFOAM (2003). De ambos productos se prepararon soluciones madre a razón de 10 y 50 g·- 20 L⁻¹ de agua de riego, y para la fertilización de las macetas se realizaron diluciones de 1.0 y 0.5 L en 1000 L de agua, respectivamente. La dilución del Maxifrut[®] se aplicó a diario y la del Maxiquel[®] cada semana, a través de los volúmenes de riego ya mencionados (Cuadro 2). El manejo y cuidado del cultivo se realizó de acuerdo con lo establecido por Muñoz (2009) y las temperaturas fueron tomadas diariamente con dos termómetros de aluminio y con un termómetro digital.

Cuadro 2. Solución nutritiva utilizada en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.

Fertilizante	Solución madre en 200 L de agua		
	1ª fase de plantación (0.5 L)	2ª fase de floración (1 L)	3ª fase producción (2 L)
Nitrato de calcio (g)	125	125	125
Ácido fosfórico (ml)	10	10	10
Sulfato de magnesio (g)	60	60	60
Sulfato de potasio (g)	40	40	40
Micronutrientes (g)			4
NPK (g)			40

3.7.- Manejo del cultivo

3.7.1 Poda

La poda se llevó a cabo cada semana, consistió en eliminar las yemas axilares cuando tenían como mínimo 3 cm de longitud, con la finalidad de guiar a la planta en un mismo tallo, inducir el crecimiento del cultivo y evitar una reducción en el rendimiento; se realizó de forma manual con el cuidado de dejar cicatrices pequeñas y evitar que un patógeno causara alguna enfermedad en el cultivo.

3.7.2 Entutorado

Este proceso consistió en guiar a la planta en una sola dirección, en donde los materiales utilizados fueron rafia y ganchos. Para cada planta se hizo un pequeño nudo con la rafia en la parte inferior del tallo y se fue enredando en el mismo tallo hasta un alambre puesto en la parte de arriba dentro del invernadero, de donde se sujetó con un gancho.

3.7.3.- Polinización

Al inicio de la apertura de las flores se llevó a cabo la polinización manual, que consistió en golpear de forma sencilla el alambre donde estaban puestos los ganchos del entutorado, para causar una vibración en la planta y se llevara a cabo la polinización, la cual se realizaba en un horario de 11:00 a 14:00 horas.

3.8.- Organismos dañinos en el ciclo del tomate

3.8.1.- Plagas

Solo se presentó una plaga durante el ciclo del cultivo.

- Mosquita blanca (*Bemisia tabaci*): La presencia fue detectada 31 ddt a base de trampas cromáticas color amarillo con un material adherente (pegamento), las cuales fueron colocadas dentro del invernadero colgadas de la estructura del mismo, cuando se determinó la actividad de esta plaga se aplicó un insecticida con extracto de neem y canela con nombre comercial NemmAcарce® y otro a base de puro neem con nombre comercial Neem® insumos aprobados por la normatividad internacional de productos orgánicos. Las aplicaciones fueron 5 con una dosis de 5 mL·/5 L⁻¹ de agua y se realizaron durante la mañana cuando la mosquita estaba en reposo.

3.9.- Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron las siguientes:

Rendimiento. Para la evaluación de esta variable se tomó el peso de cada fruto por planta con un peso mínimo de 40 g y se llevó un registro del peso presentado, para lo cual se utilizó una báscula digital Truper® para una mejor precisión.

Altura. Para determinar esta variable se utilizó una cinta de medir y se midió cada una de las plantas, se evaluó antes de realizar la cosecha.

Número de lóculos. Cada tomate con el peso aceptado se le hizo un corte transversal y después se realizaba el conteo de los lóculos de cada tomate.

Espesor de pulpa. Esta variable se determinó después de hacer el corte transversal y se cuantificó con un vernier digital.

Consistencia de fruto. Para determinar esta variable se utilizó un penetrómetro para fruta, donde el puntal del aparato era presionado en el tomate de forma perpendicular y registrar el dato mostrado por el aparato.

Sólidos solubles. Para la determinación de los sólidos solubles se utilizó un refractómetro de campo, el procedimiento que se llevó a cabo fue después de que el tomate se cortó, se tomaron unas gotas del jugo y se pusieron en el refractómetro para registrar el valor en °Brix; al terminar se limpiaba el aparato para la posterior evaluación.

3.10.- Análisis estadístico.

Se llevó a cabo un análisis de varianza en cada una de las variables evaluadas y en donde se encontró diferencia significativa se realizó una comparación de medias usando una prueba de diferencia significativa mínima al 5% (DMS).

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.- Rendimiento total

Para esta variable se calculó la suma de frutos producidos por planta por tratamiento, luego se calculó el rendimiento por metro cuadrado y finalmente por hectárea. Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) mostraron que no hubo efecto significativo ($P < 0.05$) de la bacteria en el rendimiento, ni tampoco de la interacción bacteria x sustrato (BxS); por otro lado, si hubo un efecto altamente significativo ($P < 0.01$) del **sustrato** en el rendimiento (Cuadro A8). La prueba de DMS indica que los tratamientos con sustrato orgánico (compost+arena+perlita) tuvieron un rendimiento mayor, en promedio $85.5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-2}$, comparado con $57.73 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-2}$ en los sustratos con arena y $69.3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-2}$ en el tratamiento testigo (Cuadro 3). El coeficiente de variación para esta variable fue de 15.22%.

Estos resultados no concuerdan con Cruz *et al.* (2009) quienes evaluaron mezclas de composts y vermicompost con arena en condiciones de invernadero y obtuvieron una media de $39.81 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-2}$ en la evaluación de compost mostrando ser menor a la obtenida en este trabajo.

