

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



**EFECTO DE LAS RIZOBACTERIAS
PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL
SOBRE LA CALIDAD NUTRACÉUTICA DE LOS
FRUTOS DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)**

Tesis

**Que presenta GABRIELA GONZÁLEZ RODRÍGUEZ
como requisito para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS AGRARIAS**

Torreón, Coahuila, México

Diciembre 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



**EFFECTO DE LAS RIZOBACTERIAS PROMOTORAS
DEL CRECIMIENTO VEGETAL SOBRE LA CALIDAD
NUTRACÉUTICA DE LOS FRUTOS DE TOMATE
(*Solanum lycopersicum* L.)**

Tesis

Que presenta **GABRIELA GONZÁLEZ RODRÍGUEZ**
como requisito para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS AGRARIAS


Dr. Pedro Caño Ríos
Director (UAAAN)


Dr. Jorge Sáenz Mata
Director Externo

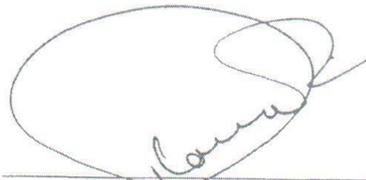
Torreón, Coahuila, México

Diciembre 2016

EFFECTO DE LAS RIZOBACTERIAS PROMOTORAS DEL
CRECIMIENTO VEGETAL SOBRE LA CALIDAD
NUTRACÉUTICA DE LOS FRUTOS DE TOMATE (*Solanum
lycopersicum* L.)

Tesis

Elaborada por GABRIELA GONZÁLEZ RODRÍGUEZ como
requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias
Agrarias con la supervisión y aprobación del Comité de
Asesoría



Dr. Pedro Cano Ríos
Asesor Principal



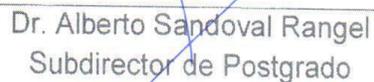
Dr. Vicente de Paul Álvarez Reyna
Asesor



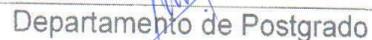
Dr. Héctor Mario Quiroga Garza
Asesor



Dr. Jorge Sáenz Mata
Asesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Subdirector de Postgrado



Departamento de Postgrado

Torreón, Coahuila, México

Diciembre 2016

AGRADECIMIENTO

*Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACYT**) por el apoyo económico otorgado para la realización de mis estudios de Maestría y lograr cumplir un objetivo más en mi desarrollo académico.*

*A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por darme la oportunidad de efectuar mis estudios y verme crecer profesionalmente, por el apoyo y facilidades otorgadas para el desarrollo de este trabajo.*

*Al **Laboratorio de Fisiología de Postcosecha-Fruticultura del Colegio de Postgraduados campus Montecillos** por la facilidad prestada para realizar las determinaciones correspondientes de esta investigación.*

*Al doctor **Pedro Cano Ríos** por invitarme a formar parte de este proyecto, por todo lo bueno que nos enseñó en clases y sus sabios consejos,*

*Al Dr. **Vicente de Paúl Alvares Reyna**, Dr. **Héctor Mario Quiroga Garza**, Dr. **Jorge Sáenz Mata**, Dr. **Alejandro Moreno Reséndez** y al Dr. **Lucio Leos Escobedo** a ellos por ser parte de este equipo de trabajo por el apoyo brindado en las revisiones de tesis y sus comentarios.*

*Al Dr. **Crescenciano Saucedo Veloz** y a la M.C. **Cecilia García**, por el apoyo brindado durante la estancia y apoyo durante la fase experimental.*

*A don **Gonzalo** e **Isidra**, a los M. C. **Nallely Flores** e **Iván Franco** por el apoyo en la fase experimental, por su compañía y su amistad.*

*A **Esther Peña** por todo su apoyo y las facilidades otorgadas para cumplir este objetivo.*

***Benjamín Nava Reyes** y **Rubén Palacio Rodríguez** por el apoyo técnico en la preparación de las bacterias y la inoculación de las PGPR.*

DEDICATORIA

*Primeramente a mi **DIOS** por regalarme la vida, por brindarme sabiduría, salud, amor y a acompañarme siempre.*

*A mi madre **Lilia Rodríguez Aguilar** por regalarme la vida, levantarme cuando caí, por apoyarme cuando no podía seguir, estar en las buenas y malas junto a mí.*

*A mi hijo **Bernardo** que es un ángel que llegó a mi vida, ser el motor de lucha en mi vida.*

*A mis hermanos **Tony** y **Juan Carlos** por ser tan especiales en mi vida, por brindarme sus apoyos, por estar siempre conmigo.*

*A mi Abuelo **Oscar Rodríguez**, por compartirme sus sabios consejos, y su amor que me da.*

*A mi amiga **Mayda Luz** por ser una mujer tan sabia, su tiempo que me brindo, aguantarme en los ratos de estrés.*

*A mi amigo y compañero de vida **Bernardo Espinosa Palomeque** quien ha estado en las buenas y en las malas conmigo, y ayudarme en todo momento.*

*A todos mis buenos profesores de la **UAAAN** quienes me transmitieron sus enseñanzas, ejemplos y sus consejos*

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO	v
ÍNDICE DE CUADRO	vii
ÍNDICE DE FIGURA	viii
COMPENDIO	ix
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	3
1.2. Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Origen e importancia del cultivo de tomate	4
2.2. Taxonomía	5
2.3. Generalidades del cultivo de tomate	5
2.4. Calidad organoléptica y nutracéutica de frutos de tomate	7
2.4.1. Los sólidos solubles totales (SST)	8
2.4.2. Acidez titulable (AT)	8
2.4.3. Relación SST/% de ácido cítrico	9
2.4.4. pH del jugo del fruto	9
2.4.5. Azúcares	10
2.4.6. Vitamina C	10
2.5. Capacidad antioxidante y carotenoides	11
2.5.1. Carotenoides	12
2.5.2. Licopeno	12
2.6. Agricultura protegida	13
2.7. Sustratos orgánicos	14
2.8. Rizósfera	15
2.9. Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal	16
2.10. Mecanismos de acción directos de las PGPR	18

2.11. Mecanismos de acción indirectos de las PGPR.....	19
2.12. Producción de reguladores del crecimiento vegetal.....	19
2.13. Solubilizadoras de fosfato	22
2.14. Fijación biológica de nitrógeno.....	23
2.15. Producción de sideróforos.....	25
2.16. Biofertilizantes.....	26
2.17. Las PGPR sobre la calidad nutracéutica de los frutos.....	28
III. ARTICULO. ENVIADO A LA REVISTA CHAPINGO SERIE HORTICULTURA. EFECTO DE PGPR SOBRE LA CALIDAD NUTRACÉUTICA DE FRUTOS DE TOMATE (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	29
IV. CONCLUSIONES GENERALES	52
V. LITERATURA CITADA	53

ÍNDICE DE CUADRO

CUADRO 1. Cuadrados medios y significancia estadística de los análisis de varianza aplicados a las variables evaluadas de calidad de fruto de tomate.	49
CUADRO 2. Valores promedio de las variables evaluadas en la calidad de fruto de tomate inoculado con PGPR y desarrollado en diferentes sustratos.	49
CUADRO 3. Cuadrados medios y significancia estadística de los análisis de varianza aplicados a las variables evaluadas de calidad de fruto de tomate.	50
CUADRO 4. Valores promedio de las variables evaluadas en la calidad nutracéutica de fruto de tomate inoculado con PGPR y desarrollado en diferentes sustratos.....	51

ÍNDICE DE FIGURA

FIGURA 1. Solubilización de fosfatos en la rizósfera, esquema general de los procesos asociados a la captación de fósforo por parte de la planta en interacción con microorganismos.....	22
FIGURA 2. Relaciones entre el ciclo del nitrógeno y los compartimentos orgánicos y minerales	25

COMPENDIO

EFFECTO DE LAS RIZOBACTERIAS PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL SOBRE LA CALIDAD NUTRACÉUTICA DE LOS FRUTOS DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)

POR: GABRIELA GONZÁLEZ RODRÍGUEZ

MAESTRIA EN CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA

TORREÓN COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE 2016

Ph. D. Pedro Cano Ríos – Asesor

Palabras claves: licopeno, sustratos, vitamina C, pH.

El uso indiscriminado de fertilizantes sintéticos ha generado grandes niveles de contaminación al ambiente, agua y suelo, ante eso, se plantean alternativas como el uso de biofertilizantes, a base de microorganismos, no disminuyen la capacidad productiva del suelo, ni lo degrada. Las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) hoy en día son una alternativa para incrementar la producción, mejorar la calidad de los frutos y disminuir la aplicación de fertilizantes sintéticos. El tomate es el principal cultivo producido bajo condiciones de invernadero. El objetivo fue evaluar la respuesta de la inoculación de las PGPR al cultivo de tomate y determinar la calidad nutracéutica de sus frutos. El experimento se realizó en un invernadero de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, se utilizó un diseño de bloques completamente al azar, con arreglo factorial (2 x 4) donde

el factor A fueron sustratos y el factor B PGPR. Las variables evaluadas fueron: contenido de sólidos solubles totales (SST), porcentaje de ácido cítrico, relación SST/AT, pH de los frutos, contenido de licopeno, vitamina C, azúcares totales y reductores. Con los datos se realizó un análisis de varianza, la diferencia entre medias de tratamientos fueron comparadas utilizando la prueba diferencia mínima significativa (DMS) al 0.05 %. Los resultados mostraron que el tratamiento T₁ (*Bacillus* sp. + S1) mejoro los contenido de licopeno (5.65 mg•100 g⁻¹), vitamina C (11.28 mg•100 g⁻¹ FF), pH (4.36), azúcares reductores (2.07 mg•100 g⁻¹ FF), solidos solubles (4.36 °Brix), mientras que el tratamiento T₂ (*Aeromonas* sp. + S1) incrementó el contenido de azúcares totales (3.95 mg•100 g⁻¹ FF). Estos resultados muestran que el uso de las PGPR más el uso del sustrato base compost mejora la calidad de frutos de tomate y puede ser una alternativa para no usar en exceso la fertilización sintética.

ABSTRACT

EFFECT OF PLANT GROWTH-PROMOTING RIZOBACTERIES ON THE
NUTRACEUTICAL QUALITY OF TOMATO FRUITS (*Solanum lycopersicum*
L.)

BY: GABRIELA GONZÁLEZ RODRÍGUEZ

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA

TORREÓN COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE 2016

Ph. D. Pedro Cano Ríos – Adviser

Key words: lycopene, substrates, vitamin C, pH

The indiscriminate use of synthetic fertilizers has generated large levels of contamination to the environment, water and soil, to that, alternatives are proposed as the use of biofertilizantes, that are based on microorganisms, these do not diminish the productive capacity of the soil, nor does it degrade. Nowadays, plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) are an alternative to increase production, improve fruit quality, and reduce the application of synthetic fertilizers. The tomato is the main grown under greenhouse conditions. The objective was evaluate the response of tomato crops to inoculation with PGPR and determine the nutraceutical quality of the fruit. The experiment was carried out in a greenhouse of Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna. A 2x4 factorial arrangement completely randomized design was used, where the A factor was the substrates and the

B factor was PGPR. The evaluated variables were: content of total soluble solids (TSS), percentage of citric acid, TSS/AT ratio, fruit pH, lycopene content, vitamin C, total sugars, and reducing sugars. An analysis of variance was done with the data, and the differences between means of the treatments were compared using the Least Significant Difference (LSD) test at 0.05 %. The results showed that the T₁ treatment (*Bacillus* sp. + S1) improved lycopene content (5.65 mg•100 g⁻¹), vitamin C (11.28 mg•100 g⁻¹ FF), pH (4.36), reducing sugars (2.07 mg•100 g⁻¹ FF), and soluble solids (4.36 °Brix), while the T₂ treatment (*Aeromonas* sp. + S1) increased the content of total sugars (3.95 mg•100 g⁻¹ FF). These results show that both use of PGPR and compost based substrate improve tomato fruit quality.

I. INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) ocupa el segundo lugar después de la papa (*Solanum tuberosum* L.), por ser el vegetal más consumido a nivel mundial y nacional ([Foolad, 2007](#)). A nivel mundial se encuentran reportes que México ocupa el lugar número diez y sus principales estados productores son: Sinaloa, Baja California Norte, Baja California Sur, Michoacán, Jalisco y Zacatecas ([SAGARPA, 2012](#)). Además su consumo ha demostrado ser benéfico para la salud, debido a su contenido de fotoquímicos como el licopeno y el β - caroteno, flavonoides, vitaminas C y muchos más nutrientes esenciales para prevenir muchas enfermedades cardiovasculares y cualquier tipo de cáncer ([Cruz et al., 2013](#)). Sin embargo es importante señalar que la calidad de los frutos se ve afectada, entre otros factores de crecimiento, por el tipo de fertilización, sustratos y genotipos empleados, así como por el sistema de producción ([San Martín-Hernández et al., 2012](#)). En México cobra relevancia económica y social generando empleos, con el fin de incrementar el rendimiento y producir en ciertas épocas del año se cultiva bajo condiciones protegidas ([Ortega et al., 2010](#)); además el cultivo requiere de grandes cantidades nitrógeno (N), y potasio (K) que son unos de los principales nutrientes que consumen las plantas en mayores cantidades que cualquier otro ([Benincasa et al., 2006](#); [Le Bot et al., 1998](#)); Los fertilizantes sintéticos presentan baja eficiencia para ser asimilados por las plantas además tiene alto costo y trae un impacto ambiental adverso, tal como la contaminación de agua, suelo y al ambiente y son riesgos para nuestra salud por el abuso excesivo de los mismo ([Armenta-Bojórquez et al., 2010](#)). Todos los consumidores prefieren alimentos libres de pesticidas, agroquímicos y con un alto valor nutrimental ([De la Cruz-Lázaro et al., 2009](#)). Es por eso que se busca alternativas, lo que se propone hoy en día es el uso de biofertilizantes a base de microorganismos rizosféricos, para sustitutos parciales o completos de la fertilización sintética ([Alarcón & Ferrera-Cerrato, 2000](#)).

Las PGPR se encuentran asociadas alrededor o en las raíces de las plantas, y realizan diversos mecanismos entre ellos se destacan los mecanismos directos e indirectos: los mecanismos directos son aquellos donde los microorganismos influyen sobre el crecimiento y desarrollo de plantas, a través de diversos procesos como la capacidad para solubilizar fosfatos inorgánicos, fijadoras de nitrógeno, la capacidad como secretoras de sustancias promotoras del crecimiento (auxinas, giberelinas, citoquininas.). Además estimulan el aprovechamiento de los nutrientes ([Ahemad & Kibret, 2013](#)), los mecanismos indirectos son aquellos donde las bacterias tienen la capacidad de controlar hongos, patógenos que afectan a las plantas ya que tienen el potencial de producir antibióticos u otros metabolitos con efectos antagónicos hacia las fitopatógenas.

Algunos de los géneros más comunes, encontrados en los ecosistemas terrestres y utilizados en la agricultura, son *Acinetobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus Pocheonensis*, *Bacillus*, *Erwinia*, *Flavobacterium* ([Esitken et al., 2010](#); [Yadav et al., 2011](#)), así como *Burkholderia*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Serratia* y muchos otros ([Beneduzi et al., 2008](#)). Además de la promoción del crecimiento de las plantas, también se emplean para controlar patógenos, incrementar la calidad del fruto y mejorar la eficiencia de los fertilizantes ([Kloepper et al., 2004](#)).

1.1. Objetivos

Determinar el efecto de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal en la calidad nutracéutica de frutos de tomate cv. Afrodita bajo condiciones de invernadero.

1.2. Hipótesis

La aplicación de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal afectara la calidad nutracéutica de frutos de tomate.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen e importancia del cultivo de tomate

El centro de origen del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) ([Bhatia & Ashwath, 2004](#); [Weese & Bohs, 2007](#)) no está definido de forma exacta, sin embargo se ubica por las costas occidental en Sudamérica en concreto en la región Andina dispersándose por Colombia, Ecuador, Perú, hasta Bolivia y el norte de Chile ([Bai & Lindhout, 2007](#)). Sin embargo existe evidencia que su domesticación ocurrió en México ([Peralta et al., 2005](#)). En México se preservan *in situ* una gran diversidad genética en formas de variedades nativas, poblaciones domésticas y silvestres, que han continuado diversificándose y adaptándose a los cambios del ambiente.

El tomate ocupa el segundo lugar después de la papa por su rico sabor, sus diversos usos en la industria como la elaboración de salsas, purés entre otros productos, además es el vegetal más consumido a nivel mundial y nacional ([Foolad, 2007](#)). Sin embargo su importancia no sólo se refiere a la producción sino también a los valores comercializados internacionalmente. La producción mundial de tomate ha crecido desde 110 390 673 hasta 161 793 834 t, en el periodo 2000-2012. Los principales países productores son China, India, Estados Unidos de América (EE.UU.), Turquía, Egipto, Italia, Irán, España, Brasil y México, en orden de producción ([FAO, 2013](#)). Prácticamente se produce en todo el territorio de la República Mexicana, los principales estados productores son Sinaloa, Baja California Norte y Sur, Michoacán, Jalisco y Zacatecas ([SAGARPA, 2012](#)).

Las frutas y hortalizas son de gran importancia por que poseen un alto potencial nutricional y terapéutico, debido a la presencia de diferentes fotoquímicos, como los compuestos fenólicos que han sido relacionados con la actividad antioxidante ([Zapata et al., 2014](#)).

2.2. Taxonomía

Taxonomía del cultivo de tomate ([Foolad, 2007](#); [Peralta et al., 2005](#)).

División: *Spermatophyta* Orden: *Solanales*
Subdivisión: *Magnoliophytina* Familia: *Solanaceae*
Clase: *Dicotiledóneas*. Género: *Solanum*
Especie: *Solanum lycopersicum* L.