Márquez *et al.* (2007) obtuvieron una media de $91.42 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-2}$, en donde las cuatro mezclas a base de vermicompost, arena, perlita y biocompost en porcentajes distintos fueron sobresalientes. Estos resultados difieren con lo encontrado con Márquez *et al.* (2014) quienes reportaron una media general de $116.41 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-2}$ sin embargo, el tratamiento testigo y con fertilización de macroelementos orgánicos e inorgánicos los cuales fueron iguales estadísticamente con un promedio de $136.7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-2}$. Pero si supera a los reportados por Alarcón (2014) quien al evaluar diferentes porcentajes de compost obtuvo una media de $52.16 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-2}$. Los resultados reportados por Rodríguez *et al.* (2008) en el estudio de dos genotipos y tres sustratos obtuvieron una media de $209.1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-2}$ en el genotipo Big Beef, sin embargo, el mejor rendimiento fue de $279.3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-2}$ usando como sustrato arena más fertilizante inorgánico, coincidiendo

con Márquez *et al.* (2014) quien lo mayor reportado fue con fertilización inorgánica.

Espinosa *et al.* (2017) difieren con lo encontrado en este estudio ya que reportaron una media de 76.06 t·ha⁻², sin embargo, el mejor rendimiento fue la inoculación de *Bacillus* sp. con una media de 86.69 t·ha⁻² en sustrato a base de compost, arena y perlita.

4.2.- Altura

Para esta variable el análisis de varianza no mostró diferencia significativa en los sustratos, bacterias y tampoco en la interacción BXS ($P < 5$) donde la media fue de 2.50 m **con un coeficiente de variación de 6.23%** (Cuadro 3). Lorenzo (2007) en su estudio obtuvo una media de 2.22 m y Rodríguez *et al.* (2009) obtuvieron que en el estudio de dos genotipos de tomate evaluados en fertilización inorgánica y orgánica en el cual el genotipo Granito mostro la mayor altura con 2.37 m lo cual difiere un poco con lo obtenido en este estudio.

Márquez *et al.* (2014) reportaron una media de 2.05 m, sin embargo, difiere con lo anterior. Cisneros *et al.* (2007) quienes evaluaron tres cepas de *Bacillus*, solas y con interacción con hongos fitopatógenos teniendo como resultado la mayor altura de 1.45 m en la inoculación con *B. subtilis*, y sugiere que es una alternativa viable para incrementar el rendimiento y la calidad del fruto. Martínez (2018) reportó que el tratamiento con la bacteria *Vargibacillus* sp. obtuvo la mayor altura con 1.4 m en condiciones de malla sobra, ambos estudios no coinciden con lo encontrado en esta investigación al obtener una altura media menor.

Estos resultados no concuerdan con Márquez *et al.* (2006) quienes reportando una media de 2.88 m utilizando vermicompost al 50% más arena, y por Cruz (2012) quien en el estudio donde reportó una media de 2.97 m en tomate Cherry con diferentes mezclas de vermicompost, compost y diferentes frecuencias de riego, teniendo como mejor altura T2 con la mezcla de arena y

vermicompost más 2.5% de concentrado de Té de vermicompost con una altura de 3.65 m superando de esta forma lo anterior.

Cuadro 3. Variables de altura y rendimiento total de tomate en dos sustratos y dos rizobacterias en condiciones de invernadero en el periodo 2019-2020 en la Comarca Lagunera UAAAN-UL 2019.

Sustrato	Bacteria	Altura (m)	Rendimiento (t·ha ⁻²)
C+A+P	<i>Bacillus</i> sp.	2.55 ns	85.63 a
C+A+P	<i>Pseudomonas</i>	2.47	85.37 a
A	<i>Bacillus</i> sp.	2.33	49.69 b
A	<i>Pseudomonas</i>	2.66	65.77 ab
A	Sin inocular	3.75	69.32
Medias de efectos principales:			
C+A+P		2.51 ns	85.50 a
A		2.49	57.73 b
	<i>Bacillus</i> sp.	2.44	67.66 ns
	<i>Pseudomonas</i>	3.065	75.57
CV		6.23	15.22
Media general		2.50	71.62

Promedios con letras distintas son diferentes estadísticamente (DMS, $P \leq 0.05$), NS= no significativo. T1 Compost: arena: perlita (50:40:10). T2 Compost: arena: perlita (50:40:10), T3 Arena (100%), T4 Arena (100%) y T5 arena (100%) testigo.

4.3.- Calidad del fruto

4.3.1.- Diámetro polar

Para esta variable el análisis de varianza mostró que no se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) en el sustrato y tampoco entre las bacterias (Cuadro A1), pero si mostró efecto significativo en la **interacción** BxS ($P < 0.05$), sin embargo, la prueba DMS no arrojo diferencias

entre los promedios de interacción, teniendo con un coeficiente de variación de 2.7% (Cuadro 4). Al utilizar el sustrato orgánico, la inoculación con *Bacillus* sp. tuvo mayor diámetro que cuando se inoculó con *Pseudomonas*, con valores de 58.85 mm y 56.59 mm, respectivamente. En cambio, cuando se utilizó arena como sustrato, la inoculación con *Pseudomonas* produjo mayor diámetro, con 58.67 mm (Cuadro 4). De acuerdo con la prueba de DMS, las diferencias anteriores no fueron significativas.

Lo anterior difiere con lo encontrado por Lorenzo (2007) quien evaluó dos genotipos y cuatro formas de fertilización y obtuvo diferencia significativa en la interacción y reportó para esta variable una media de 69 mm y también difiere por García (2014) quien obtuvo 67.1 mm.

Espinosa *et al.* (2017) mencionan que la inoculación de rizobacterias con compost da resultados positivos en la calidad del tomate, en su estudio reportaron en esta variable una media de 60 mm en el cv. Afrodita y el tratamiento con mayor valor fue T6 (100% arena e inoculado con *Aeromonas* sp.) con 63.1 mm mayores a los obtenidos en este estudio.

4.3.2.- Diámetro ecuatorial

En el cuadro A2 se presenta la comparación de medias, donde muestra que no hubo efecto significativo para la bacteria y la interacción BxS; por otro lado, sí presentó efecto significativo ($P < 0.05$) para el **sustrato** con un coeficiente de variación de 2.22%. El mejor rendimiento se obtuvo al utilizar como sustrato arena (100%), con valores de 46.36 mm y 48.29 mm, sin embargo, al utilizar como sustrato compost, arena y perlita produjo un menor rendimiento, con valores de 45.35 mm y 45.23 mm (Cuadro 4). Este resultado concuerda con lo reportado por Cruz *et al.* (2009) ya que obtuvieron una media de 47 mm.

Los resultados obtenidos fueron superiores a los reportados por Márquez *et al.* (2006) quienes reportaron una media de 24.3 mm en su investigación,

donde evaluaron dos genotipos utilizando fuentes de fertilización orgánicas. Los resultados obtenidos por Espinosa *et al.* (2016) fueron superiores a los registrados en esta investigación con una media de 52 mm.

Cuadro 4. Variables de diámetro polar y diámetro ecuatorial en condiciones de invernadero en el periodo 2019-2020 en la Comarca Lagunera UAAAN-UL 2019.

Sustrato	Bacteria	Diámetro polar (mm)	Diámetro ecuatorial (mm)
C+A+P	<i>Bacillus</i> sp.	58.85 a	45.35 ns
C+A+P	<i>Pseudomonas</i>	56.59 a	45.23
A	<i>Bacillus</i> sp.	56.27 a	46.36
A	<i>Pseudomonas</i>	58.67 a	48.29
A	Sin inocular	58.60	52.50
Medias de efectos principales:			
C+A+P		57.72 ns	45.29 b
A		57.47	47.32 a
	<i>Bacillus</i> sp.	57.56	45.85 ns
	<i>Pseudomonas</i>	57.63	46.76
CV		2.71	2.22
Media general		57.59	46.30

Promedios con letras distintas son diferentes estadísticamente (DMS, $P \leq 0.05$), NS= no significativo. T1 Compost: arena: perlita (50:40:10). T2 Compost: arena: perlita (50:40:10), T3 Arena (100%), T4 Arena (100%) y T5 arena (100%) testigo.

4.3.3.- Número de lóculos

El análisis de varianza en esta variable no mostró un efecto significativo ($P < 0.05$) para la bacteria y la interacción BxS, sin embargo, se encontró un efecto significativo para el **sustrato** ($P < 0.05$). En los tratamientos donde se utilizó como

sustrato arena (100%) el rendimiento fue mayor, con un promedio de 2.08, comparado con 1.85 en el sustrato orgánico. El coeficiente de variación para esta variable fue de 5.70% (Cuadro 5).

Márquez *et al.* (2014) obtuvieron una media de 5.78 lóculos al evaluar fertilización orgánica en dos genotipos de tomate, el valor obtenido supera a lo registrado en este estudio. Cruz (2012), Alarcón (2014) y Rodríguez *et al.* (2008) obtuvieron valores de: 2.4, 2.33 y 4 lóculos, valores menores a lo reportado en este estudio.

4.3.4 Espesor de pulpa

En esta variable, los análisis de varianza mostraron que no hubo efecto significativo para el sustrato y en la bacteria ($P < 0.05$), sin embargo, si hubo un efecto significativo en la **interacción** BxS ($P < 0.05$), con un coeficiente de variación de 3.80% (Cuadro 5). Los tratamientos que obtuvieron un mayor rendimiento fue T1 (compost+areba+perlita+*Bacillus* sp.) y T4 (arena+*Pseudomonas lini.*) con valores de 6.34 mm y 6.37 mm, comparado con 5.81 mm del T3 (arena+*Bacillus* sp.).

Los resultados encontrados por Espinosa *et al.* (2017), Márquez *et al.* (2014), Lorenzo (2007) y Rodríguez *et al.* (2009) superan lo evaluado en este estudio, con una media de 6.7 mm., 7.3 mm., de 7.6 mm y 8 mm.

Cuadro 5. Variables de número de lóculos y espesor de pulpa bajo condiciones de invernadero en el periodo 2019-2020 en la Comarca Lagunera UAAAN-UL 2019.

Sustrato	Bacteria	Número de lóculos	Espesor de pulpa (mm)
C+A+P	<i>Bacillus</i> sp.	1.90 ns	6.34 a
C+A+P	<i>Pseudomonas lini</i>	1.81	6.15 ab
A	<i>Bacillus</i> sp.	2.08	5.81 b
A	<i>Pseudomonas lini</i>	2.05	6.37 a
A	Sin inocular		
Medias de efectos principales:			
C+A+P		1.85 b	6.24 ns
A		2.06 a	6.09
	<i>Bacillus</i> sp.	1.99 ns	6.07
	<i>Pseudomonas lini</i>	1.93	6.26
CV		5.70	3.80
Media general		1.96	6.17

Promedios con letras distintas son diferentes estadísticamente (DMS, $P \leq 0.05$), NS= no significativo. T1 Compost: arena: perlita (50:40:10). T2 Compost: arena: perlita (50:40:10), T3 Arena (100%), T4 Arena (100%) y T5 arena (100%) testigo.