2.3. Generalidades del cultivo de tomate

El tomate es una planta dicotiledónea perteneciente a la familia de las solanáceas con aproximadamente 1 500 especies [Weese y Bohs \(2007\)](#), dentro de las cuales se incluyen otras especies de interés para la agricultura y de uso ornamental como papa, pimiento, berenjena, tabaco y petunia ([Bergougnoux, 2014](#)); además es la segunda hortaliza más consumida en el mundo y es la especie más estudiada en términos de la genética, genoma [Foolad \(2007\)](#) es una especie diploide con $2n = 2x = 24$ cromosomas ([Díez & Nuez, 2008](#)).

El tomate es exigente en radiación solar; requiere de días soleados (entre 8 a 16 horas de luz) para un buen desarrollo de la planta y poder lograr una coloración uniforme del fruto. La baja irradiación afecta los procesos de floración, fecundación y desarrollo vegetativo de la planta, y reduce la absorción de agua y nutrientes ([Jaramillo et al., 2006](#)).

Raíz

El sistema radicular del tomate consta de una raíz principal pivotante que crece unos 3 cm al día, típica de origen seminal que puede alcanzar hasta 60 cm de profundidad y numerosas raíces secundarias y terciarias que pueden llegar a formar una masa densa y un cierto volumen ([Castellanos & Ojodeagua, 2009](#))

Hojas

Tienen un eje central o peciolo, que se utiliza para el monitoreo nutrimental y de este salen foliolos, son las responsables de la fotosíntesis por lo que deben de tener una buena disposición para una mayor captación de la radiación, se encuentran los estomas, estructuras por donde se realiza el intercambio gaseoso (transpiración y asimilación CO₂) ([Nuez, 1995](#)).

Tallo

Es el eje sobre el cual se desarrollan las hojas, flores, y frutos, es importante vigilar su vigor y sanidad; el diámetro puede ser de 2 a 4 cm, el porte puede ser determinado e indeterminado, además está cubierto por vellosidades que salen de la epidermis. En las axilas de las hojas del tallo principal surgen tallos secundarios, en el extremo del tallo principal se encuentra el meristemo apical ([Castellanos & Ojodeagua, 2009](#)).

Flor

Es perfecta, regular e hipógina y consta de 5 o más sépalos, de igual número de pétalos de color amarillo y dispuesto de forma helicoidal a intervalos de 135°, de igual número de estambres soldados que se alternan con los pétalos y forman un cono estaminal que envuelve al gineceo, y de un ovario bi o plurilocular. Las flores se agrupan en inflorescencias de tipo racimoso (dicasio), es frecuente que el eje principal de la inflorescencia se ramifique por debajo de la primera flor formada, dando lugar a una inflorescencia compuesta. Las inflorescencias se desarrollan cada 2-3 hojas en las axilas ([Peralta et al., 2008](#)). Según ([Contreras-Magaña et al., 2013](#)) la secuencia de aparición de órganos florales se da de manera centripeta: primero los sépalos, luego los pétalos, posteriormente los estambres y finalmente el gineceo (ovario, óvulos, estilo y estigma).

Fruto

La forma, el tamaño y peso de los frutos depende de la variedad y manejo, además el fruto tiene de dos o más lóculos, se desarrollan a partir de un ovario de cinco a diez miligramos y alcanza de un peso final en la madurez que oscilan entre los a los 500 g, en función a la variedad y condiciones de desarrollo

([Castellanos & Ojodeagua, 2009](#)). Además es considerado una fuente importante de antioxidantes “nutricionales” (vitamina A, C, D y E) así como también el (licopeno, flavonoides, flavonas y compuestos fenólicos totales) por lo cual su consumo está relacionado con el potencial antimutagenico y propiedades anticancerígenas ([Gerszberg et al., 2014](#); [Luna-Guevara & Delgado-Alvarado, 2014](#)).

Semilla

Es de forma lenticular con dimensiones aproximadamente de 5 x 4 x 2 mm, está formada por el embrión, endospermo y testa o cubierta seminal. El embrión lo forma una yema apical, dos cotiledones, el hipocotíleo y la radícula. La testa o cubierta seminal es de un tejido duro e impermeable ([Castellanos & Ojodeagua, 2009](#)).

2.4. Calidad organoléptica y nutracéutica de frutos de tomate

La calidad de los frutos es afectada por diversos factores entre ellos se encuentran las condiciones climáticas, sustrato empleado, variaciones genotípicas, sistemas de producción, y la fertilización empleada ([San Martín-Hernández et al. \(2012\)](#)). Además la calidad organoléptica es definida como una combinación de características visuales (tamaño, forma y color y propiedades sensoriales como (sabor, acidez y aroma) ([Bai & Lindhout, 2007](#); [Ece & Darakci, 2009](#)). El color de las frutas es generalmente una mezcla compleja de un amplio número de compuestos volátiles entre ellos principalmente los éteres ([Dudareva et al., 2006](#)).

El sabor es una característica importante en la calidad de la fruta y vegetales ([Kader, 2008](#)). Esta se produce por la interacción compleja de los componentes volátiles (hexano, acetona, etanol, metanol, etc.) y no volátiles (azúcares, ácidos orgánicos, amino ácidos, etc.) ([Yilmaz, 2001](#)). pero existen diferentes parámetros que, determinan la calidad interna de frutos de tomate para la industria y dentro

de ellos, los de mayor importancia son los sólidos solubles, índice de acidez, acidez titulable total y azúcares reductores entre otros ([Barrett et al., 2010](#)).

2.4.1. Los sólidos solubles totales (SST)

El contenido de sólidos solubles totales es empleado comercialmente como índice de calidad del fruto por guardar una alta correlación positiva con el contenido de azúcares ([Montaño & Méndez, 2009](#)). Por otro lado los sólidos solubles en frutos de tomate están constituidos de ácidos orgánicos, minerales y azúcares. Dentro de este grupo de compuestos, predominan los azúcares reductores, fructosa y glucosa ácidos (citrato y malato; 13 %) y otros componentes menores (fenoles, aminoácidos, pectinas solubles, ácidos ascórbico y minerales) en la pulpa del fruto de tomate ([Beckles, 2012](#); [Kader, 2008](#)). Además para procesado y consumo en fresco debe tener un contenido de sólidos solubles de 4.5 a 5.5 °Brix ([Cuartero & Fernández-Muñoz, 1999](#)).

Algunos factores que pueden influir sobre el contenido de sólidos solubles son: relación área foliar/frutos, tasa de exportación de los fotosintatos producidos por las hojas, toma de los mismos por los frutos y el metabolismo de carbono del fruto ([Weber et al. \(1997\)](#)). Así mismo también la salinidad que se presenta en los sustratos es un factor importantes para la acumulación de sólidos solubles en los frutos de tomate.

2.4.2. Acidez titulable (AT)

Los ácidos son en su mayoría ácidos orgánicos, cítricos y málicos son los que atribuyen más en el sabor del tomate, ambos encontrados principalmente en la cavidad locular y en baja proporción en el mesocarpio ([Davies et al., 1981](#); [Malundo et al., 1995](#)). Para determinar la acidez del fruto se hace por medio de titulación con una disolución alcalina (habitualmente con NaOH 0.1 N) hasta el viraje por un indicador de pH generalmente con fenolftaleína) ([Malundo et al., 1995](#)), además como ha sido mencionado por [Cuartero y Fernández-Muñoz](#)

(1999), se requieren ácidos relativamente altos para mejor sabor y obtener frutos de mayor calidad. De acuerdo a [Davies et al. \(1981\)](#) el rango requerido de acidez titulable (AT) debe de ser mayor a 0.35 % para el tomate procesado. Sin embargo [George et al. \(2004\)](#) reporta valores de 0.51 a 0.70 % de acidez titulable para tomate cherry (*S. lycopersicum var. Cerasiforme*).

2.4.3. Relación SST/% de ácido cítrico

La relación SST a la acidez titulable también da una buena indicación de la madurez del tomate ([Gonzalez-Cebrino et al., 2011](#)). Por lo tanto la calidad de los fruto depende de la relación de sólidos solubles a la acidez titulable entre más altos mejor sabor y mayor aceptación dentro del mercado, así mismo esta variable proporciona información sobre el equilibrio de azúcares y ácidos en las fruta ([Voca et al., 2008](#)). Pero además se encuentra una mayor relación de SST/ acidez titulable rango de 5.6 a 10 % en frutos maduros en la planta, en comparación con aquellos frutos cosechados en la etapa de verde maduro ([Davies et al., 1981](#)). Pero además [Rodríguez-Burruezo et al. \(2005\)](#) ha reportado que la relación SST/% de ácido cítrico depende de la herencia y variedad de tomate, los valores normales van desde los 6 hasta los 4 estos rangos indican un buen sabor equilibrado en los frutos de tomate.

2.4.4. pH del jugo del fruto

El valor optimo del pH del jugo de tomate se encuentra dentro del rango de 4.3 a 4.4 para industria ([Cuartero & Fernández-Muñoz, 1999](#)). El pH del jugo del fruto es de suma importancia por que determina el color de los frutos y maduración. La maduración es el proceso fisiológico por el que el fruto completamente desarrollado vira de color verde a rojo ([Rosati et al., 2000](#)). Además se producen importantes reacciones bioquímicas, algunas beneficiosas para el fruto en lo que respecta a calidad tales como la adquisición de color rojo y la acumulación de azúcares y compuestos volátiles mientras otras son perjudiciales para la conservación postcosecha tales como la pérdida de firmeza debido a la

desintegración de la pared celular ([Klee & Giovannoni, 2011](#); [Lewinsohn et al., 2005](#)).

2.4.5. Azúcares

El contenido de azúcares en fruto de tomate es la principal característica importante en calidad y valor, tanto en fruto destinado a fresco y para la industria. La glucosa y la fructosa comprende alrededor de 95 % de los azúcares totales en el tomate, mientras que la sacarosa se detecta en cantidades mínimas esta característica aumentan en las primera etapas de maduración y disminuye conforma a una maduración avanzada del fruto ([Young et al., 1993](#)). Pero además la entrada de azúcares en los órganos de la plantas son superiores y resulta de la operación simultánea de diferentes transportadores ([Weber et al., 1997](#)). Además, se ha demostrado que el transporte se modifica para satisfacer la demanda de azúcares.

La acumulación de azúcares que caracteriza al fruto maduro tiene su origen en los fotosintatos que el fruto recibe durante el período de maduración. El pericarpio de los frutos del genotipo que acumula más azúcares se caracteriza por tener mayor capacidad para tomar glucosa y fructosa. Por tanto, se sugiere que manipular la capacidad de las células del fruto para tomar hexosas durante el período de maduración es una estrategia para buscar plantas que produzcan frutos de mayor calidad ([Hernández et al., 2011](#); [Martínez-Barajas, 2003](#)).

2.4.6. Vitamina C

La vitamina C está presente en las frutas, verduras en forma de ácido L-ascórbico y ácido dehidroascórbico. Además se ha comprobado que el ácido ascórbico es un aceptor de radicales muy efectivo frente a superóxido, peróxido de hidrógeno, hipoclorito, radical hidroxilo. El ácido L- ascórbico (ácido 2,3- enediol, L- gulónico o 2 -oxo-L-treo-hexono-1,4-lactona-2,3-enediol, es un compuesto sencillo aunque presenta una estructura atípica cuya fórmula empírica es $C_6H_8O_6$. Es

derivado lactónico del ácido hexurónico y corresponde a una forma oxidada de la glucosa ([Gil, 2010](#)).

Por otro lado la exposición de los tomates a la luz favorece la acumulación de vitamina ácido ascórbico ([Dumas et al., 2003](#)). La vitamina C es un micronutriente esencial en la alimentación del hombre al estar asociada a la síntesis de diferentes moléculas de importancia en la salud humana, y a su efecto antioxidante relacionado con la reducción del riesgo de contraer diferentes tipos de cáncer. Su concentración final es considerada como indicador de calidad nutricional durante el procesamiento y almacenamiento de los alimentos ([Ordóñez-Santos et al., 2013](#)).

La degradación térmica de la vitamina C en los frutos aumenta al incrementar la temperatura, pH, grado de madurez, contenido de humedad, sistemas de producción entre otros factores ([Ordóñez-Santos et al., 2013](#)). Además se ha reportado que al cultivar tomates bajo condiciones de invernadero el contenido de ácido ascórbico es menor que en los cultivos producidos a campo abierto, esto debido que en el invernadero es menor la intensidad de luz ([Raffo et al., 2006](#)). Además [Peng et al. \(2008\)](#) han reportado que él se encuentra una mayor cantidad de ácido ascórbico en la piel de los tomates que en la pulpa y la semilla del fruto encontrando rango desde 7.52 hasta 15.8 mg•100 g⁻¹ de FF.

2.5. Capacidad antioxidante y carotenoides

Los antioxidantes naturales se encuentran presentes en prácticamente todas las plantas, microorganismos, hongos e incluso en los tejidos animales.

Los antioxidantes son sustancias químicas que se caracterizan por impedir o retrasar la oxidación (liberación de radicales libres) de diversas sustancias principalmente de los ácidos grasos cuyas reacciones se producen tanto en los alimentos como en el organismo humano, en el cual puede provocar alteraciones fisiológicas importantes desencadenantes de diversas enfermedades ([Coronado](#)

[et al., 2015](#); [Patthamakanokporn et al., 2008](#)). Los principales antioxidantes que se determinan en frutos son: licopeno, β -caroteno, ácido L-ascórbico y fenoles totales.

2.5.1. Carotenoides

Los carotenoides son un grupo de aproximadamente 600 pigmentos liposolubles responsables de los Colores naturales amarillos, naranjas y rojos de las frutas y vegetales ([Wilhelm & Helmut, 1996](#)). Además son compuestos isoprenoides ampliamente distribuidos en la naturaleza y se encuentran en diversos sistemas, de bacterias y plantas. Estructuralmente estas moléculas presentan 40 átomos de carbono con anillos de seis miembros en los extremos y un esqueleto central con doble enlaces conjugados, siendo esta característica un componente importante para determinar sus propiedades químicas funcionales. Esta molécula además de formar parte de los pigmentos accesorios del sistema fotosintético, también tiene otras funciones en la fisiología de las plantas por que participan en la captura de radicales libres y disipan el exceso de energía luminosa ([Hirschberg, 2001](#)); además licopeno, es un carotenoide encontrado en tomates, sandía, papaya, albaricoques, naranjas y pomelo rosado ([Vogel et al., 2010](#)).

2.5.2. Licopeno

El licopeno es el principal carotenoide más abundante que comprende de 80 a 90 % de los pigmentos presente, además es el responsable del color rojo de los frutos ([Shi & Maguer, 2000](#)). La fórmula molecular del licopeno ($C_{40}H_{56}$, PM=536.88) fue descrita por primera vez por Willstatter y Escher en el año 1990. Se han realizado estudios sobre la estructura química general del mismo, como un compuesto hidrocarbóno alifático, soluble en grasas y en lípidos ([Wilberg & Rodriguez-Amaya, 1995](#)).

Una de las funciones del licopeno y otros compuestos relacionados con los carotenoides es absorber la luz durante la fotosíntesis, protegiendo a la planta

contra foto degradación o fotosaturación ([Rao & Agarwal, 1999](#)). Entre los efectos beneficiosos del licopeno se derivan de la capacidad de secuestrar radicales libres, siendo además este efecto superior al detectado en otros carotenoides ([Periago et al., 2001](#)). Los radicales libres, producidos normalmente durante el metabolismo aerobio y también pueden originarse a partir de contaminantes ambientales y consumo de ciertos alimentos, lo que incrementa su concentración en las células, ocasionando un fenómeno conocido como estrés oxidativo, el cual está asociado con diversas enfermedades crónico degenerativas, que afectan tanto la calidad como la esperanza de vida de los pacientes ([Delgado et al., 2010](#)).

El licopeno ha llamado la atención debido a sus propiedades biológicas y fisicoquímicas en la prevención de enfermedades crónicas como cáncer, enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas, e hipertensión, entre otras, en las cuales el estrés oxidativo es un importante factor etiológico ([Waliszewski & Blasco, 2010](#)).

La cantidad de licopeno en fruto de tomate varía dependiendo de la especie, estado de madurez, fertilización empleada y condiciones ambientales; normalmente, el tomates contiene valores de 3 a 25 mg•100 g⁻¹ de FF de licopeno ([Shi & Maquer, 2000](#)). Por otro lado la degradación del licopeno se debe a la intensidad de la luz, temperaturas por debajo de 12 °C inhiben fuertemente la biosíntesis de licopeno y temperatura superior a 32 °C se detiene este proceso por completo ([Dumas et al., 2003](#)).

2.6. Agricultura protegida

La agricultura protegida es el sistema de producción realizado bajo diversas estructuras y cubiertas, entre los que destacan los invernaderos, que tienen como característica básica la protección contra los riesgos inherentes a la producción de cultivos a libre exposición, su función principal es recrear las condiciones óptimas y apropiadas de radiación, temperatura, humedad y dióxido de carbono,

para generar la reproducción, desarrollo y crecimiento de plantas, incrementando la producción en cantidad, calidad y oportunidad comercial; producir fuera de época, precocidad en los frutos, posibilidad de obtener más de un ciclo del cultivo en un año ([Castañeda et al., 2007](#); [Moreno et al., 2011](#)).

La producción de hortaliza bajo condiciones protegidas va en aumento, hoy en día lo que más se produce en invernadero son las hortalizas ejemplo el tomate, chile, pimiento morrón y melón, así como también ornamentales (rosas, petunias, crisantemos etc.) y plantas medicinales. Así como también se experimenta con materiales orgánicos ejemplo vermicompost y compost que son derivados del sector agropecuarios y que se usan como sustratos orgánicos ([Márquez et al., 2008](#)).

En nuestro país se cuentan alrededor de 15 300 ha ([Ortega-Martínez et al., 2014](#)). La Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación menciona que en México se distribuye la agricultura protegida el 66 % corresponde a invernaderos, 11 % macro túneles, 10 % casa sombras, 5 % micro túneles y 5 % techo sombra y 3 % pabellón. Entre los estados que producen en mayor cantidad bajo condiciones protegidas se encuentra Sinaloa 22 %, Baja California 14 %, Baja California sur 10 % y Jalisco con un 10 % esto representa más del 50 % de la producción protegida ([Juárez et al., 2011](#)). Además el cultivo bajo agricultura protegida permite controlar el suministro de agua, manejo integrado de plagas, uso de buenas prácticas agrícolas, acatamiento de los estándares fitosanitarios para exportación, entre otros como la temperatura y suministro de fertilizantes, así como también el sustrato juega un papel importante para tener un mejor cultivo ([Casierra et al., 2007](#)).

2.7. Sustratos orgánicos

Un sustrato es considerado como el medio donde crecen las plantas o desarrollan su sistema radical, contiene agua y nutrimentos que las plantas necesitan para su desarrollo ([Ortega et al., 2010](#)) y su principal función del sustrato es dar

soporte y sostén a las plantas ([Márquez et al., 2008](#)). Los sustratos orgánicos son una alternativa para la agricultura protegida y el uso de estos materiales presenta diversas ventajas tales como el cuidado del suelo y agua ([Cruz et al., 2012](#)) entre los sustratos orgánicos sobresalen la compost, debido a su proceso de elaboración, es un método biológico que transforman restos orgánico de distintos materias (paja, cortezas y estiércol, etc.) en un producto estable ([Claassen & Carey, 2004](#)), mejora la capacidad de almacenamiento de agua, mineralización del N, P y K, regula favorablemente el pH y fomenta la actividad microbiana ([Nieto-Garibay et al., 2002](#)). Al mezclarla con medios inertes, mejora sus características físicas y químicas evitando la hipoxia ([Márquez et al., 2008](#)), Una alternativa, es mezclar composta con medios inertes ejemplo arena de río ([García et al., 2001](#); [Márquez et al., 2008](#)), así mismo mejora la calidad interna del fruto incrementando en gran medida el contenido de vitamina C, así como también solidos solubles, licopeno y se evita tener presencia de nitratos y nitritos dentro del contenido de los frutos ([Tzortzakis & Economakis, 2008](#); [Worthington, 2001](#)).

El compost incrementa significativamente los niveles de ácidos orgánicos (málico y ácido cítrico), azúcares (fructosa, glucosa y azúcares totales) y contenido de acidez titulable en fruto de fresa (*Fragaria vesca*), lo que indica que el uso de compost puede reducir la cantidad de fertilizante requerido para el crecimiento de plantas de fresa ([Wang & Lin, 2006](#)). Así como también ([Márquez-Hernández et al., 2013](#)) reporta que la producción de tomate en invernadero y utilizando fertilización orgánica es una alternativa viable para los productores orgánicos, ya que se logran incrementar el rendimiento y la calidad.

2.8. Rizósfera

La rizósfera se define como la parte del suelo inmediata a la raíz donde habitan microorganismos en las que se incluyen hongos, nematodos, protozoos, algas y bacterias, estas interactúan entre sí con la planta y suelo ([Maheshwari, 2011](#)), y se caracteriza por presentar una alta concentración de nutrientes en comparación

con el resto del suelo en respuesta a la presencia de compuestos liberados por las plantas ([Rovira, 1973](#)).

Las funciones de la raíz no se limitan solo por el anclaje de la planta al suelo y a la captación de agua y nutrientes, sino que a través de sus exudados radiculares, la planta es capaz de modificar las condiciones físico-químicas del suelo, así como de establecer una comunicación química con los microorganismos presentes en él, alterando la población microbiana de manera directa o indirecta ([Dutta & Podile, 2010](#)). Se estima que la concentración de bacterias en la rizósfera es de 10 a 1000 veces mayor que en el suelo alejado de esta zona ([Lugtenberg & Kamilova, 2009](#)).

Los microorganismos presentes en la rizósfera muestran efectos sobre el desarrollo y rendimientos de las diversas especies de plantas ya que dichas bacterias tiene la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, además de metabolizar compuestos indólicos ([Hernández et al., 2004](#)). Además existen diferentes tipos de interacciones en la rizósfera, incluidas: a) interacciones entre la raíz-microorganismos e b) interacciones entre microorganismos. Es dividida en perjudiciales, neutrales y benéficas. En general, los beneficios de la interacción planta-microorganismo incluyen cuatro diferentes efectos: fitoestimulantes, biofertilización, biorremediación y control de microorganismos fitopatógenos ([de Weert & Bloemberg, 2006](#)).

2.9. Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal

Las bacterias conocidas como rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal o PGPR (por sus siglas en inglés Plant Growth Promoting Rhizobacteria), término propuesto por ([Kloepper et al., 1989](#)), estas pueden ser de vida libre o asociativas, aerobias, anaerobias y son conocidas como microorganismos benéficos utilizados en lugar de productos químicos sintéticos porque son capaces de estimular el crecimiento de las plantas ([Esitken et al., 2010](#)). A través de los diferentes mecanismos las incluyen la producción de fitohormonas,

compuestos volátiles, compuestos antimicrobianos (producción de enzimas líticas, sideróforos), fijación biológica de nitrógeno, la solubilización de fosfato, aumentan su absorción por parte de las plantas. Además intervienen en la fijación del nitrógeno y aumentan la absorción de agua, nutrientes y absorción del fósforo otros ([Molina-Romero et al., 2015](#)). Por otro lado son capaces de adaptarse, colonizar y persistir en la rizósfera de la planta ([Moreno & Galvis, 2013](#)). Donde mantienen poblaciones de individuos a un nivel que permite su efectividad ([Barea et al., 2005](#)). Las cuales pueden beneficiar a los cultivos ya que desempeñan un papel importante en la implementación de la agricultura sostenible ([Ahemad & Kibret, 2013](#); [Kumar & Dube 1992](#)). Por lo tanto estos microorganismos tienen un gran impacto ecológico y económico, favorece el incremento del rendimiento y reducen el uso de fertilizantes químicos ([Alarcón & Ferrera-Cerrato, 2000](#)).

Las PGRP deben de cumplir con tres características intrínsecas ([Gül et al., 2008](#); [Kloepper et al., 1989](#)):

1. Ser capaces de colonizar la raíz o su zona de influencia.
2. Sobrevivir o multiplicarse en hábitat natural, al menos el tiempo suficiente para ejercer de forma efectiva su actividad promotora del crecimiento.
3. Estimulación del crecimiento vegetal.

Algunas ventajas de las que se han descrito de su uso con respecto a la alternativa química son: a) reducen tanto el daño ambiental causado por la sobre fertilización química, así como el riesgo a la salud humana disminuyendo la necesidad de aplicación de agroquímicos tóxicos, b) Se multiplican, lo cual implica que una vez inoculado el suelo con las PGPR, pueden mantener su presencia en él. c) Su utilización es compatible tanto en sistemas agrícolas convencionales como orgánicos ([Berg, 2009](#)). Poseen capacidad de adaptación a diferentes condiciones de pH, temperatura, humedad, y se consideran como un producto orgánico natural, no toxico, cuyo uso reduciría los riesgos para la salud y medio ambiente. Además los géneros más comunes encontrados en los

ecosistemas terrestres son *Acinetobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus pocheonensis*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, *Rhizobium* ([Esitken et al., 2010](#)), *Burkholderia*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Serratia* y muchos otros ([Beneduzi et al., 2008](#); [Osorio, 2007](#)). Además de la promoción del crecimiento de las plantas, también se emplean para controlar patógenos, mejora la calidad del fruto y la eficiencia de fertilizantes ([Kloepper et al., 2004](#))

La presencia de ACC desaminasa ha sido mencionada para numerosas especies microbianas de bacterias gram negativas, gram positivas y hongos que pueden influir directa o indirecta sobre el metabolismo, mejorar la fisiología de las plantas y brindar tolerancia a factores de estrés salinos, debido a que incrementan la disponibilidad de amonio en la rizósfera y reducen las concentraciones de etileno en el suelo ([Glick, 2014](#); [Saleem et al., 2007](#)).

2.10. Mecanismos de acción directos de las PGPR

Mecanismos directos incrementan la disponibilidad de nutrientes en la rizósfera al influir en el metabolismo de las plantas y mejorar la nutrición de las plantas y mejorar la nutrición de las mismas.

Los microorganismos actúan sobre la planta, dentro de estos encontramos la producción de promotores del crecimiento vegetal (fitohormonas) como son las auxinas, giberelinas y citoquininas estas influyen en la arquitectura del sistema radicular y desarrollo aéreo de la planta, jugando un papel fundamental en la absorción de agua y mejoramiento de la nutrición al aumentar su acceso a los nutrientes en el suelo ([Persello-Cartieaux et al., 2003](#)); además también generan una mejor regulación de estomas, lo que evita su deterioro el cual está asociado al marchitamiento de plantas ([Kloepper et al., 1991](#)).

Dentro de los microorganismos asociados a la rizósfera podemos distinguir entre otros, dos grupos: beneficiosos y patógenos, que tienen la capacidad de influir en el crecimiento de las plantas en primera instancia, y finalmente en el rendimiento de los cultivos ([Dutta & Podile, 2010](#)), por diversos mecanismos,

como la fijación biológica de nitrógeno, la solubilización y la mineralización de fosfato, la producción de índoles, sideróforos ([Pii et al., 2015](#)).

2.11. Mecanismos de acción indirectos de las PGPR

Son aquellos donde los metabolitos producidos por las PGPR pueden funcionar como antagonistas. El microorganismo es capaz de inhibir diferentes patógenos perjudiciales para el desarrollo de las plantas causadas por los fitopatógenos. Cuando existen problemas de fitopatógenos en los cultivos se generan una competencia en espacio, nutrientes, agua, luz, oxígeno y etc. lo que genera un grave problema para la producción de alimentos ([Compant et al., 2005](#)). Además las PGPR tienen el potencial de producir antibióticos, enzimas líticas, cianuro, o inducción de mecanismo de resistencia lo que le permite inhibir el crecimiento de microorganismos patógenos que afectan el desarrollo de las plantas ([Bowen & Rovira, 1999](#); [Ortiz-Castro et al., 2014](#)).

También se ha comprobado que la producción de sideróforos es un mecanismo indirecto que se definen como pequeñas moléculas con cadenas laterales y grupos funcionales que les proporciona alta afinidad para captar y concentraciones férricas. Estas moléculas son producidas típicamente por bacterias hongos y plantas monocotiledóneas en respuesta al estrés por concentración limitantes de hierro en el ambiente ([Berg, 2009](#)). Los géneros *Pseudomonas* y *Bacillus*, son capaces de controlar patógenos, sobre todo hongos, sintetizando moléculas antifúngicas. Además, existen cepas bacterianas capaces de sintetizar sustancias contra otras bacterias, los antibióticos ([Whipps, 2001](#)).

2.12. Producción de reguladores del crecimiento vegetal

Las fitohormonas son sustancias endógenas bioactivas presentes en las plantas, conocidas como hormonas vegetales, estas benefician el desarrollo y el crecimiento vegetal, generando cambios en el proceso fisiológico que repercuten

en la floración, fructificación y rebrote de hojas entre otros. Estas hormonas pertenecen a 5 grupos conocidos de compuestos en el cual se incluyen auxinas, etileno, giberelinas, citoquininas y ácido abscisión ([Castillo et al., 2005](#)). Las fitohormonas son sintetizadas no solo por las plantas, sino por los microorganismos, incluyendo bacterias, hongo y actinomycetes ([Patten & Glick, 2002](#)).

Producción de AAI

El ácido indol-3-acético (IAA) es una auxina natural presente en la mayoría de las plantas, además es producida por las PGPR, que estimula la germinación de semilla y desarrollo de raíces ya que participa en la división, expansión y diferenciación de las células, también se tiene reportes de que participa en actividades como la fotosíntesis, floración, formación de raíces laterales y en resistencia al estrés ([Ahemad & Kibret, 2013](#); [Koul et al., 2015](#)), así como también gravitropismo, fototropismo y diferenciación de tejidos. Además el uso de microorganismos capaces de producir esta fitohormona en el sector agrícola es recurrente, principalmente aquellas cepas microbianas capaces de biosintetizar el ácido indol acético (auxina natural más importante), entre los géneros microbianos más importante por su producción de AIA destacan: *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Pseudomonas*, *Diazotrophicus*, *Aeromonas sp*, *A. piechaudii*, *A. brasilense*, *Comamonas acidovorans*, *Enterobacter cloacae*, *Rhizobium leguminosarum* y *Bradyrhizobium sp*. ([Malik & Sindhu, 2011](#)).

Las citocininas

Producidas por las PGPR favorecen la división celular en la raíz, la elongación, diferenciación celular e incremento del área de la raíz mediante la formación de raíces adventicias, además la formación de hojas ([Aloni et al., 2006](#)) Ejemplos de estas rizobacterias incluyen a *Acetobacter*, *Azospirillum brasilense*, *Bradyrhizobium japonicum*, *Bacillus licheniformis* y *Bacillus pumilus* en trigo (*Triticum*); *Pseudomonas fluorescens* y *Rhizobium* en soya (*Glycine Max*) ([Vacheron et al., 2014](#)).

Las gibelinas

Son moléculas complejas con grupos grandes di-terpenos tetracarboxílicos. Se han caracterizado 136 giberelinas distintas, entre las que están las AG1, AG3 y AG4 ([MacMillan, 2002](#)). Regulan diversos procesos en plantas, la germinación mediante la interrupción del periodo de latencia de las semillas, la elongación del tallo, floración, desarrollo del fruto y altura de la planta ([Kang et al., 2012](#)). Producidas por plantas, hongos y bacterias han sido identificados. Entre el grupo destacados se encuentran *G. diazotrophicus*, *A. lipoferum*, *A. brasiliense*, *B. pumilus*, *B. licheniformis*, *Herbaspirillum seropedicea* y *R. phaseoli* son especies bacterianas capaces de producir estos compuestos ([MacMillan, 2002](#)).

Etileno

El etileno es un regular del crecimiento vegetal de las plantas, es una hormona que ha sido reconocida en muchos procesos fisiológicos, incluyendo maduración, abscisión, elongación, senescencia floral y foliar, muerte celular, respuesta a factores bióticos y/o abióticos ([Bleecker & Kende, 200](#)) así como también se sintetiza a partir de S-adenosil-L metionina a través de la aminociclopropano-1-carboxilato oxidasa (ACS). Además Se ha reportado que la reducción en los niveles de etileno por acción de las rizobacterias promotoras del crecimiento, podría resultar en un mayor desarrollo de las plantas inoculadas ([Husen et al., 2011](#)).

Ácido abscísico (ABA)

Es una fitohormona isoprenoide, que regula diversos procesos fisiológicos que van desde la apertura estomática hasta el almacenamiento de proteínas y proporciona adaptación a muchas tensiones como la sequía, sal y frío ([Sah et al., 2016](#)). Esta hormona confiere a las plantas superiores la capacidad de adaptarse al estrés a través de una variedad de procesos fisiológicos y moleculares, incluyendo ajuste osmótico, cierre estomático, biosíntesis de proteína relacionada con el estrés y regulación de la expresión génica ([Harris, 2015](#)).

Desde un punto de vista fisiológico, ABA apoya la economía del agua en las plantas debido a su efecto regulador sobre los estomas y podría considerarse la verdadera Planta bajo condiciones de sal y sequía.

2.13. Solubilizadoras de fosfato

El fósforo es considerado el segundo elemento después del nitrógeno, es muy importante en el crecimiento de las plantas y tiene un papel clave en la transducción de señales, transferencia de energía, biosíntesis macromolecular, fotosíntesis y respiración celular, además de promover la fijación de nitrógeno en las leguminosas ([Khan et al., 2014](#); [Sharma et al., 2013](#)). El P disponible es absorbido por la planta en forma de H_2PO_4^- en suelos ácidos, y como HPO_4^{2-} en suelos alcalinos. El P disponible en el suelo es fácilmente convertido en complejos insolubles, como fosfatos de Fe, Al o Mn en suelos ácidos y fosfatos de Ca o Mg en suelos alcalinos, los microorganismos están involucrados en procesos que afectan la transformación del P del suelo y son componentes integrales del ciclo del P (Figura 1) ([Richardson & Simpson, 2011](#)).

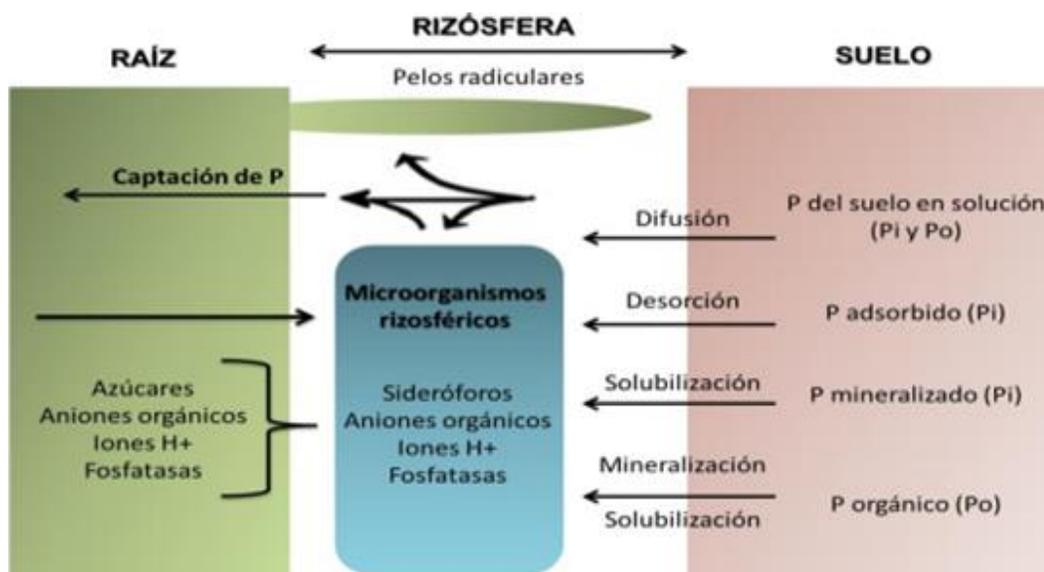


FIGURA 1. Solubilización de fosfatos en la rizósfera, esquema general de los procesos asociados a la captación de fósforo por parte de la planta en interacción con microorganismos ([Richardson et al., 2009](#)).