4.3.5.- Consistencia de fruto

Para esta variable el análisis de varianza (cuadro A3) no mostró ningún efecto significativo ($P < 0.05$) entre las fuentes de variación bacteria, sustrato y tampoco en la interacción BxS, **con un coeficiente de variación de 5.80%** (Cuadro 6). Los tratamientos evaluados con sustrato orgánico tuvieron un valor de 1.48 kg, los evaluados con arena como sustrato tuvieron un valor de 1.50. Los tratamientos con inoculación de *Bacillus* sp. tuvieron un valor de 1.52 y 1.44 los inoculados con *Pseudomonas lini*. De acuerdo con la prueba DMS, las diferencias anteriores no son significativas (Cuadro 6).

Espinosa *et al.* (2016) reportaron una media para esta variable de 1.14 kg (11.26 N), teniendo con mayor valor el T1 donde se inoculó *Bacillus sp.* en un sustrato de compost, arena y perlita (50:40:10) que coincide en este estudio donde el mayor valor reportado fue de 1.53 kg (14.99 N) en la inoculación de *Bacillus sp.* en un sustrato con la misma relación que Espinosa *et al.* (2016). Ruiz *et al.* (2019) obtuvieron el mayor valor con la inoculación de *Bacillus subtilis* con 6.04 kg (59.2 N) superando a los resultados de este estudio.

4.3.6.- Sólidos solubles (°Brix)

El análisis de varianza no mostró ningún efecto significativo en el sustrato, bacteria y tampoco en la interacción BxS, **con un coeficiente de variación de 5.25%** (Cuadro A6). Los tratamientos evaluados con sustrato orgánico tuvieron como resultado 3.60°Brix, los tratamientos evaluados con sustrato arena tuvieron 3.44°Brix. Los tratamientos con inoculación de *Bacillus sp.* tuvieron un valor de 3.53 y 3.51 los que fueron inoculados con *Pseudomonas lini* (Cuadro 6). De acuerdo con la prueba DMS, las diferencias anteriores no son significativas.

Alarcón (2014) reportó resultados similares a los obtenidos en este trabajo con una media de 3.7 °Brix al evaluar tomate saladette en tres mezclas de sustrato diferentes, sin embargo, Gonzales *et al.* (2018) y Cruz (2012) reportaron una media de 4.5 °Brix y 4.91°Brix al evaluar mezclas de sustratos orgánicos, dichos resultados superaron lo obtenido en este estudio.

Chiquito *et al.* (2019), Rodríguez *et al.* (2008) y Márquez *et al.* (2008) obtuvieron una media mayor a 5°Brix lo cual supera a lo obtenido en este estudio; los valores reportados fueron: 5.5 °Brix, 5.1°Brix y 7.86°Brix.

Cuadro 6. Variables de Consistencia de frutos y Sólidos Solubles (°Brix) en condiciones de invernadero en el periodo 2019-2020 en la Comarca Lagunera UAAAN-UL 2019.

Sustrato	Bacteria	Consistencia de frutos (kg·m ⁻²)	Sólidos Solubles (°Brix)
C+A+P	<i>Bacillus</i> sp.	1.53 ns	3.54 ns
C+A+P	<i>Pseudomonas lini</i>	1.39	3.66
A	<i>Bacillus</i> sp.	1.51	3.52
A	<i>Pseudomonas lini</i>	1.49	3.37
A	Sin inocular	1.15	5.16
Medias de efectos principales:			
C+A+P		1.46 ns	3.60 ns
A		1.50	3.44
	<i>Bacillus</i> sp.	1.52	3.53
	<i>Pseudomonas lini</i>	1.44	3.51
CV		5.80	5.25
Media		1.48	3.52

Promedios con letras distintas son diferentes estadísticamente (DMS, $P \leq 0.05$), NS= no significativo. T1 Compost: arena: perlita (50:40:10). T2 Compost: arena: perlita (50:40:10), T3 Arena (100%), T4 Arena (100%) y T5 arena (100%) testigo.

V. CONCLUSIONES

El uso de RPCV en la producción de tomate en condiciones de invernadero demostró ser efectivo en comparación al testigo al mostrar un rendimiento mayor a $80 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-2}$ en los dos géneros de rizobacterias utilizados. En las variables de calidad sobresalieron consistencia de fruto específicamente en el tratamiento con inoculación de *Bacillus* sp. y en el diámetro polar en los tratamientos que se inocularon con *Bacillus* sp. y *Pseudomonas* lini mostrando mejores resultados en comparación al testigo. Las variables restantes fueron menores al testigo en la inoculación de los dos géneros utilizados, sin embargo, durante el registro de datos no se registraron dos variables en el testigo, por lo cual no se logró hacer una comparación completa.