Los microorganismos solubilizadores de fosfato (MSF) constituyen un grupo importante de PGPR, pues están involucrados en un amplio rango de procesos que afectan la transformación del fósforo, siendo componentes integrales del ciclo edáfico de este nutriente ([Fankem et al., 2007](#)); usan diferentes mecanismos de solubilización, como la producción de ácidos orgánicos, que solubilizan dichos fosfatos insolubles en la zona rizosféricos. Los fosfatos solubles son absorbidos por la planta, lo cual mejora su crecimiento y productividad. Al utilizar esas reservas de fosfato presentes en el suelo, se disminuye la aplicación de fertilizantes químicos que, por una parte, pueden nuevamente ser fijados por iones Ca, Al o Fe volviéndolos insolubles y, por otra, incrementan los costos de producción de las cosechas ([Beltrán, 2014](#)).

Las bacterias solubilizadoras de fosfatos (BSF) son vitales para el ciclo del P en el suelo y algunas de ellas pueden ser empleadas para aumentar la disponibilidad de este elemento ([Richardson & Simpson, 2011](#)). En algunas investigaciones se ha reportado que la inoculación de microorganismos solubilizadores de P en diferentes especies forestales, además de estimular el crecimiento de las plantas en términos de altura, longitud de las raíces y biomasa, ayudan al establecimiento de las mismas en suelos deficientes en P ([Galindo et al., 2006](#); [Matias et al., 2009](#); [Ramos et al., 2006](#)). Pero además varios estudios pusieron en evidencia los géneros la capacidad de solubilizaras fosfato: *Erwinia*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Rhizobium*, *Klebsiella*, *Burkholderia*, *Serratia*, *Achromobacter*, *Agrobacterium*, *Micrococcus*, *Aereobacter*, *Flavobacterium*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Arthrobacter*, *Rhodobacter*, *Pantotea* y *Klebsiella*, entre las bacterias y, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma* y *Fusarium* entre los hongo ([Khan et al., 2014](#)).

2.14. Fijación biológica de nitrógeno

El nitrógeno (N) es un elemento necesario en la composición de proteínas, ácidos nucleicos y otros componentes celulares, siendo una molécula esencial para el crecimiento de todos los organismos ([Mayz-Figueroa, 2004](#)). Se estima

aproximadamente que cerca del 80 % del nitrógeno fijado en el planeta se debe a la actividad del género gram-negativo de bacterias *Rhizobium* ([Sessitsch et al., 2002](#)). La fijación biológica de nitrógeno (FBN) (Figura 2) es la reducción enzimática de nitrógeno atmosférico (N_2) a amonio (NH_4), compuesto químico del nitrógeno que puede ser utilizado por las plantas, la transformación de N_2 a Nitrógeno biodisponible se consigue mediante la enzima denominada nitrogenada ([Annan et al., 2012](#)).

En general la vía de metabolización es la glutamato sintasa/glutamato sintetasa (GS/GOGAT), excepto en los líquenes donde el amonio es asimilado vía glutamato deshidrogenada, además los compuestos transportados vía xilema o floema son aminoácidos, principalmente glutamina o sus derivados aminas, amidas o ureidos formados por reacciones de aminación y desaminación ([Mayz-Figueroa, 2004](#)). Por lo tanto las bacterias fijadoras de nitrógeno son capaces de entrar en las raíces de la rizósfera, particularmente en la base de las raíces laterales emergentes, entre las células epidérmicas y los pelos radiculares ([Cocking, 2003](#)). Dentro de los microorganismos fijadores de nitrógeno en forma no simbiótica se reportan los géneros *Azotobacter* sp, *Azospirillum* sp, *Pseudomonas* sp, *Enterobacter* sp, *Klebsiella* sp y *Beijerinckia* así como también los géneros *Sinorhizobium*, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium*, *Sinorhizobium* y *Azorhizobium* y la familia *Rhizobiaceae*, que pueden encontrarse en las raíces de las plantas, principalmente las leguminosas. Estos microorganismos son los responsables de la porción más grande del nitrógeno fijado en el mundo (los microorganismos aporta 65 % del nitrógeno disponible en la biósfera) ([Ludwig et al., 2004](#)).

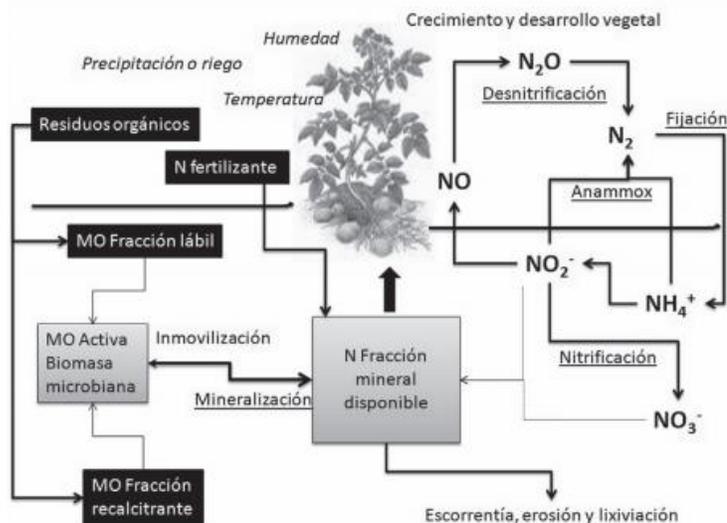


FIGURA 2. Relaciones entre el ciclo del nitrógeno y los compartimentos orgánicos y minerales. Los cuadros negros son las entradas al sistema, los grises las fracciones disponibles; sin recuadro procesos y factores que tienen influencia en la disponibilidad de nitrógeno (MO: Materia orgánica) ([Cerón & Aristizábal, 2012](#)).

2.15. Producción de sideróforos

El hierro (Fe) es un elemento esencial e indispensable para todos los seres vivos, es necesario para importantes funciones celulares como síntesis de ADN, respiración y detoxificación de radicales libres. En la naturaleza se encuentra fundamentalmente en la forma Fe^{3+} formando parte de sales e hidróxidos de muy baja solubilidad, formas químicas que imposibilitan su uso por algunos seres vivos. La disponibilidad de este elemento es fundamental en el éxito o fracaso de microorganismos patógenos o simbióticos para invadir un organismo o para colonizar un ambiente determinado. Para resolver este problema, muchos organismos, que incluyen bacterias, hongos y plantas, producen pequeñas moléculas, péptidos no ribosomales muchas de ellas, de alta afinidad por el hierro llamadas sideróforos que actúan de manera específica como agentes quelantes para secuestrar hierro en presencia de otros metales y reducirlo a Fe^{2+} , una forma mucho más soluble y aprovechable para su nutrición. Los sideróforos bacterianos han despertado gran interés en los últimos años debido al potencial que tienen

para el control biológico de hongos y bacterias fitopatógenas y constituir un mecanismo de promoción de crecimiento en rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal ([Aguado-Santacruz et al., 2012](#); [De Weger et al., 1988](#)).

Según ([Sunar et al., 2015](#)) las rizobacterias con capacidad de producir sideróforos adquieren ventajas competitivas en la colonización de la raíz, competencia por el nicho ecológico e inhibición del crecimiento de hongos fitopatógenos por la baja concentración de Fe^{3+} disponible en suelos como ocurre con *B. altitudinis* que antagonista eficientemente al patógeno *Thanatephorus cucumeris*.

Los sideróforos son pigmentos extracelulares, fluorescentes y solubles en soluciones acuosas y de pH neutros, su función se relacionan con el secuestro de hierro, convirtiéndose este elemento en un factor limitante en la rizósfera ([Dybas et al., 1995](#)).

2.16. Biofertilizantes

Los biofertilizantes son soportes que contienen microorganismos vivos aplicados a la semilla, para la colonización de la rizófora o en el interior de la planta, que promueven el crecimiento porque aumenta el suministro o disponibilidad de nutrimentos primarios a la planta ([Vessey, 2003](#)); o bien son conocidos como bioinoculantes microbianos o inoculantes del suelo, son productos agro biotecnológicos que contienen microorganismo.

En trabajos experimentales y de campo el efecto de los biofertilizantes ha sido reconocido como una forma de manejo sostenible de los agro ecosistemas ([Dobbelaere et al., 2003](#)) por otro lado la razón de usar el término fertilizantes es que en algunos países se facilita el registro para su uso comercial [Bashan \(1998\)](#). Además los microorganismos aplicados deben competir con una microflora nativa mejor adaptada a condiciones ambientales adversas, incluyendo falta de

humedad en el suelo, alta salinidad y pH extremos, que pueden disminuir rápidamente la población de cualquier especie microbiana introducida ([Armenta-Bojórquez et al., 2010](#)).

Se ha demostrado una reducción mayor al 70 % de fertilización nitrogenada química. Su uso presenta ventajas frente a los fertilización sintética, pues colaboran con la preservación del medio ambiente, ya que no implican sustancias tóxicas que afecten el sistema, generando de esta manera una agricultura sostenible ([Chen et al., 2006](#)). Además pueden actuar favoreciendo el estado nutricional o la sanidad de las plantas, a través de una gran diversidad de mecanismos como la fijación biológica de nitrógeno, el incremento de la disponibilidad y el acceso a los nutrientes del suelo, el control de agentes fitopatógenos o la activación de los sistemas de defensa de las plantas [Aguado-Santacruz Gerardo \(2012\)](#), así como también permite incrementar el valor agregado y rendimiento de los cultivos de 17 a 50 %, mejorando la fertilidad del suelo y reduciendo las poblaciones de microorganismos nocivos para los cultivos, así como también se ha comprobado que al utilizar los biofertilizantes se tienen beneficios en la calidad de los frutos por se incrementan los sólidos solubles, contenido licopeno, ácido ascórbico, azúcares totales y reductores ([Bona et al., 2016](#); [Ordookhani et al., 2013](#)).

Los géneros más utilizados en la agriculturas son: *Acinetobacter* sp., *Azospirillum*, *Pocheonensis*, *Bacillus* sp., *Erwinia*, *Flavobacterium*, *Burkholderia*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Serratia* y muchos otros. Algunos de estos microorganismos han sido eficientemente aislados y multiplicados, permitiendo así la formulación de inoculantes para su aplicación a escala en producción ([Bashan, 1998](#)).

2.17 Comportamiento de las PGPR sobre la calidad nutracéutica de los frutos

Actualmente se han realizado investigaciones del uso de la inoculación a base de PGPR en la calidad de los frutos de tomate, fresa, chile, melón y se han encontrado efectos positivos.

Según [Bona et al. \(2016\)](#) indica que la inoculación de las rizobacterias afecta positivamente la producción de flores, frutos, las concentraciones de sólidos solubles totales, pH del jugo del fruto y ácido ascórbico en los frutos de tomate. Según indican que al utilizar las PGPR en los cultivos los sólidos solubles se incrementan debido a la asimilación, disponibilidad de nutrientes y al incremento de fitohormonas. De igual manera [Pirlak y Köse \(2009\)](#) reporta incremento de azúcares totales en frutos de fresa al aplicar inoculante a base de PGPR en la raíz de la planta de fresa, así como también [Abduli et al., 2013](#) reportan incrementos de azúcares reductores en frutos de chile esto debido a la producción de sustancias reguladoras del crecimiento vegetal.

Se han reportado incrementos del contenido de licopeno, fenoles y β - carotenos en los frutos de tomate, debido a que las PGPR tienen la capacidad de reducir efectos negativos ocasionados por un estrés biótico y/o abiótico. Así como también por el incremento de potasio ([Kumar & Sharma, 2014](#); [Ordookhani et al., 2013](#)).

**III. ARTICULO. ENVIADO A LA REVISTA CHAPINGO SERIE
HORTICULTURA. EFECTO DE PGPR SOBRE LA CALIDAD
NUTRACÉUTICA DE FRUTOS DE TOMATE (*Solanum lycopersicum*
L.)**

EFFECTO DE PGPR SOBRE LA CALIDAD NUTRACÉUTICA DE FRUTO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)

Gabriela González-Rodríguez¹, Pedro Cano-Ríos^{2♦}, Jorge Sáenz-Mata^{3*}, Homero Sánchez-Galván³, Alejandro Moreno-Reséndez^{4♦}, Rosalinda Mendoza-Villarreal², Lucio Leos-Escobedo², Bernardo Espinosa-Palomeque¹

¹Estudiante del Programa de Posgrado en Ciencias Agrarias, ²Departamento de Horticultura, ⁴Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Periférico Raúl López Sánchez km 1.5 y Carretera Santa Fe S/N. Torreón, Coahuila, México. ♦Integrante del Cuerpo Académico Sistemas Sustentables para la Producción Agropecuaria UAAAN-CA-14.

³Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango, Av. Universidad S/N, Fracc. Filadelfia, C.P. 35010, Gómez Palacio, Durango, México. (Autor para correspondencia): jsaenz_mata@ujed.mx; (871) 7 096 999.

RESUMEN

Las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR, siglas en inglés), son una alternativa para incrementar la producción, mejorar la calidad de los frutos y disminuir la aplicación de fertilizantes inorgánicos. El objetivo fue evaluar la respuesta de la inoculación de las PGPR en el cultivo de tomate y determinar la calidad nutracéutica de sus frutos. El experimento se realizó en un invernadero de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, se utilizó un diseño completamente al azar, con arreglo factorial (2 x 4) donde el factor A fueron los sustratos y el factor B las PGPR. Las variables evaluadas fueron: contenido de sólidos solubles totales (SST), porcentaje de ácido cítrico, relación SST/AT, pH de los frutos, contenido de licopeno, vitamina C, azúcares totales y reductores. Con los datos se realizó un análisis de varianza, las diferencias entre medias de tratamientos fueron comparadas utilizando la prueba Diferencia

Mínima Significativa (DMS) al 0.05 %. Los resultados mostraron que el tratamiento T₁ (*Bacillus* sp + S1) aumento el contenido de licopeno (5.65 mg·100 g⁻¹), vitamina C (11.28 mg·100 g⁻¹ FF), pH (4.36), azúcares reductores (2.07 mg·100 g⁻¹ FF), solidos solubles (4.36 °Brix), mientras que el tratamiento T₂ (*Aeromonas* sp + S1) incrementó el contenido de azúcares totales (3.95 mg·100 g⁻¹ FF). Estos resultados muestran que el uso combinado de PGPR y sustrato con compost mejoran la calidad de los frutos de tomate.

Highlights

Agricultural production is negatively and positively affected by both biotic and abiotic factors

The use of PGPR is a viable alternative to nourish the crop and increase the nutraceutical quality of tomato fruits.

Compost-based organic fertilizers today are an alternative to greenhouse production for nutritional inputs and their low cost

The study shows that by using the PGPRs and substrates compost, increase the quality of the fruits

Palabras claves: licopeno, sustratos, vitamina C, azucares

INTRODUCCIÓN

El centro de origen del tomate (*Solanum lycopersicum* L.), se ubica por las costas occidental de Sudamérica en concreto en la región Andina dispersándose por Colombia, Ecuador, Perú, hasta Bolivia y el norte de Chile (Bai & Lindhout, 2007; Weese & Bohs, 2007). Sin embargo, existen evidencias de que su domesticación ocurrió en México (Peralta, Knapp, & Spooner, 2005). Este cultivo ocupa el segundo lugar después de la papa (*Solanum tuberosum* L.), por ser el vegetal más consumido a nivel mundial y nacional (Foolad, 2007), su consumo ha demostrado ser benéfico para la salud humana, debido a que el fruto contiene diferentes sustancias con propiedades funcionales como los carotenoides,

licopeno, flavonoides, vitamina C y compuestos fenólicos totales (Beecher, 1998; Luna-Guevara & Delgado-Alvarado, 2014). Cabe destacar que, los parámetros físico-químicos, nutricionales, agronómicos y sensoriales definen la calidad de los frutos (Aoun, Lechiheb, Benyahya, & Ferchichi, 2013) entre los más importantes para la industria alimentaria se encuentran el contenido de sólidos solubles totales, índice de acidez y azúcares (Barrett, Beaulieu, & Shewfelt, 2010). También es importante señalar que la calidad de los frutos se ve afectada, entre otros factores de crecimiento, por el tipo de fertilización, sustratos y genotipos empleados, así como por el sistema de producción (Murmu, Ghosh, & Swain, 2013; San Martín-Hernández, Ordaz-Chaparro, Sánchez-García, Colinas-Leon, & Borges-Gómez, 2012). Por otra parte, el compost como sustrato orgánico aporta cantidades considerables de elementos nutritivos que satisfacen la demanda del cultivo (Márquez-Hernández, Cano-Ríos, Chew-Madinaveitia, Moreno-Reséndez, & Rodríguez-Dimas, 2006). Una alternativa, es mezclar compost con medios inertes (García, Alcántar, Cabrera, Gavi, & Volke, 2001) ya que esta mejora sus características físicas y químicas evitando la hipoxia (Márquez, Cano, & Rodríguez, 2008).

El uso de biofertilizantes a base de microorganismos rizosféricos, es una alternativa para sustitutos parciales o completos de la fertilización sintética (Alarcón & Ferrera-Cerrato, 2000). Las PGPR se encuentran asociadas a las raíces de las plantas, y cumplen diversos mecanismos, directos e indirectos. Los indirectos; son aquellos donde el microorganismo es capaz de inhibir diferentes patógenos, con la producción de antibióticos y cianuro, con efecto antagónico (Bowen & Rovira, 1999; Ortiz-Castro, Contreras-Cornejo, Macías-Rodríguez, & López-Bucio, 2014) por otro lado efectos directos son aquellos donde los microorganismos, estimulan el crecimiento de las plantas, con la producción de reguladores (auxinas, citoquininas, ABA, etc.) (Ahemad & Kibret, 2013), fijación biológica de nitrógeno, la solubilización y mineralización de fósforo, producción de indoles (Pii et al., 2015), tienen un potencial de incrementar la calidad del fruto y mejoran la eficiencia de los fertilizantes (Kloepper et al., 2004). Algunos de los géneros de PGPR más comunes utilizados en la agricultura, son; *Acinetobacter*

sp., *Azospirillum*, *Pocheonensis*, *Bacillus* sp., *Erwinia*, *Flavobacterium* (Esitken et al., 2010); así como *Burkholderia*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Serratia* y muchos otros (Beneduzi, Peres, Vargas, Helena, & Passaglia, 2008). El objetivo fue evaluar la respuesta de la inoculación de las PGPR en el cultivo de tomate y determinar la calidad nutracéutica de sus frutos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en un invernadero de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Torreón, Coahuila, México. Se utilizó tomate cv. Afrodita, las semillas se sembraron el 1 de Marzo del año 2015 en charolas de poliestireno de 200 cavidades utilizando como sustrato Peat moss (Premier®), cubriéndolas con una capa delgada de vermiculita, después se cubrieron con plástico negro y se colocaron dentro del invernadero, durante tres días, para acelerar la germinación. La inoculación de las PGPR se realizó a los 12 días después de la emergencia de las plántulas por medio de inmersión de las charolas de germinación durante un periodo de 5 minutos en una suspensión bacteriana de 4 L a una concentración de 1×10^8 UFC ml⁻¹, los controles sin inocular solo se trataron con agua destilada. Se evaluaron dos sustratos en macetas de 18 L de capacidad las cuales estaban compuestas de S1 (sustrato 1): 50 % de compost, 40 % arena +10 % perita (relación v: v: v) y S2 (sustrato 2): 100 % arena.

Los tratamientos evaluados fueron: T₁: LBEndo1 (*Bacillus* sp.) + S1; T₂: KBEndo3 (*Aeromonas* sp.) + S1; T₃: KBecto4 (*Pseudomonas lini*) + S1; T₄: Sin PGPR+ S1 (Testigo 1); T₅: LBEndo1 (*Bacillus* sp.) + S2; T₆: KBEndo3 (*Aeromonas* sp.) + S2; T₇: KBecto4 (*Pseudomonas lini*) + S2 y T₈: Sin PGPR + S2 (Testigo 2).

Las tres PGPR; LBEndo1, KBEndo3 y KBecto4 se obtuvieron de la colección de rizobacterias del Laboratorio de Ecología Microbiana de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacios, Durango, México (Palacio-Rodríguez, 2015).

Para la preparación de los inóculos bacterianos, las tres cepas fueron inoculadas en medio líquido LB (Luria Bertani) y colocadas en una incubadora con agitación de 200 rpm (Precisión Scientific 815[®]) por 18-24 h a 30 °C, las concentraciones bacterianas se ajustaron a 1×10^8 UFC mL⁻¹ con buffer fosfato salino (PBS) al 0.5x.

El trasplante se llevó a cabo a los 46 días después de la siembra, cuando las plantas presentaron una altura promedio de 15 cm, colocando una planta en el centro de las bolsas de polietileno negro con capacidad de 18 litros, las cuales se llenaron con 12 kg del sustrato correspondiente. Las bolsas fueron colocadas en doble hilera con una separación de 1.60 m entre hileras y arreglo “tresbolillo”, con una separación de 0.30 m. La densidad de población fue de cuatro macetas por metro cuadrado. La arena del río es considerada como sustrato inerte de acuerdo con Márquez et al. (2006), que fue lavada y esterilizada con una solución al 5 % de hipoclorito de sodio. La arena se dejó secar al ambiente por tres días.

Riego y fertilización

El volumen de agua de riego a las macetas se aplicó de acuerdo a las etapas fenológicas del cultivo, a partir de los tres días después del trasplante, se aplicaron 0.5 L maceta·día⁻¹ de agua, posteriormente se incrementó a 0.8 y 1.9 L maceta·día⁻¹, a los 30 y 71 ddt, respectivamente. La solución nutritiva empleada para los tratamientos testigos 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 han sido aprobados por las normas de producción orgánica certificado INFOAM (2003). De ambos productos se prepararon soluciones madre a razón de 10 y 50 g en 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.

Variables evaluadas

Se cosecharon los frutos de tomate en un estado de madurez 30 y 60 % para realizar las determinaciones de: sólidos solubles totales (SST), pH, acidez titulable (AT), relación SST/AT, contenido de licopeno, vitamina C, contenido de azúcares totales y azúcares reductores.

Para la determinación de SST de los frutos, se cortaron longitudinalmente, se obtuvieron de 2 a 3 gotas de jugo y se colocaron sobre la celda de un refractómetro digital ATAGO PR -100 con escala de 0 – 32 %, mientras que para la AT se utilizó la metodología de la AOAC (1984), se obtuvo una alícuota de 30 mL, que se colocó en un matraz Erlenmeyer, se adicionaron tres gotas de fenolftaleína y se tituló con NaOH 0.1 N, para el pH del jugo del fruto se utilizó un potenciómetro (Cornig 12 Scientific Instruments, EE. UU.), el contenido de vitamina C, expresada en mg de ácido ascórbico·100 g⁻¹ fruto fresco (FF), se determinó según el método de la AOAC (1984), el contenido de azúcares totales se cuantificó por el método de Antrona descrito por Witham, Blaydes, y Devlin (1971) realizando la extracción con alcohol, se utilizó una curva estándar para obtener los cálculos y los resultados se expresaron en mg·100 g⁻¹ de FF. La concentración de azúcares reductores se cuantificó por el método de Nelson (1944) - Somogyi (1952). La extracción de licopeno se realizó según la metodología propuesta por Fish, Perkins-Veazie, y Collins (2002) utilizando hexano, acetona, etanol (2:1:1 v:v:v) y para el cálculo de licopeno se usó la ecuación propuesta por Javanmardi y Kubota (2006).

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con arreglo factorial 2 x 4, con tres repeticiones, en donde el factor A fueron los sustratos y el factor B las PGPR. Con los datos se realizó análisis de varianza, en los casos donde se encontró diferencia significativa se realizaron comparaciones de medias, mediante la prueba DMS al 0.05 % (SAS, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sólidos solubles totales

De acuerdo con Martínez-Barajas (2003), los SST son de suma importancia porque están relacionados con el sabor y contenido de glucosa en los frutos de tomate. Los resultados del análisis de varianza señalan que la interacción sustratos x PGPR resultó estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) (**CUADRO 1**). El mayor contenido de SST se presenta en los tratamientos T₁ (LBEndo1 + S1) y T₂ (KBEndo3 + S1) con valores de 4.36 y 4.26 °Brix respectivamente, el T₁ fue superior en 29.81 y 22.01 % a los valores de SST registrados en los controles T₄ y T₈, respectivamente (**CUADRO 2**). El contenido de SST se incrementa por la inoculación de las PGPR y al sustrato base compost. Este comportamiento coincide con Oliva-Llaven et al. (2010) y Premsekhar y Rajashree (2007) quienes indican que al utilizar las PGPR en el cultivo de tomate los sólidos solubles totales de los frutos se incrementan debido a la disponibilidad de nutrientes y al incremento de fitohormonas. Así como también al contenido de sales presente en los abonos orgánicos incrementa el contenido de sólidos solubles totales en los frutos (Gutierrez-Miceli et al., 2007). Los resultados obtenidos fueron superiores a los reportados por Dursun, Ekinici, y Donmez (2010) quienes encontraron un valor de 3.63 °Brix, al evaluar la aplicación en forma conjunta de *Pantoea agglomerans*, *Acinetobacter baumannii* y *Bacillus megaterium* en el cultivo de tomate.

pH del jugo de tomate

No se encontró diferencia estadística en el análisis de varianza para esta característica (**CUADRO 1**). A pesar de esto los tratamientos inoculados con PGPR presentaron una media de 4.13 de pH del jugo de los frutos, superando en 3.65 % respecto a los tratamientos testigos sin inocular (**CUADRO 2**). Este comportamiento coincide con Bona et al. (2016) quienes afirman que el pH del jugo de frutos de tomate se incrementa al inocular *Pseudomonas fluorescens* en cultivo de tomate, al respecto San Martín-Hernández et al. (2012) establece

que el pH del jugo de tomate se aumenta debido a la acumulación de sales en los sustratos. Este hallazgo coincide con Gutierrez-Miceli et al. (2007) quienes afirman que al utilizar abonos orgánicos se obtiene pH ideales en los frutos de tomate. Por otro lado el valor de 4.3 de pH que presenta el tratamiento T₁ está dentro de los rangos reportados por Campos et al. (2006) quien indica que el valor óptimo de pH en frutos de tomate apropiados para la industria oscila desde 4.30 a 4.40. El valor registrado por el tratamiento T₁ es similar a los reportados por Abduli, Amiri, Madadian, Gitipour, y Sedighian (2013) quienes reportan un valor de pH del jugo de 4.30 evaluando vermicompost. Con este experimento se ven reflejados los aportes de las PGPR y los abonos orgánicos ejemplo el compost, evaluado en el presente experimento.

Porcentaje de ácido cítrico y relación SST/AT

Para la interacción sustrato x PGPR, nuevamente fue evidente la diferencia significativa respecto al porcentaje de ácido cítrico y la relación SST/AT de los frutos de tomate (**CUADRO 1**). Como ha sido mencionado por Cuartero y Fernández-Muñoz (1999), se requieren ácidos cítricos relativamente altos para un mejor sabor y obtener frutos de mayor calidad. El porcentaje de ácido cítrico fue mayor en los tratamientos T₁, T₃ y T₆ inoculados con PGPR, con valores de 0.68, 0.68 y 0.73 respectivamente, los valores más bajos del porcentaje de ácido cítrico se reportan en los tratamientos T₄, T₅, T₇ y T₈ (**CUADRO 2**). Comportamiento que coincide con Bona et al. (2015) quienes resalta que el porcentaje de acidez titulable se incrementa en frutos de fresa (*Fragaria vesca* L.), provenientes de plantas inoculadas con PGPR en comparación a plantas sin inocular. Los valores registrados en fruto de tomate fueron superiores a los reportados por Terry, Leyva, y Díaz (2005), quienes evaluaron la aplicación de micorrizas, PGPR y Biostan® en el cultivo de tomate, bajo condiciones de invernadero, encontrando valores de 0.44 y 0.46 % de ácido cítrico, de la misma manera Meena, Kumar, Maji, Kumar, y Kumar (2014), evaluaron la cepa *Azospirillum* en el cultivo de tomate, reportando un contenido de ácido cítrico de

0.59 %, este resultado fue inferior a los valores encontrados en los tratamientos T₁, T₂, T₃ y T₄, y T₇.

En los tratamientos T₅ y T₇, inoculados con KBEndo1 y KBecto4 se vio favorecida la relación SST/AT con valores de 7.44 y 7.42, respectivamente, mientras que los valores más bajos se obtuvieron en los tratamientos T₄, T₆ y T₈ con valores de 5.49, 5.28 y 5.87, respectivamente (**CUADRO 2**). Al respecto San Martín-Hernández et al. (2012) establece que los valores de la relación SST/AT se incrementan debido a que hay una menor salinidad en el sustrato, situación que se refleja en los T₅ y T₇ en los cuales se utilizó el sustrato base arena de río. Sin embargo Cuartero y Fernández-Muñoz (1999) indica que la calidad de los fruto depende de la relación de SST/AT entre más alta sea ésta mejor sabor y mayor aceptación dentro del mercado, lo cual coincide con el resultado obtenido en el tratamiento T₁.

Licopeno

El licopeno osciló significativamente ($P \leq 0.05$) por la interacción sustrato x PGPR (**CUADRO 3**). El tratamiento T₁ (LBEndo1 + S1) obtuvo un valor de 5.65 mg·100 g⁻¹ FF, superando en 55 y 42.95 % al contenido de licopeno registrados en los controles T₄ y T₈, respectivamente (**CUADRO 4**). El contenido de licopeno se incrementa debido al uso de las PGPR en conjunto al sustrato base compost. El comportamiento coincide a lo establecido por Molla, Haque, Haque, y Ilias (2012) quien reporta que el contenido de licopeno aumenta al usar PGPR más la aplicación de compost en comparación a las plantas no inoculadas. Otra explicación es la que establece Ordookhan, Khavazi, Moezzi, y Rejali (2010), que el licopeno se incrementa debido a que las PGPR tienen la capacidad de reducir los efectos negativos ocasionados por un estrés biótico y/o abiótico. Además el valor 5.65 mg·100 g⁻¹ FF, fue superior en 82.25 % a valor reportado por Kumar y Chetti (2013) quienes evaluaron la inoculación las cepas *Azospirillum brasiliense*, en plantas de tomate, bajo condiciones de invernadero. Por otro lado, el tratamiento T₁ registro un valor similar a los contenidos de 5.26 y 5.28 mg·100 g⁻¹

¹ FF reportados por Kumar y Sharma (2014), quienes evaluaron *Azotobacter* + vermicompost + NPK 300 ha⁻¹ en dos ciclos del cultivo de tomate.

Vitamina C

El análisis de varianza registró diferencia altamente significativa ($P \leq 0.01$) por efecto de la interacción sustrato x PGPR (**CUADRO 3**). Los tratamientos que presentaron mayor contenido del porcentaje de ácido ascórbico fueron los tratamientos T₁, T₂ y T₃ inoculados con PGPR + S1, con valores de 11.28, 9.98 y 9.49 mg·100 g⁻¹ FF, respectivamente, superando ampliamente a los controles T₄ y T₈ con un valor para ambos tratamientos de 7.18 mg·100 g⁻¹ FF (**CUADRO 4**). Los resultados obtenidos en los tratamientos T₁, T₂ y T₃ se deben a que el sustrato compost tiene mayor aportación de nutrientes, comportamiento que coincide con Molla et al. (2012) quienes reportan que el porcentaje de ácido ascórbico en frutos de tomate aumenta debido al uso biofertilizantes y abonos orgánicos. Situación que coincide con otros investigadores (Rembiałkowska, 2007; Vinha, Barreira, Costa, Alves, & Oliveira, 2014; Worthington, 2001) que mencionan que los sistemas de producción orgánico mejoran el contenido de vitamina C y a su vez reducen el contenido de nitratos, nitritos y residuos de plaguicidas en frutos de tomate. Otra posible explicación del incremento del ácido ascórbico podrían estar vinculado con la mayor disponibilidad de azúcares, que son importantes para la biosíntesis de la vitamina C (Cruz-Rus, Amaya, Sánchez-Sevilla, Botella, & Valpuesta, 2011). El valor obtenido por el T₁ es similar a los reportados los reportados por Ordookhani, Moezi, Khavazi, y Rejali (2013) quienes inocularon *Azospirillum lipoferum* y *Azotobacter chroococcum* más micorrizas en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero reportando un valor de 11.88 mg·100 g⁻¹ FF.

Azúcares totales y reductores

El análisis de varianza registró diferencia altamente significativa ($P \leq 0.01$) para las variables azúcares totales y azúcares reductores, en la interacción de sustratos x PGPR (**CUADRO 3**). Los mayores incrementos de azúcares totales

se registraron en los tratamientos T₁, T₂, T₃, T₅ con valores de 3.40, 3.95, 3.81 3.65 mg·100 g⁻¹ FF, respectivamente aplicando PGPR, los valores más bajos se obtuvieron en los controles T₄ y T₈ con valores de 2.30 y 3.04 mg·100 g⁻¹ FF respectivamente (**CUADRO 4**). De acuerdo con Kumar, Singh, y Mishra (2015) los azúcares totales se incrementan en frutos de fresa al aplicar PGPR más la aplicación de vermicompost en comparación a plantas control. Sin embargo, el valor 3.95 mg·100 g⁻¹ FF obtenido por el tratamiento T₂ fueron superiores en al menos 65.96 % del contenido de azúcares totales en frutos de tomate usando abonos inorgánicos e inóculos con PGPR (Chatterjee, Jana, & Paul, 2013). Este comportamiento coincide con Molla et al. (2012) quienes reportan incrementos de azúcares totales hasta un 5.11 mg·100 g⁻¹ FF de tomate utilizando biofertilizantes y compost en comparación al testigo. Al igual que Pırlak y Köse (2009) reporta incremento de azúcares totales en los frutos de fresa al aplicar PGPR en la raíz de las plantas de fresa reportando valores de 5.90 mg·100 g⁻¹ FF. Sin embargo, Turhan y Seniz (2009) mencionó que el tomate maduro contiene por lo general entre 1.7 a 4.7 mg 100 g⁻¹ FF de azúcares totales. De acuerdo a lo anterior, los valores obtenidos están dentro de los rangos mencionados que son importantes para la industria.

El mayor contenido de azúcares reductores se registró en los tratamientos T₁, T₂, y T₆, inoculados con PGPR los cuales resultaron estadísticamente iguales con una media de 2.54 mg·100 g⁻¹ FF, superaron en 42.20 y 34.33 %, a los valores registrados en los controles T₄ y T₈, donde obtuvieron 1.47 y 1.67 mg 100 g⁻¹ FF, respectivamente (**CUADRO 4**). Por otro lado, el valor 2.07 mg 100 g⁻¹ FF registrado en el tratamiento T₁ resultó ser similar al valor 2.66 mg·100 g⁻¹ FF reportado por Pal et al. (2015) en tomate cv. Azas T-6, al evaluar abonos orgánicos. Este hecho está relacionado con Pırlak y Köse (2009) quienes indican que al aplicar las PGPR en la raíz de las plantas de fresa tienen un potencial de aumentar el contenido de azúcares reductores en los frutos de fresa esto debido a la producción de las sustancias estimuladoras del crecimiento. Los resultados obtenidos coinciden con Abou-Aly, Zaghloul, Ehsan, Rahal, y Rasha (2012)

quienes registraron un incremento de azúcares reductores en frutos de chile (*Capsicum annuum* L.) con la aplicación de PGPR.