Los tratamientos con sustrato a base de compost, arena y perlita (50:40:10) son recomendables para incrementar el rendimiento en tomate bajo condiciones de invernadero puesto que hubo una diferencia significativa con los sustratos a base de arena, en cuanto a las bacterias utilizadas fue mejor *Bacillus* sp. con lo cual se comprobó que las RPCV son una alternativa en la producción de tomate inoculadas en sustrato a base de compost, arena y perlita, lo cual ayuda a disminuir la cantidad de fertilización sintética, además de costos para este mismo manejo. En cuanto a la calidad del tomate en este trabajo no fue significativo en todas las variables al utilizar RPCV sin embargo algunas resultaron superiores al utilizar arena (100%) como sustrato.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, Y., Cayama, J., Gómez, E., Reyes N., Rojas, D. y García, H. 2006. Respiración microbiana y prueba de fitotoxicidad en el proceso de compostaje de una mezcla de residuos orgánicos, Universidad del Zulia, Revista Multiciencias, vol. 6, núm. 3, Venezuela.
- Aguirre, J. y Espinosa, J. 2016. Crecimiento y rendimiento de *Capsicum annum* L. inoculado con endomicorriza y rizobacterias, Universidad Autónoma de Chiapas- Facultad de Ciencias Agrícolas, Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.7 Núm.7.
- Alvarado, M., Díaz, A. y Peña, M. 2014. Productividad de tomate mediante micorriza arbuscular en agricultura protegida, Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.5 Núm.3, México.
- Alarcón, R. 2014. Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) con diferentes niveles de compost como sustrato orgánico en invernadero, Tesis. Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, Coahuila. México.
- Álvarez, E., Vázquez, A., Castellanos, J. y Cueto, J. 2006. Efectividad biológica de abonos orgánicos en el crecimiento de trigo, Revista Terra Latinoamericana, vol. 24, núm. 2, Chapingo, México.
- Álvarez, M., Núñez, M. y Wendlandt, T. 2017. Caracterización de la cadena de valor del tomate rojo fresco en México, Revista global de negocios, vol. 5 núm. 3, Sonora.
- Anaya, M., Jarquin, R., Hernández, C., Salvador, M. y Monreal, C. 2011. Biofertilización de café orgánico en etapa de vivero en Chiapas, México, Rev. Mex. Cienc. Agríc. Vol.2 Núm.3, Chiapas, México.
- Angulo, A., Ferrera, R., Alarcón, A., Almaraz, J., Delgadillo, J., Jiménez, M. y García, O. 2015. Crecimiento y eficiencia fotoquímica del fotosistema II en

plántulas de 2 variedades de *Capsicum annuum* L. inoculadas con rizobacterias u hongos micorrícicos arbusculares, Rev. Argent. 2018;50(2), México.

Arcos, J. y Zúñiga, D. 2015. Efecto de rizobacterias en el control de *Rhizoctonia solani* en el cultivo de papa, Rev. Ecol. apl. Vol. 14 No 2, Lima, Perú.

Bécquer, C., Nielsen, L., Quintana, M., Adesina, M., Quigley, L., Lalin, I. y Ibbotson, C. 2015. Efecto de la inoculación con bacterias rizosféricas y *Trichoderma* en trigo (*Triticum aestivum* L.), Pastos y Forrajes, Vol. 38, No. 1, Cuba.

Caro, M., Leyva, C. y Ríos, J. 2013. Competitividad mundial de la producción de chile verde de México, Revista de Economía - Vol. XXXI - Núm 83, Yucatán, México.

Carrillo, K., Colmenares, A., Ramírez, L., Moreno, L. y Cárdenas, D. 2013. Inoculación de Cilantro (*Coriandrum sativum* L.) con Rizobacterias en Villa del Rosario, Norte de Santander, Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín 68, Cúcuta, Colombia.

Cárdenas, F., Garrido, M., Roncallo, B. y Bonilla, R. 2014. Inoculación con *Azospirillum* spp. y *Enterobacter agglomerans* en Pasto Guinea (*Panicum máximum* Jacq.) en el Departamento de Cesar (Colombia), Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín, vol. 67, núm. 2, Medellín, Colombia.

Chiquito, R., Reyes, J., Chiquito, C., Vidal, L. y Hernández, L. 2019. Efecto de rizobacterias y dosis reducidas de fertilizantes sintéticos sobre la expresión morfo-productiva de tomate en invernadero, ITEA-Información Técnica Económica Agraria. Vol. xx:1-11. Xalapa, Veracruz, México.

Cisneros, C., Sánchez, M. y Menjivar, J. 2017. Efecto de bacterias solubilizadoras de fosfatos sobre el desarrollo de plántulas de café, Agron. Mesoam. 28, Costa Rica.

- Cruz, E., Estrada, M., Robledo, V., Osorio, R., Márquez, C. y Sánchez, R. 2009. Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato, Universidad y Ciencia, Academia de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Juárez Autónoma de Tabasco, México.
- Cruz, M. 2012. Comportamiento del tomate con distintos sustratos y frecuencias de riego bajo condiciones protegidas. Tesis. Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, Coahuila, México.
- Cruz, W., Barrios, J., Nieves, M., Espinoza, D. y Tirado, J. 2016. Producción de plántulas de hortalizas con *Azospirillum sp.* y aspersión foliar de miel de abeja, Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.7 Núm.1, México.
- Díaz, A., Jacques, C. y Peña, M. 2008. Productividad de sorgo en campo asociada con micorriza arbuscular y *Azospirillum brasilense*, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Biotecnología Genómica-Instituto Politécnico Nacional, INIFAP, México.
- Díaz, P., Ferrera, R., Almaraz, J. y Alcántar, G. 2001. Inoculación de bacterias promotoras de crecimiento en lechuga, Revista Terra Latinoamericana, vol. 19, núm. 4, Chapingo, México.
- Escudero, A. y Arias, C, 2012. Los microorganismos en los abonos orgánicos a partir de podas en la Universidad del Norte, Colombia, Rev. Int.
- Espinosa, B., Cano, P., Moreno, A., Álvarez, V., Sáenz, J., Sánchez, H. y González, G. 2017. Inoculación de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en el cultivo del tomate en invernadero, Revista Terra Latinoamericana volumen 35 número 2, Coahuila, México.
- Esquivel, R., Gavilanes, M., Cruz, R. y Huante, P. 2013. Importancia agrobiotecnológica de la enzima ACC desaminasa en rizobacterias, una revisión, Rev. Fitotec. Mex. Vol. 36, Coyoacán, México.

Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura, 2017. Panorama agroalimentario.

García, J., Mendoza, A. y Mayek, N. 2011. Efecto de *Azospirillum brasilense* en el rendimiento del maíz en el norte de Tamaulipas, México, Centro de Biotecnología Genómica-Instituto Politécnico Nacional.