CONCLUSIÓN

En general el presente estudio confirma que la inoculación de las plantas de tomate con las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal más el uso del sustrato base compost puede aplicarse de manera efectiva en el cultivo de tomate en invernadero, ya que mejoran la calidad de los frutos, obteniendo mayores contenidos de licopeno, vitamina C, azúcares totales, azúcares reductores, lo que indica que podrían ser una alternativa para disminuir la aplicación de fertilizantes sintéticos.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT), por la beca otorgada para realizar estudios de Maestría en Ciencias en el Programa de Posgrado en Ciencias Agrarias de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro – UL.

REFERENCIAS

- Abduli, M. A., Amiri, L., Madadian, E., Gitipour, S., & Sedighian, S. (2013). Efficiency of vermicompost on quantitative and qualitative, growth of tomato plants. *International Journal of Environmental Research*, 7(2), 467-472.
- Abou-Aly, H. E., Zaghloul, R. A., Ehsan, E. A., Rahal, A. G., & Rasha, M. E.-M. (2012). Colonization of pepper roots with salt-tolerant PGPR as an inducer for saline stress. *Annals of Agricultural Sciences*, 58(1), 1-11.
- Ahemad, M., & Kibret, M. (2013). Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. *Journal of King Saud University - Science*, 26(1), 1-20. doi: 10.1016/j.jksus.2013.05.001

- Alarcón, A., & Ferrera-Cerrato, R. (2000). Biofertilizantes: impotancia y utilización en la agricultura. *Agricultura Técnica en México*, 26(2), 191-203.
- AOAC. (1984). Official methods of analysis of the association of official analytical chemist (13 th ed., pp. 1023). Arlington, Virginia, USA.
- Aoun, B. A., Lechiheb, B., Benyahya, L., & Ferchichi, A. (2013). Evaluation of fruit quality traits of traditional varieties of tomato (*Solanum lycopersicum*) grown in Tunisia. *African Journal of Food Science*, 7(10), 350-354. doi: 10.5897/ajfs2013.1067
- Bai, Y., & Lindhout, P. (2007). Domestication and breeding of tomatoes: what have we gained and what can we gain in the future?. *Ann Bot*, 100(5), 1085-1094. doi: 10.1093/aob/mcm150
- Barrett, M. D., Beaulieu, C. J., & Shewfelt, R. (2010). Color, flavor, texture, and nutritional quality of fresh-cut fruits and vegetables: desirable levels, instrumental and sensory measurement, and the effects of processing. *Critical Reviewa in Food Science and Nutrition*, 50(5), 369-389. doi: 10.1080/10408391003626322
- Beecher, G. R. (1998). Nutrient content of tomatoes and tomato products. *Experimental Biology and Medicine*, 218(2), 98-100.
- Beneduzi, A., Peres, D., Vargas, K. L., Helena, Z.-B. M., & Passaglia, P. L. M. (2008). Evaluation of genetic diversity and plant growth promoting activities of nitrogen-fixing bacilli isolated from rice fields in South Brazil. *Applied Soil Ecology*, 39(3), 311-320. doi: 10.1016/j.apsoil.2008.01.006
- Bona, E., Cantamessa, S., Massa, N., Manassero, P., Marsano, F., Copetta, A., . . . Berta, G. (2016). Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting pseudomonads improve yield, quality and nutritional value of tomato: a field study. *Mycorrhiza*, 1(1), 1-11. doi: 10.1007/s00572-016-0727-y
- Bona, E., Lingua, G., Manassero, P., Cantamessa, S., Marsano, F., Todeschini, V., . . . Berta, G. (2015). AM fungi and PGP pseudomonads increase flowering, fruit production, and vitamin content in strawberry grown at low nitrogen and phosphorus levels. *Mycorrhiza*, 25(3), 181-193. doi: 10.1007/s00572-014-0599-y

- Bowen, G. A., & Rovira, A. D. (1999). The rhizosphere and its management to improve plant growth. *Advances in Agronomy*, 66, 1-102.
- Campos, C. A. B., Fernandes, P. D., Gheyi, H. R., Blanco, f. F., Gonçalves, C. B., & Campos, S. A. F. (2006). Yield and fruit quality of industrial tomato under saline irrigation. *Scientia Agricola*, 63(2), 146-152.
- Castellanos, Z. J., & Ojodeagua, J. L. (2009). Formulacion de la solucion nutritiva. En: J. Z. Castellano (Ed.). *Manual de produccion de tomate en invernadero* (pp. 131-156). Celaya, Gto, Mexico.: Intagri, S. C.
- Cruz-Rus, E., Amaya, I., Sánchez-Sevilla, J. F., Botella, M. A., & Valpuesta, V. (2011). Regulation of L-ascorbic acid content in strawberry fruits. *Experimental Botany*, 1-11. doi: 10.1093/jxb/err122
- Cuartero, J., & Fernández-Muñoz, R. (1999). Tomato and salinity. *Scientia Horticulturae*, 78, 83-125.
- Chatterjee, R., Jana, J. C., & Paul, P. K. (2013). Vermicompost substitution influences shelf life and fruit quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *American Journal of Agricultural Science and Technology*, 1, 69-76. doi: 10.7726/ajast.2013.1006
- Dursun, A., Ekinçi, M., & Donmez, M. F. (2010). Effects of foliar application of plant growth promoting bacterium on chemical contents, yield and growth of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) and Cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Pakistan Journal of Botany*, 42(5), 3349-3356.
- Esitken, A., Yildiz, H. E., Ercisli, S., Donmez, M. F., Turan, M., & Gunes, A. (2010). Effects of plant growth promoting bacteria (PGPB) on yield, growth and nutrient contents of organically grown strawberry. *Scientia Horticulturae*, 124(1), 62-66. doi: 10.1016/j.scienta.2009.12.012
- Fish, W. W., Perkins-Veazie, P., & Collins, J. K. (2002). A Quantitative Assay for Lycopene That Utilizes Reduced Volumes of Organic Solvents. *Journal of Food Composition and Analysis*, 15(3), 309-317. doi: 10.1006/jfca.2002.1069
- Foolad, M. R. (2007). Genome mapping and molecular breeding of tomato. *International Journal of Plant Genomics*, 2007, 1- 52.

- García, C. O., Alcántar, G. G., Cabrera, R. I., Gavi, F. R., & Volke, V. H. (2001). Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en macetas. *Terra Latinoamericana*, 19(3), 249-258.
- Gutierrez-Miceli, F. A., Santiago-Borraz, J., Montes Molina, J. A., Nafate, C. C., Abud-Archila, M., Oliva Llaven, M. A., . . . Dendooven, L. (2007). Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Bioresource Technology*, 98(15), 2781-2786. doi: 10.1016/j.biortech.2006.02.032
- INFOAM. (2003). International Federation of Organic Agriculture Movements. *Norma para la producción y procesado orgánico* (pp. 158). Alemania.
- Javanmardi, J., & Kubota, C. (2006). Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, 41(2), 151-155. doi: 10.1016/j.postharvbio.2006.03.008
- Kloepper, J. W., Reddy, M. S., Rodríguez -Kabana, R., Kenney, D. S., Kokalis-Burelle, N., Martínez-Ochoa, N., & Vavrina, C. S. (2004). Application for rhizobacteria in transplant production and yield enhancement. *Acta Horticulturae*, 631, 217-229.
- Kumar, K. G. M., & Chetti, M. B. (2013). Influence of Microbial Inoculants and Nutrients on Morpho- physiological, Growth, Bio-chemical, Quality Traits and Yield Potential in Tomato (*Lycopersicon esculentum* L.Mill.). *Trends in Biosciences*, 6(3), 251-255.
- Kumar, N., Singh, H. K., & Mishra, P. K. (2015). Impact of Organic Manures and Biofertilizers on Growth and Quality Parameters of Strawberry cv. Chandler. *Indian Journal of Science and Technology*, 8(15). doi: 10.17485/ijst/2015/v8i15/51107
- Kumar, R., & Sharma, K. M. (2014). Effect of soilless growing media, biofertilizers and fertigation levels on greenhouse tomato production. *Journal of Horticulture*, 9(2), 408-411.

- Luna-Guevara, M. L., & Delgado-Alvarado, A. (2014). Importancia, contribución y estabilidad de antioxidantes en frutos y productos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Avances en Investigación Agropecuaria*, 18(1), 51-66.
- Márquez- Hernández, C., Cano-Ríos, P., Chew-Madinaveitia, Y. L., Moreno - Reséndez, A., & Rodríguez-Dimas, N. (2006). Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 12(2), 183-188.
- Márquez, H. C., Cano, R. P., & Rodríguez, D. N. (2008). Uso de sustratos orgánicos para la producción de tomate en invernadero. *Agricultura Técnica en México*, 34(1), 69-74.
- Martínez-Barajas, E. (2003). Análisis de la acumulación de azúcares en pericarpios de dos genotipos silvestres de jitomate (*Lycopersicon esculentum*). *Agrociencia*, 37(4), 363-370.
- Meena, R. K., Kumar, S., Maji, S., Kumar, D., & Kumar, M. (2014). Effect of organic manures and biofertilizers on growth, flowering, yield and quality of tomato cv. PUSA SHEETAL. *International Journal of Agricultural Sciences*, 10(1), 329-332.
- Molla, A. H., Haque, M., Haque, A., & Ilias, G. N. M. (2012). *Trichoderma*-Enriched biofertilizer enhances production and nutritional quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) and minimizes NPK fertilizer use. *Agricultural Research*, 1(3), 265–272. doi: 10.1007/s40003-012-0025-7
- Murmu, K., Ghosh, B. C., & Swain, D. K. (2013). Yield and quality of tomato grown under organic and conventional nutrient management. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 59(10), 1311-1321. doi: 10.1080/03650340.2012.711472
- Nelson, N. (1944). A Photometric adaptation of the Somogyi Method for the determination of glucose. *Journal Biological Chemistry*, 153, 375-380.
- Oliva-Llaven, M. Á., Rodríguez-Hernández, L., Mendoza-Nazar, P., Ruiz-Sesma, B., Álvarez-Solís, J. D., Dendooven, L., & Gutiérrez-Miceli, F. A. (2010). Optimization of worm-bed leachate for culturing of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) inoculated with *Glomus fasciculatum* and *Pseudomonas fluorescens*. *Electronic Journal of Biotechnology*, 13(2), 1-8.

- Ordookhan, K., Khavazi, K., Moezzi, A., & Rejali, F. (2010). Influence of PGPR and AMF on antioxidant activity, lycopene and potassium contents in tomato. *African Journal of Agricultural Research*, 5(10), 1108-1116. doi: 10.5897/AJAR09.183
- Ordookhani, K., Moezi, A., Khavazi, K., & Rejali, F. (2013). Effect of plant growth promoting *rhizobacteria* and *mycorrhiza* on tomato fruit quality. *In Southeast Asia Symposium on Quality Management in Postharvest Systems and Asia Pacific Symposium on Postharvest Quality*, 989(1), 91-96.
- Ortíz-Castro, R., Contreras-Cornejo, H. A., Macías-Rodríguez, L., & López-Bucio, J. (2014). The role of microbial signals in plant growth and development. *Plant Signaling & Behavior*, 4(8), 701-712. doi: 10.4161/psb.4.8.9047.
- Palacio-Rodríguez R. (2015). Caracterización de rizobacterias promotoras de crecimiento Vegetal del pasto halófito *Distichlis spicata* (L) poaceae. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, Durango, México.
- Pal, A., Maji, S., Govind, Kumawat, R., Kumar, S., & Meena, D. C. (2015). Efficacy of various sources of nutrients on growth, flowering, yield and quality of tomato (*Solanum lycopersicum*) cv. Azad T-6. *The Bioscan An International Quaterly Journal of Life Sciences*, 10(1), 473-477.
- Peralta, I. E., Knapp, S., & Spooner, D. M. (2005). New species of wild tomatoes (*Solanum* section *Lycopersicon*: Solanaceae from Northern Peru. *Systematic Botany*, 30(2), 424-434. doi: 10.1600/0363644054223657
- Pii, Y., Mimmo, T., Tomasi, N., Terzano, R., Cesco, S., & Crecchio, C. (2015). Microbial interactions in the rhizosphere: beneficial influences of plant growth-promoting rhizobacteria on nutrient acquisition process. A review. *Biology and Fertility of Soils*, 51(4), 403-415. doi: 10.1007/s00374-015-0996-1
- Pırlak, L., & Köse, M. (2009). Effects of Plant Growth Promoting Rhizobacteria on Yield and Some Fruit Properties of Strawberry. *Journal of Plant Nutrition*, 32(7), 1173-1184. doi: 10.1080/01904160902943197

- Premsekhar, M., & Rajashree, V. (2007). Influence of bio-fertilizers on the growth characters, yield attributes, yield and quality of tomato. *Journal of Sustainable Agriculture*, 3(1), 68-70.
- Rembialkowska, E. (2007). Quality of plant products from organic agriculture. *Journal of the Science Food and Agriculture*, 87(15), 2757–2762. doi: 10.1002/jsfa.3000
- San Martín-Hernández, C., Ordaz-Chaparro, V. M., Sánchez-García, P., Colinas-Leon, M. T. B., & Borges-Gómez, L. (2012). Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponía con diferentes granulometrías de tezontle. *Agrociencia*, 46(3), 243-254.
- SAS. (2004). Statistical Analysis System. *What's New in SAS 9.0, 9.1, 9.1.2 and 9.1.3*. SAS Institute Inc: Cary N. C. USA.
- Somogyi, M. (1952). Notes on sugar determination. *Journal Biological Chemistry*, 195, 19-23.
- Terry, E., Leyva, A., & Díaz, M. M. (2005). Uso combinado de microorganismos benéficos y productos bioactivos como alternativa para producción de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill). *Cultivos Tropicales*, 26(3), 77-81.
- Turhan, A., & Seniz, V. (2009). Estimation of certain chemical constituents of fruits of selected tomato genotypes grown in Turkey. *African Journal of Agricultural Research*, 4(10), 1086-1092.
- Vinha, A. F., Barreira, S. V. P., Costa, A. S. G., Alves, R. C., & Oliveira, M. B. P. P. (2014). Organic versus conventional tomatoes: Influence on physicochemical parameters, bioactive compounds and sensorial attributes. *Food and Chemical Toxicology*, 67, 139–144. doi: 10.1016/j.fct.2014.02.018
- Weese, T. L., & Bohs, L. (2007). A three-gene phylogeny of the genus *Solanum* (Solanaceae). *Systematic Botany*, 32(2), 445-463. doi: 10.1600/036364407781179671
- Witham, H. F., Blaydes, D. F., & Devlin, R. M. (1971). *Experiments in Plant Physiology*. Van Nostrand Reinhold C. New York, USA.

Worthington, V. (2001). Nutritional quality of organic versus conventional fruits, vegetables, and grains. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 7(2), 161–173.

CUADRO 1. Cuadros medios y significancia estadística de los análisis de varianza aplicados a las variables evaluadas de calidad de fruto de tomate.

FV	GL	SST	pH	AT	SST/AT
Sustratos	1	0.0353 NS	0.0704 NS	0.0035 NS	0.4565 NS
PGPR	3	1.2887 **	0.0026 NS	0.0107 NS	1.9642 **
Sustrato x PGPR	3	0.1730 *	0.0749 NS	0.0202 *	2.8040 **
Error	16	0.0506	0.0467	0.0038	0.346
CV. (%)		5.75	5.23	10.14	9.24

FV = fuente variación; GL = grados de libertad; SST = Sólidos solubles totales; AT = acidez titulable; CV. = coeficiente de variación; NS = no significativo; * = significativo ($P \leq 0.05$); ** = altamente significativo ($P \leq 0.01$).

CUADRO 2. Valores promedio de las variables evaluadas en la calidad de fruto de tomate inoculado con PGPR y desarrollado en diferentes sustratos.

Tratamiento	SST (°Brix)	pH	AT (% de ácido cítrico)	Relación SST/AT
T ₁	4.36 a ^z	4.36	0.68 ab	6.42 abc
T ₂	4.26 a	4.13	0.61 bc	6.96 ab
T ₃	4.10 ab	4.13	0.68 ab	6.04 bdc
T ₄	3.06 c	4.10	0.56 c	5.49 cd
T ₅	4.16 ab	4.16	0.56 c	7.44 a
T ₆	3.80 b	4.06	0.73 a	5.28 d
T ₇	4.13 ab	4.13	0.56 c	7.42 a
T ₈	3.40 c	3.93	0.58 cb	5.87 d
Media	3.91	4.13	0.62	6.37
DMS	0.3896	0.3739	0.1091	1.0181

^zPromedios con letras distintas en cada columna son estadísticamente diferentes (DMS, $P \leq 0.05$); SST = Sólidos solubles totales; AT = acidez titulable.

CUADRO 3. Cuadrados medios y significancia estadística de los análisis de varianza aplicados a las variables evaluadas de calidad de fruto de tomate.

FV	GL	Licopeno	Azúcares totales	Azúcares reductores	Vitamina C
Sustratos (S)	1	1.1223 *	1.2105 **	0.0020 NS	26.2295 **
PGPR	3	5.0007 **	1.0376 **	0.2663 **	5.3731 **
S x PGPR	3	0.7411 *	0.3276 *	0.0557 **	3.5380 **
Error	16	0.1586	0.0776	0.0043	0.6170
CV. (%)		9.56	8.37	3.48	9.31

FV = fuente variación; GL = grados de libertad; CV. = coeficiente de variación; NS = no significativo; * = significativo ($P \leq 0.05$); ** = altamente significativo ($P \leq 0.01$).

CUADRO 4. Valores promedio de las variables evaluadas en la calidad nutracéutica de fruto de tomate inoculado con PGPR y desarrollado en diferentes sustratos.

Tratamiento	Licopeno	Azúcares Totales	Azúcares Reductores	Vitamina C (mg de ácido ascórbico·100 g ⁻¹ FF)
	(mg·100 g ⁻¹ FF)			
T ₁	5.65 a ^z	3.40 bcd	2.07 a	11.28 a
T ₂	4.25 b	3.95 a	2.04 a	9.98 ab
T ₃	4.41 b	3.81 ab	1.98 ab	9.49 b
T ₄	3.23 c	3.04 d	1.47 d	7.18 c
T ₅	4.41 b	3.65 abc	1.81 c	7.61 c
T ₆	4.67 b	3.30 cd	2.02 a	7.45 c
T ₇	4.19 b	3.08 d	1.99 ab	7.33 c
T ₈	2.54 c	2.38 e	1.67 c	7.18 c
Media	4.17	3.33	1.88	8.44
DMS	0.6894	0.4821	0.1138	1.3596

^zPromedios con letras distintas en cada columna son estadísticamente diferentes (DMS, P ≤ 0.05).

IV. CONCLUSIONES GENERALES

En la actualidad, se pretende producir alimentos con tecnologías menos contaminantes para el medio ambiente, suelo y agua, la cual incluye reducción de fertilizantes químicos, una alternativa es el uso de microorganismos benéficos para la planta, estos cumplen con diversos mecanismos los más conocidos son los directos que son los que benefician a las plantas y los indirectos controlan los fitopatógenos.

En general presente estudio confirma que la inoculación de las rizobacterias a las plantas de tomate más el uso de la mezcla a base de compost pueden aplicarse de manera efectiva en el cultivo de tomate en invernadero, ya que tienen den a mejora la calidad nutracéutica de los frutos de tomate, lo que indica que podría ser una alternativa para disminuir la aplicación de fertilización sintética.

V. LITERATURA CITADA

- Abduli, M. A., Amiri, L., Madadian, E., Gitipour, S., & Sedighian, S. (2013). Efficiency of vermicompost on quantitative and qualitative, growth of tomato plants. *International Journal of Environmental Research*, 7(2), 467-472.
- Aguado-Santacruz, G. A., Moreno-Gomez, B., Jiménez-Francisco, B., García-Moya, E., & Preciado-Ortiz, R. E. (2012). Impacto de los sideróforos microbianos y fitosideróforos en la asimilación de hierro por las plantas: Una síntesis. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(1), 9 - 21.
- Aguado-Santacruz Gerardo, A. (2012). Uso de microorganismos como biofertilizantes. En: G. A. Aguado-Santacruz (Ed.). *Introducción al uso y manejo de los biofertilizantes en la agricultura* (pp. 35-78). Celaya, Guanajuato, Mexico. CIRCE-INIFAP.
- Ahemad, M., & Kibret, M. (2013). Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. *Journal of King Saud University - Science*, 26(1), 1-20. doi: 10.1016/j.jksus.2013.05.001
- Alarcón, A., & Ferrera-Cerrato, R. (2000). Biofertilizantes: importancia y utilización en la agricultura. *Agricultura Técnica en México*, 26(2), 191-203.
- Aloni, R., Aloni, E., Langhans, M., & Ullrich, C. I. (2006). Role of cytokinin and auxin in shaping root architecture: regulating vascular differentiation, lateral root initiation, root apical dominance and root gravitropism. *Annals of Botany*, 97(5), 883-893. doi: 10.1093/aob/mcl027
- Annan, H., Golding, A. L., Zhao, Y., & Dong, Z. (2012). Choice of hydrogen uptake (Hup) status in legume-rhizobia symbioses. *Ecology and Evolution*, 2(9), 2285-2290. doi: 10.1002/ece3.325
- Armenta-Bojórquez, A. D., García-Gutiérrez, C., Camacho-Báez, J. R., Apodaca-Sánchez, M. Á., Montoya-Leobardo, G.-., & Nava-Pérez, E. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*, 6(1), 51-56.

- Bai, Y., & Lindhout, P. (2007). Domestication and breeding of tomatoes: what have we gained and what can we gain in the future? *Annals of Botany*, *100*(5), 1085-1094. doi: 10.1093/aob/mcm150
- Barea, J. M., Pozo, M. J., Azcon, R., & Azcon-Aguilar, C. (2005). Microbial co-operation in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*, *56*(417), 1761-1778. doi: 10.1093/jxb/eri197
- Barrett, D. M., Beaulieu, J. C., & Shewfelt, R. (2010). Color, flavor, texture, and nutritional quality of fresh-cut fruits and vegetables: desirable levels, instrumental and sensory measurement, and the effects of processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *50*(5), 369-389. doi: 10.1080/10408391003626322
- Bashan, Y. (1998). Inoculants of plant growth-promoting bacteria for use in agriculture. *Biotechnology Advances*, *16*(4), 729-770.
- Beckles, D. M. (2012). Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, *63*(1), 129-140. doi: 10.1016/j.postharvbio.2011.05.016
- Beltrán, P. M. E. (2014). La solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, *15*(1), 101-113.
- Beneduzi, A., Peres, D., Vargas, L. K., Bodanese-Zanettini, M. H., & Passaglia, L. M. P. (2008). Evaluation of genetic diversity and plant growth promoting activities of nitrogen-fixing *bacilli* isolated from rice fields in South Brazil. *Applied Soil Ecology*, *39*(3), 311-320. doi: 10.1016/j.apsoil.2008.01.006
- Benincasa, P., Beccafichi, C., Guiducci, M., & Tei, F. (2006). Source-sink relationship in processing tomato as affected by fruit load and nitrogen availability. *Acta Horticulturae*, *700*, 63.
- Berg, G. (2009). Plant-microbe interactions promoting plant growth and health: perspectives for controlled use of microorganisms in agriculture. *Applied microbiology and biotechnology*, *84*(1), 11-18. doi: 10.1007/s00253-009-2092-7

- Bergougnoux, V. (2014). The history of tomato: from domestication to biopharming. *Biotechnology Advances*, 32(1), 170-189. doi: 10.1016/j.biotechadv.2013.11.003
- Bhatia, P., & Ashwath, N. (2004). Comparative performance of micropropagated and seed-grown tomato plants. *Biologia Plantarum*, 48(4), 625-628.
- Bleecker, A., B., & Kende, H. (2000). Ethylene: a Gaseous signal molecule in plants. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 16, 1-18.
- Bona, E., Cantamessa, S., Massa, N., Manassero, P., Marsano, F., Copetta, A., . . . Berta, G. (2016). Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting pseudomonads improve yield, quality and nutritional value of tomato: a field study. *Mycorrhiza*, 1(1), 1-11. doi: 10.1007/s00572-016-0727-y
- Bowen, G. A., & Rovira, A. D. (1999). The rhizosphere and its management to improve plant growth. *Advances in Agronomy*, 66, 1-102.
- Casierra, P. F., Constanza, C. M., & Cárdenas, H. J. F. (2007). Análisis del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados bajo invernadero. *Agronomía Colombiana*, 25(2), 2009-2305.
- Castañeda, M. R., Ventura, R. E. J., Peniche, V. R. d. R., & Herrera, R. G. (2007). Análisis y simulación del modelo físico de un invernadero bajo condiciones climáticas de la región central de México. *Agrociencia*, 41(3), 317-335.
- Castellanos, Z. J., & Ojodeagua, J. L. (2009). Formulación de soluciones nutritivas. En: Z. J. Castellanos (Ed.). *Manual de producción de tomate en invernadero* (pp. 131-156). Celaya, Gto. México. Intagri, S. C.
- Castillo, G., Altuna, B., Michelena, G., Sánchez-Bravo, J., & Acosta, M. (2005). Cuantificación del contenido de ácido indolacético (AIA) en un caldo de fermentación microbiana. *Anales de Biología*, 27, 137-142.
- Cerón, R., Laura Emilia, & Aristizábal, G., Fabio Ancizar. (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y Fosforo en suelos. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 14(1), 285-295.

- Claassen, V. P., & Carey, J. L. (2004). Regeneration of Nitrogen Fertility In Disturbed Soils Using Composts. *Compost Science & Utilization*, 12(2), 145-152. doi: 10.1080/1065657x.2004.10702173
- Cocking, C., Edward. (2003). Endophytic colonization of plant roots by nitrogen-fixing bacteria. *Plant and Soil*, 252, 169-175.
- Compant, S., Duffy, B., Nowak, J., Clement, C., & Barka, E. A. (2005). Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: principles, mechanisms of action, and future prospects. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(9), 4951-4959. doi: 10.1128/AEM.71.9.4951-4959.2005
- Contreras-Magaña, E., Arroyo-Pozos, H., Ayala-Arreola, J., Sánchez-Del-Castillo, F., & Moreno-Pérez, E. d. C. (2013). Morphological characterization of floral differentiation in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 14(4), 59-70. doi: 10.5154/r.rchsh.2012.02.010
- Coronado, H. M., Vega y León, S., Gutiérrez, T. R., Vázquez, F. M., & Radilla, V. C. (2015). Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana. *Revista Chilena de Nutrición*, 42(2), 2006-2012.
- Cruz, B. R. M., Gonzalez, G. J., & Sanchez, C. P. (2013). Propiedades funcionales y beneficios para la salud del licopeno. *Nutricion Hospitalaria*, 28(1), 6-15. doi: 10.3305/nh.2013.28.1.6302
- Cruz, C. E., Can, C. A., Sandoval, V. M., Bugarín, M. R., Robles, B. A., & Juárez, L. P. (2012). Sustratos en la horticultura. *Revista Bio Ciencias*, 2(2), 17-26.
- Cuartero, J., & Fernández-Muñoz, R. (1999). Tomato and salinity. *Scientia Horticulturae*, 78, 83-125.
- Chen, P. Y., Rekha, D. P., Arun, B. A., Shen, T. F., Lai, A. W., & Young, C. C. (2006). Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. *Applied Soil Ecology*, 34(1), 33-41. doi: 10.1016/j.apsoil.2005.12.002
- Davies, J. N., Hobson, G. E., & McGlasson, W. B. (1981). The constituents of tomato fruit-the influence of environment, nutrition, and genotype. *Critical*

Reviews in Food Science and Nutrition, 15(3), 205-280. doi: 10.1080/10408398109527317

- De la Cruz-Lázaro, E., Estada-Botello, M., Robledo-Torres, V., Osorio-Osorio, R., Márquez-Hernandez, C., & Sánchez-Hernández, R. (2009). Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. *Universidad y Ciencia* 25(1), 59-67.
- de Weert, S., & Bloemberg, V. G. (2006). Rhizosphere competence and the role of root colonization in biocontrol. *Gnanamanickam (ed.), Plant-Associated Bacteria*, 2, 317–333.
- De Weger, L. A., Van, A., J, Recourt, K., Van, D., Hofstad, G, Weissbeek, P., & Lugtenberg, B. (1988). Siderophore-Mediated Uptake of Fe³⁺ by the Plant Growth-Stimulating *Pseudomonas putida* Strain WCS358 and by other Rhizosphere Microorganisms. *Journal of Bacteriology*, 170(10), 4693-4698.
- Delgado, O. L., Betanzos, C. G., & Sumaya, M. M. T. (2010). Importancia de los antioxidantes dietarios en la disminución del estrés oxidativo. *Investigación y Ciencia*, 18(50), 10-15.
- Díez, M. J., & Nuez, F. (2008). Tomato. *En: Vegetables II: Handbook of plant breeding. Springer*(249-353).
- Dobbelaere, S., Vanderleyden, J., & Okon, Y. (2003). Plant Growth-Promoting Effects of Diazotrophs in the Rhizosphere. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 22(2), 107-149. doi: 10.1080/713610853
- Dudareva, N., Negre, F., Nagegowda, D. A., & Orlova, I. (2006). Plant Volatiles: Recent Advances and Future Perspectives. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 25(5), 417-440. doi: 10.1080/07352680600899973
- Dumas, Y., Dadomo, M., Di Lucca, G., & Grolier, P. (2003). Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(5), 369-382. doi: 10.1002/jsfa.1370

- Dutta, S., & Podile, A. R. (2010). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): the bugs to debug the root zone. *Critical Reviews in Microbiology*, 36(3), 232-244. doi: 10.3109/10408411003766806
- Dybas, J. M., Tatara, M. G., & Criddle, S. C. (1995). Localization and characterization of the carbon Tetrachloride transformation activity of *Pseudomonas* sp. strain KC. *Microbiology*, 61(2), 758-762.
- Ece, A., & Darakcl, N. (2009). Effect of Number of Different Stems on some Fruit Quality Characteristics and Yield in Tomatoes (*Lycopersicon lycopersicum* L.). *Journal of Applied Biological Sciences*, 3(2), 175-178,.
- Esitken, A., Hilal, E. Y., Ercisli, S., Donmez, F. M., Turan, M., & Gunes, A. (2010). Effects of plant growth promoting bacteria (PGPB) on yield, growth and nutrient contents of organically grown strawberry. *Scientia Horticulturae*, 124(1), 62-66. doi: 10.1016/j.scienta.2009.12.012
- Fankem, H., Nwaga, D., Deubel, A., Dieng, L., Merbach, W., & Etoa, F. X. (2007). Occurrence and functioning of phosphate solubilizing microorganisms from oil palm tree (*Elaeis guineensis*) rhizosphere in Cameroon. *African Journal of Biotechnology*, 5(24), 2450-2460.
- FAO. (2013). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible
- Foolad, R. M. (2007). Genome mapping and molecular breeding of tomato. *International Journal of Plant Genomics*, 2007.
- Galindo, T., Polanía, J., Sánchez, J., Moreno, N., Vanegas, J., & Holgín, G. (2006). Efecto de inoculantes microbianos sobre la promoción de crecimiento de plántulas de mangle y plantas de *Citrullus vulgaris* San Andrés Isla, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 11(1), 83-97.
- García, C. O., Alcántar, G. G., Cabrera, R. I., Gavi, R. F., & Volke, H. V. (2001). Evaluacion de sustratos para la produccion de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. *Terra Latinoamericana* 19, 249-258.
- George, B., Kaur, C., Khurdiya, D. S., & Kapoor, H. C. (2004). Antioxidants in tomato (*Lycopersium esculentum*) as a function of genotype. *Food Chemistry*, 84(1), 45-51. doi: 10.1016/s0308-8146(03)00165-1

- Gerszberg, A., Hnatuszko-Konka, K., Kowalczyk, T., & Kononowicz, A. K. (2014). Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in the service of biotechnology. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 120(3), 881-902. doi: 10.1007/s11240-014-0664-4
- Gil, A. (2010). *Tratado de nutrición. Composición y calidad nutritiva de los alimentos* (Editorial Médica Panamericana ed.). Madrid España.
- Glick, B. R. (2014). Bacteria with ACC deaminase can promote plant growth and help to feed the world. *Microbiol Research*, 169(1), 30-39. doi: 10.1016/j.micres.2013.09.009
- Gonzalez-Cebrino, F., Lozano, M., Ayuso, M. C., Bernalte, M. J., Vidal-Aragon, M. C., & Gonzalez-Gomez, D. (2011). Characterization of traditional tomato varieties grown in organic conditions. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9(2), 444-452.
- Gül, A., Kidoglu, Y., Tüzel, y., & H.I, T. (2008). Effects of nutrition and *Bacillus amyloliquefaciens* on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) growing in perlite. *Spanish Journal of Agricultural Research* 6(3), 422-429.
- Harris, J. M. (2015). Abscisic Acid: Hidden Architect of Root System Structure. *Plants (Basel)*, 4(3), 548-572. doi: 10.3390/plants4030548
- Hernández, A., Rives, N., Caballero, A., Hernández, A. N., & Heydrich, M. (2004). Caracterización de rizobacterias asociadas al cultivo del maíz en la producción de metabolitos del tipo AIA, sideróforos y ácido salicílico. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 6(1), 6-13.
- Hernández, S. M., Peña, M. E., Rodríguez, G. B., Rodríguez, R. E., & Díaz, R. C. (2011). Influence of agronomic variables on quality of tomato fruits. *Agricultural Sciences*, 02(04), 424-431. doi: 10.4236/as.2011.24054
- Hirschberg, J. (2001). Carotenoid biosynthesis in flowering plants. *Current Opinion in Plant Biology*, 4, 210–218.
- Husen, E., Aris, T., Wahyudu, Antonius, S., & Giyanto. (2011). Soybean response to 1-Aminocyclopropane1-Carboxylate deaminase-Producing *Pseudomonas* under Field soil conditions. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 6(2), 273-278.

- Jaramillo, N. J., Rodriguez, V. P., Guzman, A. M., & Zapata, C. M. A. (2006). *El cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero (Lycopersicon esculentum. Mill)* (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica, Centro de investigación, "La Selva", Apartado Aéreo 100, Rionegro, Antioquia, Colombia ed.). Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural: Boletín Técnico.
- Juárez, L. P., Bugarin, m. R., Castro, B. R., Sanchez, M. A. L., Cruz, C. E., Juarez, R. C. R., . . . Balois, M. R. (2011). Estructuras utilizadas en la agricultura protegida. *Fuente* 3(8), 21-27.
- Kader, A. A. (2008). Flavor quality of fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(11), 1863-1868. doi: 10.1002/jsfa.3293
- Kang, S. M., Khan, A. L., Hamayun, M., Hussain, J., Joo, G. J., You, Y. H., . . . Lee, I. J. (2012). Gibberellin-producing *Promicromonospora* sp. SE188 improves *Solanum lycopersicum* plant growth and influences endogenous plant hormones. *The Journal Microbiology*, 50(6), 902-909. doi: 10.1007/s12275-012-2273-4
- Khan, M. S., Zaidi, A., & Ahmad, E. (2014). Mechanism of Phosphate Solubilization and Physiological Functions of Phosphate-Solubilizing Microorganisms. 31-62. doi: 10.1007/978-3-319-08216-5_2
- Klee, H. J., & Giovannoni, J. J. (2011). Genetics and control of tomato fruit ripening and quality attributes. *Annual Review of Genetics*, 45, 41-59. doi: 10.1146/annurev-genet-110410-132507
- Kloepper, J. W., Lifshitz, R., & Zablutowicz, R. M. (1989). Free-living bacterial inocula for enhancing crop productivity. *Trends in Biotechnology*, 7(39-44).
- Kloepper, J. W., Reddy, M., R, R.-K., Kenney, D., Kokalis-Burelle, N., & Martinez-Ochoa, N. (2004). Application for rhizobacteria in transplant production and yield enhancement. En: S. Nicola, J. Nowak & C. S. Vavrina (Eds.). *Proc. XXVI IHC – Transplant Production and Stand Establishment* (Vol. 631, pp. 217-229). Acta Hort.
- Kloepper, J. W., Zablutowicz, R. M., Tipping, E. M., & Lifshitz, R. (1991). Plant growth promotin mediated by bacterial rhizosphere colonizers. En: D. I.