González, A., Almaraz, J., Ferrera, R., Rodríguez, M., Taboada, O. y Trinidad, A. 2018 (es 2017). Rizobacterias y hongos micorrízicos arbusculares asociados con chile poblano en la Sierra Nevada de Puebla, México, Rev. Mex. Cienc. Agríc. vol. esp. núm. 20.

González, A., Almaraz, J., Ferrera, R., Rodríguez, M., Taboada, O., Trinidad, A., Alarcón, A. y Arteaga, R. 2015. Caracterización y selección de rizobacterias promotoras de crecimiento en plántulas de chile poblano (*Capsicum annuum* L.), Rev. Int. Contam. Ambie. 33, México.

González, G., Espinosa, B., Cano, P., Moreno, A., Leos, L., Sánchez, H. y Sáenz, J. 2018. Influencia de rizobacterias en la producción y calidad nutracéutica de tomate bajo condiciones de invernadero, Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas volumen 9 número 2, Coahuila, México.

Guillén, R., Hernández, F., Gallegos, G., Rodríguez, R., Aguilar, C., Padrón, E. y Reyes, M. 2006. *Bacillus* spp. como Biocontrol en un Suelo Infestado con *Fusarium* spp., *Rhizoctonia solani* Kühn y *Phytophthora capsici* Leonian y su Efecto en el Desarrollo y Rendimiento del Cultivo de Chile (*Capsicum annuum* L.), Revista Mexicana de Fitopatología, vol. 24, núm. 2, Texcoco, México.

Guzmán, A., Obando, M., Rivera, D. y Bonilla, R. 2012. Selección y caracterización de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (RPCV) asociadas al cultivo de algodón (*Gossypium hirsutum*), Rev. Colomb. Biotecnol. Vol. XIV No. 1, Bogotá, Colombia.

- Hernández, A., Hernández, A., Velásquez, L., Bigiramana, Y., Audenaert, K. y Hofte, M. 2003, Aplicación de Rizobacterias para Inducir Resistencia en los Sistemas Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) – *Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc. y Magnus) Lams.-Scrib. y Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) - *Botrytis cinérea* Pers.: Fr, Revista Mexicana de Fitopatología volumen 22, núm. 1, Texcoco, México.
- Hernández, D., Díaz, M., Quiñones, R., Santos, R., Portal, N. y Herrera, L. 2016. Empleo de rizobacterias para la protección de plantas de frijol frente al tizón ceniciento (*Macrophomina phaseolina*), Revista Centro Agrícola Vol.44, No.1, Cuba.
- Hernández, D., Díaz, M., Quiñones, R., Santos, R., Portal, N. y Herrera, L. 2018. Control de *Rhizoctonia solani* en frijol común con rizobacterias y productos naturales, Revista Centro Agrícola Vol.45, No.2, Cuba.
- Hernández, L., Chiquito, R., Castillo, D., Chiquito, C., Vidal, L. y Beltrán, F. 2018. Efecto de microcápsulas de *Pseudomonas putida* sobre crecimiento y rendimiento de pimiento morrón, Rev. Mex. Cienc. Agríc. vol. esp. núm. 20, México.
- Holguin, G.; Bashan, Y., Puente, E., Carrillo, A., Bethlenfalva, G., Rojas, A., Vázquez, P., Toledo, G., Bacilio, M., Glick, R., González, L., Lebsky, V., Moreno, M. y Hernández, J. 2002. Promoción del crecimiento en plantas por bacterias de la rizosfera, Agric. Téc. Méx. Vol. 29. Núm. 2.
- Lagunas, J., Zavaleta, E., Osada, S. y Aranda, S. 2001. *Bacillus firmus* como Agente de Control Biológico de *Phytophthora capsici* Leo. en Jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), Revista Mexicana de Fitopatología volumen 19, número 1, México.
- Layne, J. 2008. Respuesta de *Phaseolus vulgaris* a rizobacterias promotoras del crecimiento y resistencia inducida a *Xanthomonas campestris*, Revista

Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente, vol. 20, núm. 2, pp. 131-138, Cumaná, Venezuela.

Lorenzo, J. 2007. Producción de *Lycopersicon esculentum* en mezclas de vermicomposta: arena y con lixiviado de vermicomposta en invernadero. Tesis. Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Torreón, Coahuila, México.

Luna, L., Martínez, R., Hernández, M., Arvizu, S. y Pacheco, J. 2013. Caracterización de rizobacterias aisladas de tomate y su efecto en el crecimiento de tomate y pimiento, Rev. Fitotec. Mex. Vol. 36, Querétaro, México.

Márquez, C., Cano, P., Chew, Y., Moreno, A. y Rodríguez, N. 2006. Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero, Revista Chapingo Serie Horticultura, vol. 12, núm. 2, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.

Márquez, C., Cano, P. y Rodríguez, N. 2008. Uso de sustratos orgánicos para la producción de tomate en invernadero, Agricultura Técnica en México Vol. 34, Núm. 1. Matamoros, Coahuila, México.

Márquez, C., Cano, P., Figueroa, U., Ávila, J., Rodríguez, N. y García, J. 2014. Rendimiento y calidad de tomate con fuentes orgánicas de fertilización en invernadero, Campo experimental La Laguna, Matamoros, Coahuila, México.

Martínez, J. 2018. Rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal en el comportamiento agronómico de tomate. Tesis. Maestría. Instituto Tecnológico de Torreón. Torreón, Coahuila, México.

Martínez, L., Martínez, R., Hernández, M., Arvizu, S. y Pacheco J. 2013. Caracterización de rizobacterias aisladas de tomate y su efecto en el crecimiento de tomate y pimiento, Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro, Rev. Fitotec. Mex. Vol. 36.