- Keister & P. B. Cregan (Eds.). *The rhizosphere and plant growth* (pp. 315-326). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Koul, V., Adholeya, A., & Kochar, M. (2015). Sphere of influence of indole acetic acid and nitric oxide in bacteria. *Journal of Basic Microbiology*, 55(5), 543-553. doi: 10.1002/jobm.201400224
- Kumar, D., B.s, & Dube , H. C. (1992). Seed bacterization with a flourescent Pseudomonas for enhances plant growth, yield and disease control. *Soil Biology and Biochemistry*, 6(539-542), 24.
- Kumar, R., & Sharma, K. M. (2014). Effect of soilless growing media, biofertilizers and fertigation levels on greenhouse tomato production. *Journal of Horticulture*, 9(2), 408-411.
- Le Bot, J., Adamowicz, S., & Robin, P. (1998). Modelling plant nutrition of horticultural crops : a review. *Scientia Horticulturae*, 74, 47-82.
- Lewinsohn, E., Sitrit, Y., Bar, E., Azulay, Y., Meir, A., Zamir, D., & Tadmor, Y. (2005). Carotenoid pigmentation affects the volatile composition of tomato and watermelon fruits, as revealed by comparative genetic analyses. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(8), 3142-3148. doi: 10.1021/jf047927t
- Ludwig, F., Dawson, T. E., Prins, H. H. T., Berendse, F., & Kroon, H. (2004). Below-ground competition between trees and grasses may overwhelm the facilitative effects of hydraulic lift. *Ecology Letters*, 7(8), 623-631. doi: 10.1111/j.1461-0248.2004.00615.x
- Lugtenberg, B., & Kamilova, F. (2009). Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annual Review of Microbiology*, 63, 541-556. doi: 10.1146/annurev.micro.62.081307.162918
- Luna-Guevara, M. L., & Delgado-Alvarado, A. (2014). Importancia, contribución y estabilidad de antioxidantes en frutos y productos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista de Investigación y Difusión Científica Agropecuaria*, 18(1), 51-66
- MacMillan, J. (2002). Occurrence of Gibberellins in Vascular Plants, Fungi, and Bacteria. *Journal of Plant Growth Regulation*, 20, 387-442.

- Maheshwari, D. K. (2011). *Bacteria in agrobiolgy: plant growth responses*: Springer Science & Business Media.
- Malik, D. K., & Sindhu, S. S. (2011). Production of indole acetic acid by *Pseudomonas* sp.: effect of coinoculation with *Mesorhizobium* sp. Cicer on nodulation and plant growth of chickpea (*Cicer arietinum*). *Physiology and Molecular Biology of Plant*, 17(1), 25-32. doi: 10.1007/s12298-010-0041-7
- Malundo , T. M. M., Shewfelt , R. L., & Scott , J. W. (1995). Flavor quality of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by sugar and acid levels. *Postharvest Biology and Technology*, 6(1), 103-110.
- Márquez-Hernández, C., Cano-Ríos, P., Figueroa-Viramontes, F., Avila-Diaz, J., Rodríguez-Dimas, R., & García-Hernández, J. (2013). Rendimiento y calidad de tomate con fuentes orgánicas de fertilización en invernadero. *Revista Internacional de Botanica Experimental*, 85, 55-61.
- Márquez, H. C., Cano, R. P., & Rodríguez, D. N. (2008). Uso de sustratos orgánicos para la producción de tomate en invernadero. *Agricultura Técnica en México*, 34(1), 69-74.
- Martínez-Barajas, E. (2003). Análisis de la acumulacion de azúcares en pericarpios de dos genotipos silvestres de jitomate (*Lycopersicon esculentum*). *Agrociencia*, 37, 363-370.
- Matias, S. R., Pagano, M. C., Muzzi, F. C., Oliveira, C. A., Carneiro, A. A., Horta, S. N., & Scotti, M. R. (2009). Effect of rhizobia, mycorrhizal fungi and phosphate-solubilizing microorganisms in the rhizosphere of native plants used to recover an iron ore area in Brazil. *European Journal of Soil Biology*, 45(3), 259-266. doi: 10.1016/j.ejsobi.2009.02.003
- Mayz-Figueroa, J. (2004). Fijacion biológica de nitrógeno. *UDO Agricola*, 4(1), 1-20.
- Molina-Romero, D., Bustillos-Cristales, M. d. R., Rodríguez-Andrade, O., Elisabeth, M.-G. Y., Santiago-Saenz, Y., Castañeda-Lucio, M., & Muños-Rojas, J. (2015). Mecanismos de fitoestimulación por rizobacterias, aislamientos en América y potencial biotecnológico. *Biológicas* 17(2), 24 – 34.

- Montaño, M., Nelson José , & Méndez, N., Jesús Rafael (2009). Efecto de reguladores de crecimiento sobre el epicarpo, mesocarpo y sólidos solubles totales del fruto de melón (*Cucumis melo* L.) cv. Edisto 47. *Revista UDO Agrícola*, 9(2), 295-303.
- Moreno, L. Y., & Galvis, F. (2013). Potencial biofertilizante de bacterias diazótroficas aisladas de muestras de suelo rizosférico. *Pastos y Forrajes*, 36(1), 33-37.
- Moreno, R. A., Aguilar, D. J., & Luévano, G. A. (2011). Características de la agricultura protegida y su entorno en México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 15(29), 763- 774.
- Nieto-Garibay, A., Murillo-Amador, B., Troyo-Diéquez, E., Larrinaga-Mayoral, J. Á., & Garcia-Hernández, J. L. (2002). El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (*Capsicum annum* L.) en zonas áridas. *Interciencia*, 27(8), 417-421.
- Nuez, F. (1995). *El Cultivo del tomate*. Madrid, Barcelona-Mexico.: Mundi-Prensa.
- Ordóñez-Santos, L. E., Ospina, P. M. A., & Rodríguez, R. D. X. (2013). Cinética de degradación térmica de vitamina C en frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Lasallista de Investigación*, 10(2), 44-51.
- Ordookhani, K., Moezi, A., Khavazi, K., & Rejali, F. (2013). Effect of plant growth promoting *rhizobacteria* and *mycorrhiza* on tomato fruit quality. In *Southeast Asia Symposium on Quality Management in Postharvest Systems and Asia Pacific Symposium on Postharvest Quality*, 989(1), 91-96.
- Ortega-Martínez, L. D., Ocampo-Mendoza, J., Sandoval-Castro, E., Martínez-Valenzuela, C., Huerta-De La Peña, A., & Jaramillo- Villanueva, J. L. (2014). Caracterización y funcionalidad de invernaderos en Chignahuapan Puebla, México. *Bio Ciencia*, 2(4), 261-270.
- Ortega, M. L. D., Sánchez, O. J., Ocampo, M. J., Sandoval, C. E., Salcido, R. B. A., & Manzo, R. F. (2010). Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) bajo condiciones de invernadero. *Ra Ximhai*, 6(3), 339-346.

- Ortíz-Castro, R., Contreras-Cornejo, H. A., Macías-Rodríguez, L., & López-Bucio, J. (2014). The role of microbial signals in plant growth and development. *Plant Signaling & Behavior*, *4*(8), 701-712. doi: 10.4161/psb.4.8.9047
- Osorio, V. N. W. (2007). A review on beneficial effects of rhizosphere bacteria on soil nutrient availability and plant nutrient uptake. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, *60*(1), 3621-3643.
- Patten, C. L., & Glick, B. R. (2002). Role of *Pseudomonas putida* Indoleacetic Acid in Development of the Host Plant Root System. *Applied and Environmental Microbiology*, *68*(8), 3795-3801. doi: 10.1128/aem.68.8.3795-3801.2002
- Patthamakanokporn, O., Puwastien, P., Nitithamyong, A., & Sirichakwal, P. P. (2008). Changes of antioxidant activity and total phenolic compounds during storage of selected fruits. *Journal of Food Composition and Analysis*, *21*(3), 241-248. doi: 10.1016/j.jfca.2007.10.002
- Peng, Y., Zhang, Y., & Jiannong, Y. (2008). Determination of phenolic compounds and ascorbic acid in different fractions of tomato by capillary electrophoresis with electrochemical detection. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *56*, 1838–1844.
- Peralta, I. E., Knapp, S., & Spooner, D. M. (2005). New species of wild tomatoes (*Solanum* section *Lycopersicon*: Solanaceae) from northern Peru. *Systematic Botany*, *30*(2), 424-434. doi: 10.1600/0363644054223657
- Peralta, I. E., Spooner, D. M., & Knapp, S. (2008). Systematic botany Monographs, Taxonomy of Wild Tomatoes and their Relatives (*Solanum* sect. *Lycopersicoides*, sect. *Juglandifolia*, sect. *Lycopersicon*; Solanaceae). *The American Society of Plant Taxonomists*, *84*(1-192).
- Periago, M. J., Martínez-Valverde, I., Ros, G., Martínez, C., & López, G. (2001). Propiedades químicas, biológicas y valor nutritivo del licopeno. *Anales de Veterinaria (Murcia)*, *17*, 51-66.
- Persello-Cartieaux, F., Nussaume, L., & Robagli, C. (2003). Tales from the underground: molecular plant–rhizobacteria interactions. *Plant Cell and Environment*, *26*, 189–199.

- Pii, Y., Mimmo, T., Tomasi, N., Terzano, R., Cesco, S., & Crecchio, C. (2015). Microbial interactions in the rhizosphere: beneficial influences of plant growth-promoting rhizobacteria on nutrient acquisition process. A review. *Biology and Fertility of Soils*, *51*(4), 403-415. doi: 10.1007/s00374-015-0996-1
- Pırlak, L., & Köse, M. (2009). Effects of Plant Growth Promoting Rhizobacteria on Yield and Some Fruit Properties of Strawberry. *Journal of Plant Nutrition*, *32*(7), 1173-1184. doi: 10.1080/01904160902943197
- Raffo, A., La Malfa, G., Fogliano, V., Maiani, G., & Quaglia, G. (2006). Seasonal variations in antioxidant components of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* cv. Naomi F1). *Journal of Food Composition and Analysis*, *19*, 11-19. doi: 10.1016/j.jfca.2005.02.003
- Ramos, S. B., Pereyra, d. I. I. M. T., Probanza, A., Lucas, G. J. A., Megías, M., & Gutierrez, M. F. J. (2006). Screening for PGPR to improve growth of *Cistus ladanifer* seedlings for reforestation of degraded mediterranean ecosystems. *Plant and Soil*, 59-68.
- Rao, V. A., & Agarwal, S. (1999). Role of Lycopene as antioxidant carotenoid in the prevention of chronic diseases: A review. *Nutrition Research*, *19*(2), 305-323.
- Richardson, A. E., Barea, J.-M., McNeill, A. M., & Prigent-Combaret, C. (2009). Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. *Plant and Soil*, *321*(1-2), 305-339. doi: 10.1007/s11104-009-9895-2
- Richardson, A. E., & Simpson, R. J. (2011). Soil microorganisms mediating phosphorus availability update on microbial phosphorus. *Plant Physiology*, *156*(3), 989-996. doi: 10.1104/pp.111.175448
- Rodríguez-Burruezo, S., Prohens, J., Roselló, J., & Nuez, F. (2005). "Heirloom" varieties as sources of variation for the improvement of fruit quality in greenhouse-grown tomatoes. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, *80*(4), 453-460. doi: 10.1080/14620316.2005.11511959

- Rosati, C., Aquilani, R., Dharmapuri, S., Pallara, P., Marusic, C., Tavaz, R., . . . Giuliano, G. (2000). Metabolic engineering of beta-carotene and lycopene content in tomato fruit. *The Plant Journal*, 24(3), 413-419.
- Rovira, D. A. (1973). Zones of Exudation along Plant Roots and Spatial Distribution of Micro-organisms in the Rh. *Pesticide Science*, 4, 361-366
- SAGARPA. (2012). Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Consulta: mayo 04, 2016. Disponible en: <http://2006-2012.sagarpa.gob.mx/agricultura/Paginas/Agricultura-Protegida2012.aspx>
- Sah, S. K., Reddy, K. R., & Li, J. (2016). Abscisic Acid and Abiotic Stress Tolerance in Crop Plants. *Frontiers in Plant Science*, 7(571), 1-27. doi: 10.3389/fpls.2016.00571
- Saleem, M., Arshad, M., Hussain, S., & Bhatti, A. S. (2007). Perspective of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) containing ACC deaminase in stress agriculture. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 34(10), 635-648. doi: 10.1007/s10295-007-0240-6
- San Martín- Hernández, C. S., Ordaz-Chaparro, V. M., Sánchez-García, P., Colinas-Leon, M. T. B., & Borges-Gómez, L. (2012). Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponia con diferentes granulometrías de tezontle. *Agrociencia*, 46(3), 243-254.
- Sessitsch, A., Howieson, J. G., Perret, X., Antoun, H., & Martínez-Romero, E. (2002). Advances in Rhizobium Reseach. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 21(4), 323-378.
- Sharma, S., B , Sayyed, R., Z, Trivedi, M., H , & Gobi, T., A. (2013). Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *Springer Plus*, 2(587), 2-14.
- Shi, J., & Maguer, M. L. (2000). Lycopene in Tomatoes: Chemical and Physical Properties Affected by Food Processing. *Biotechnology*, 20(4), 293–334.
- Sunar, K., Dey, P., Chakraborty, U., & Chakraborty, B. (2015). Biocontrol efficacy and plant growth promoting activity of *Bacillus altitudinis* isolated from

- Darjeeling hills, India. *Journal of Basic Microbiology*, 55(1), 91-104. doi: 10.1002/jobm.201300227
- Tzortzakis, N. G., & Economakis, C. D. (2008). Impacts of the substrate medium on tomato yield and fruit quality in soilless cultivation. *HortScience*, 35(2), 83-89.
- Vacheron, J., Desbrosses, G., Bouffaud, M.-L., Touraine, B., & Prigent-Combaret, C. (2014). Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. *Ecophysiology of Root Systems Environment Interaction*, 166. doi: 10.3389/fpls.2013.00356
- Vessey, K. j. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255(2), 571–586.
- Voca, S., Dobricevic, N., Dragovic, U. V., Duralija, B., Jasmina, D., Zlatko, C., & Skendrovic, B. M. (2008). Fruit Quality of New Early Ripening Strawberry Cultivars in Croatia. *Food Technol. Biotechnol*, 46(3), 292–298.
- Vogel, J. T., Tieman, D. M., Sims, C. A., Odabasi, A. Z., Clark, D. G., & Klee, H. J. (2010). Carotenoid content impacts flavor acceptability in tomato (*Solanum lycopersicum*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(13), 2233-2240. doi: 10.1002/jsfa.4076
- Waliszewski, K. N., & Blasco, G. (2010). Propiedades nutraceuticas del licopeno. *Salud Pública de México*, 52(3), 254-265.
- Wang, S. Y., & Lin, S.-S. (2006). Composts as soil supplement enhanced plant growth and fruit quality of strawberry. *Journal of Plant Nutrition*, 25(10), 2243-2259. doi: 10.1081/pln-120014073
- Weber, H., Borisjuk, L., Heim, U., Sauer, N., & Wobus, U. (1997). A role for sugar transporters during seed development: molecular characterization of a hexose and a sucrose carrier in fava bean seeds. *The Plant Cell*, 9(6), 895-908.
- Weese, T. L., & Bohs, L. (2007). A three-gene phylogeny of the genus *Solanum* (Solanaceae). *Systematic Botany*, 32(2), 445-463. doi: 10.1600/036364407781179671

- Whipps, M. J. (2001). Microbial Interaction and biocontrol in the rhizosphere. *journal of Experimental Botany*, 52(1), 487-511.
- Wilberg, V., C , & Rodriguez-Amaya, D. B. (1995). HPLC Quantitation of Major Carotenoids of Fresh and Processed Guava, Mango and Papaya. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 28(1), 474–480.
- Wilhelm, S., & Helmut, S. (1996). Lycopene: A Biologically Important Carotenoid for Humans? *Biochemistry and Biophyscis* 336(1), 1–9,.
- Worthington, V. (2001). Nutritional quality of organic versus conventional fruits, vegetables, and grains. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 7(2), 161-173.
- Yadav, S., Kaushik, R., Saxena, A. K., & Arora, D. K. (2011). Diversity and phylogeny of plant growth-promoting bacilli from moderately acidic soil. *J. Basic Microbiol.*, 51(1), 98-106. doi: 10.1002/jobm.201000098
- Yilmaz, E. (2001). The Chemistry of Fresh Tomato Flavor. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 25(3), 149-155.
- Young, T. E., Juvik, J. A., & Sullivan, J. G. (1993). Accumulation of the Components of Total Solids in Ripening Fruits of Tomato. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 118(2), 286-292.
- Zapata, S., Piedrahita, A. M., & Rojano, B. (2014). Capacidad atrapadora de radicales oxigano (ORAC) y fenoles totales de frutas y hortalizasde colombia. *Perspectivas en Nutrición Humana*, 16(1), 25-36.