- Maldonado, E., Ochoa, D. y Tlapal, B. 2007. Efecto del ácido acetil salicílico y *Bacillus subtilis* en la infección causada por *Cucumber mosaic virus* en calabacita, Revista Chapingo Serie Horticultura 14, Texcoco, México.
- Molina, D., Bustillos, M., Rodríguez, O., Morales, Y., Santiago, Y., Castañeda, M. y Muñoz, J. 2015. Mecanismos de fitoestimulación por rizobacterias, aislamientos en América y potencial biotecnológico, Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo, Revista de la DES Ciencias Biológico Agropecuarias vol. 17 núm. 2, Michoacán, México.
- Monardes, H. 2009. Manual de cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*), Facultad de CS. Agronómicas Universidad de Chile.
- Moreno, A., García, V., Reyes, J., Vásquez, J. y Cano, P. 2017. Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable, Rev. Colomb. Biotecnol. Vol. XX No. 1, Coahuila, México.
- Moreno, L., Pérez, A., Ramírez, M. y Franco, M. 2014. Efecto de la temperatura de almacenamiento sobre la viabilidad de bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno utilizadas en la elaboración de inoculantes biológicos para arveja (*Pisum sativum*) y soya (*Glycinemax*), Universidad Nacional de Colombia, Revista Colombiana de Biotecnología, vol. XVI, núm. 2, Bogotá, Colombia.
- Mejía, M., Reyes, A., Cristóbal, J., Tun, J. y Borges, L. 2016. *Bacillus spp.* en el control de la marchitez causada por *Fusarium spp.* en *Capsicum chinense*, Revista Mexicana de Fitopatología 34:208-222. Querétaro, México.
- Patiño, C. y Sánchez, M. 2013. Efecto de la aplicación de roca fosfórica y la inoculación con bacterias solubilizadoras de fosfatos sobre el crecimiento del ají (*Capsicum annum*), Acta Agronómica, vol. 63, núm. 2, Palmira, Colombia.

- Pazos, M. y Hernández, A. 2001. Evaluación de cepas nativas del género *azospirillum* y su interacción con el cultivo del arroz, Cultivos Tropicales, vol. 22, núm. 4, La Habana, Cuba.
- Reyes, A., López, M., Ruíz, E., Latournerie, L., Pérez, A., Lozano, M. y Zavala, M. 2013. Efectividad de inoculantes microbianos en el crecimiento y productividad de chile habanero (*Capsicum chinense Jacq.*), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-CIRSE, ARTÍCULO en Agrociencia 48: 285-294, Yucatán, México.
- Reyes, I. y Valery, A. 2007. Efecto de la fertilidad del suelo sobre la microbiota y la promoción del crecimiento del maíz (*Zea mays* L.) con *Azotobacter* spp., Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Revista Bioagro, vol. 19, núm. 3, Barquisimeto, Venezuela.
- Rodríguez, N., Cano, P., Figueroa, U., Palomo, A., Favela, E., Álvarez, V., Márquez, C. y Moreno, A. 2008. Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato, Rev. Fitotec. Mex. Vol. 31, Torreón, Coahuila, México.
- Rodríguez, N., Cano, P., Figueroa, U., Favela, E., Moreno, A., Márquez, C., Ochoa, E. y Preciado, P. 2009. Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero, Revista Terra Latinoamericana, vol. 27, núm. 4, Torreón, Coahuila.
- Ruiz, J., Vicente, A., Montañéz, J., Rodríguez, R. y Aguilar, C. 2012. Un tesoro percedero en México: el tomate, tecnologías para prolongar su vida de anaquel, Investigación y ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes.
- Ruiz, M., Omelas, J., Olivas, G., Acosta, C., Sepúlveda, D., Zamudio, P., Berlanga, D., Salas, M., Cambero, O. y Ríos, C. 2019. Efecto de cepas de *Bacillus* solas y en interacción con hongos fitopatógenos sobre el

crecimiento vegetal y calidad del fruto de jitomate, Revista Bio Ciencias 6, e541, Chihuahua.

Saldaña, M., Gómez, R., Rivera, M., Álvarez, J., Ortiz, C. y Pat, J. 2014. Efecto de abonos orgánicos en la dinámica microbiológica del suelo y producción de *Alpinia purpurata* (vieill) K. schum, Revista Interciencia, vol. 39, núm. 11, Caracas, Venezuela.

Sánchez, D., Gómez, R., Garrido, M. y Bonilla, R. 2012. Inoculación con bacterias promotoras de crecimiento vegetal en tomate bajo condiciones de invernadero, Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.3 Núm.7, p. 1401-1415, Colombia.

Sánchez, D., García, A., Romero, F. y Bonilla, R., 2014. Efecto de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal solubilizadoras de fosfato en *Lactuca sativa* cultivar White Boston, Universidad Nacional de Colombia, Revista Colombiana de Biotecnología, vol. XVI, núm. 2, Bogotá, Colombia.

Sánchez, R., Díaz, A., Pecina, V., Garza, I. y Loera, J. 2008. *Glomus intraradices* y *Azospirillum brasilense* en trigo bajo dos regímenes de humedad en el suelo, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Tamaulipas, México.

Santillana, N. 2006. Producción de biofertilizantes utilizando *Pseudomonas* ssp., Ecol. apl. Vol. 5 N° 1 y 2, Lima, Perú.

Santillana, N., Arellano, C. y Zúñiga, D. 2005. capacidad del *Rhizobium* de promover el crecimiento en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Miller), Ecol. apl. Vol. 4 N° 1 y 2, Lima, Perú.

Terry, E., Leyva, A. y Díaz, M. 2005. Uso combinado de microorganismos benéficos y productos bioactivos como alternativa para la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill), Cultivos Tropicales, vol. 26, núm. 3, La Habana, Cuba.

Terry, E., Martínez, T. y Pino, M. 2002. Biofertilizantes, una alternativa promisoría para la producción hortícola en organopónicos, *Cultivos Tropicales*, vol. 23, núm. 3, La Habana, Cuba.

Terry, E., Ruíz, J. y Tejeda, T. 2010. Efecto de un bioproducto a base de *Pseudomona aeruginosa* en el cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* Mill), *Revista Colombiana de Biotecnología*, vol. XII, núm. 1, Bogotá, Colombia.

VII. APÉNDICE

Cuadro A1. Análisis de varianza para la variable diámetro polar, a través de la bacteria y sustrato estudiado. UAAAN-UL 2020.

C. de variación	Gl	SC	CM	F	P>F
Repetición	2	5.6562	2.8281	1.16	0.43 NS
Bacteria	1	0.0147	0.0147	0.01	0.17 NS
Sustrato	1	0.1825	0.1825	0.07	0.79 NS
BXS	1	16.2401	16.2401	6.63	0.04 *
Error	6	14.6877	2.4479		
Total	11				
CV %	2.71				
Media	57.59				

**Altamente significativo al 1% * significativo al 5% y NS no significativo.

Cuadro A2. Análisis de varianza para la variable diámetro ecuatorial, a través de la bacteria y sustrato estudiado. UAAAN-UL 2020.

C. de variación	Gl	SC	CM	F	P>F
Repetición	2	2.0026	1.0013	0.95	0.43 NS
Bacteria	1	2.4570	2.4570	2.32	0.17 NS
Sustrato	1	12.4236	12.4236	11.75	0.01*
BXS	1	3.1518	3.1518	2.98	0.13 NS
Error	6	6.3461	1.0569		
Total	11				
CV %	2.22				
Media	46.30				

**Altamente significativo al 1% * significativo al 5% y NS no significativo.

Cuadro A3. Análisis de varianza para la variable consistencia de fruto, a través de la bacteria y sustrato estudiado. UAAAN-UL 2020.

C. de variación	Gl	SC	CM	F	P>F
Repetición	2	0.0224	0.0112	1.51	0.29 NS
Bacteria	1	0.0184	0.0184	2.48	0.16 NS
Sustrato	1	0.0052	0.0052	0.70	0.43 NS
BXS	1	0.0102	0.0102	1.37	0.28 NS
Error	6	0.0446	0.0074		
Total	11				
CV %	5.80				
Media	1.48				

**Altamente significativo al 1% * significativo al 5% y NS no significativo.

Cuadro A4. Análisis de varianza para la variable número de lóculos, a través de la bacteria y sustrato estudiado. UAAAN-UL 2020.

C. de variación	Gl	SC	CM	F	P>F
Repetición	2	0.1014	0.0507	4.05	0.07 NS
Bacteria	1	0.0102	0.0102	0.82	0.40 NS
Sustrato	1	0.1302	0.1302	10.41	0.01*
BXS	1	0.0018	0.0018	0.15	0.71 NS
Error	6	0.0750	0.0125		
Total	11				
CV %	5.70				
Media	1.96				

**Altamente significativo al 1% * significativo al 5% y NS no significativo.

Cuadro A5. Análisis de varianza para la variable espesor de pulpa, a través de la bacteria y sustrato estudiado. UAAAN-UL 2020.

C. de variación	Gl	SC	CM	F	P>F
Repetición	2	0.0806	0.0403	0.73	0.52 NS
Bacteria	1	0.1045	0.1045	1.89	0.21 NS
Sustrato	1	0.0768	0.0768	1.39	0.28 NS
BXS	1	0.4181	0.4181	7.57	0.03*
Error	6	0.3313	0.0552		
Total	11				
CV %	3.80				
Media	6.17				

**Altamente significativo al 1% * significativo al 5% y NS no significativo.

Cuadro A6. Análisis de varianza para la variable sólidos solubles (°Brix), a través de la bacteria y sustrato estudiado. UAAAN-UL 2020.

C. de variación	Gl	SC	CM	F	P>F
Repetición	2	0.0766	0.0383	1.12	0.38 NS
Bacteria	1	0.0005	0.0005	0.02	0.90 NS
Sustrato	1	0.0736	0.0736	2.14	0.19 NS
BXS	1	0.0588	0.0588	1.71	0.23 NS
Error	6	0.2060	0.0343		
Total	11				
CV %	5.25				
Media	3.52				

**Altamente significativo al 1% * significativo al 5% y NS no significativo.

Cuadro A7. Análisis de varianza para la variable altura, a través de la bacteria y sustrato estudiado. UAAAN-UL 2020.

C. de variación	Gl	SC	CM	F	P>F
Repetición	2	0.0536	0.0268	1.10	0.39 NS
Bacteria	1	0.0481	0.0481	1.98	0.20 NS
Sustrato	1	0.0005	0.0005	0.02	0.88 NS
BXS	1	0.1240	0.1240	5.09	0.06 NS
Error	6	0.1462	0.0243		
Total	11				
CV %	6.23				
Media	2.50				

**Altamente significativo al 1% * significativo al 5% y NS no significativo.

Cuadro A8. Análisis de varianza para la variable rendimiento, a través de la bacteria y sustrato estudiado. UAAAN-UL 2020.

C. de variación	Gl	SC	CM	F	P>F
Repetición	2	444.1053	222.0526	1.87	0.23 NS
Bacteria	1	187.8467	187.8467	1.58	0.25 NS
Sustrato	1	2313.6297	2313.6297	19.45	0.004 **
BXS	1	200.3774	200.3774	1.68	0.24 NS
Error	6	713.5959	118.9326		
Total	11				
CV %	15.22				
Media	71.62				

**Altamente significativo al 1% * significativo al 5% y NS no significativo.