

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Evaluación del efecto de inóculo de micorriza (*Rhizophagus intraradices*) y *Azospirillum sp.* en la productividad y vida de anaquel del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en invernadero.

Por:

MARIA DE LOURDES ORTIZ CHAVEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Torreón, Coahuila, México

Enero 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Evaluación del efecto de inoculo de micorriza (*Rhizophagus intraradices*) y *Azospirillum* sp. en la productividad y vida de anaquel del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en invernadero.

Por:

MARIA DE LOURDES ORTIZ CHAVEZ

TESIS

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

INGENIERO AGÓNOMO EN HORTICULTURA


M.C. Francisca Sánchez Bernal
Presidente

Aprobada por:


M.E. Victor Martínez Cueto
Vocal


M.C. Genoveva Hernández Zamudio
Vocal


Ing. Juan Manuel Nava Santos
Vocal Suplente


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

Torreón, Coahuila, México
Enero, 2020



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Evaluación del efecto de inoculo de micorriza (*Rhizophagus intraradices*) y *Azospirillum* sp. en la productividad y vida de anaquel del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en invernadero.

Por:

MARIA DE LOURDES ORTIZ CHAVEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:


M.C. Francisca Sánchez Bernal
Asesor Principal


M.C. Genoveva Hernández Zamudio
Coasesor


M.E. Víctor Martínez Cueto
Coasesor


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

Torreón, Coahuila, México
Enero, 2020



AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Al buen Dios, por acompañarme y bendecirme siempre, porque nunca me deja sola, tú hiciste todo esto posible, aunque no te pueda ver sé que escuchas mis plegarias. Por haberme creado, por haberme dado salud, sabiduría y coraje durante toda mi vida estudiantil, por cuidar de mí en todo momento y por hacerme coincidir en este mundo con personas maravillosas como son mis padres, hermanos y amigos. Por permitirme llegar hasta esta etapa de mi vida, por todas las bendiciones que me ha otorgado, porque gracias a Él concluyo uno más de mis sueños. “TE AMO”, porque sin ti nada soy.

A MI FAMILIA

Por su constante apoyo, dedicación y por acompañarme en el proceso de este nuevo proyecto.

A MI ALMA TERRA MATER

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro UL por abrirme sus puertas y las facilidades brindadas a lo largo de mi carrera, por las enseñanzas y retos que constantemente surgen los cuales nos forman como profesionalitas; por ello te llevare muy presente y pondré en alto tu nombre.

A MIS ASESORES

En especial a M.E. Francisca Sánchez Bernal y a M.C. Genoveva Hernández Zamudio por apoyare y tenerme paciencia para la realización y culminación del presente trabajo.

A MIS PORFESORES

Por todos los conocimientos transmitidos durante mi formación profesional, y sus sabios consejos compartidos.

A MIS AMIGOS

KEILA CASANOVA, SANTIAGO CARDENAS, JULISSA MANQUERO, CARMILLETICIA, EDNA ARELLANES, ANTONIO GALLEGOS, RICARDO LUCIO, por su amistad incondicional y confianza, por apoyarme siempre que los necesito, en las alegrías pero sobre todo en los momentos difíciles, los llevo en mi corazón.

DEDICATORIAS

Con gran respeto y admiración, a mis Padres:

Sr. Roberto Salvador Ortiz Pérez

Sra. María Luisa Chávez Aparicio

A ustedes por darme la vida. Que con su amor, trabajo y dedicación son la base de mi superación apoyándome en todo momento. Gracias por sus consejos, por el amor y cariño silencioso que me brindaron día a día.

Hoy concluyo una etapa de mi vida que me causa una enorme satisfacción, la cual dedico a ustedes con un agradecimiento y amor profundo, gracias por estar siempre presentes en cada una de las etapas de mi vida y ser un cimiento en todo momento. Son lo más hermoso que Dios me ha prestado en esta vida, todos los triunfos que he tenido son suyos.

A MIS HERMANOS:

Marcelo Salvador Ortiz Chávez

José Gerardo Ortiz Chávez

Reina Guadalupe Ortiz Chávez

A quienes quiero, admiro y respeto, gracias por el apoyo, motivación y consejos, por exhortarme a seguir adelante. Por su cariño y comprensión en el transcurso de mi existencia, por ser parte de mi vida.

A las personas que se entregan día con día en las labores del campo por dar alimentos sanos a sus semejantes.

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar la productividad y vida de anaquel de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) con la inoculación de *Azospirillum* sp. y *Rhizophagus intraradices*. El material vegetativo consistió en plántula de tomate híbrido con crecimiento indeterminado. Los tratamientos evaluados fueron cuatro: T₁ (15 g de *R. intraradices* + 1×10^{-8} UFC mL⁻¹ *Azospirillum* sp.), T₂ (10 g de *R. intraradices* + 1×10^{-6} UFC mL⁻¹ *Azospirillum* sp.), T₃ (5 g de *R. intraradices* + 1×10^{-4} UFC mL⁻¹ *Azospirillum* sp.) y el T₄ (testigo-solución nutritiva Steiner). Se utilizó un diseño completamente al azar y diez repeticiones por cada tratamiento teniendo un total de 40 unidades experimentales. Las variables evaluadas fueron; altura de planta, diámetro de tallo, peso de fruto, diámetro polar y diámetro ecuatorial de fruto, sólidos solubles totales, licopeno, peso fresco, biomasa, colonización de HMA y vida de anaquel. Los resultados obtenidos de acuerdo al análisis estadístico indican diferencia significativa en la variable altura de planta, el T₁ (15 g de *R. intraradices* + 1×10^{-8} UFC mL⁻¹ *Azospirillum* sp.) obtuvo la mayor altura. En diámetro del tallo el T₄ (Testigo) y T₁ (15 g de *R. intraradices* + 1×10^{-8} UFC mL⁻¹ *Azospirillum* sp) estadísticamente son iguales y obtuvieron el mayor diámetro de tallo. Mientras que para las variables peso de fruto, diámetro polar y diámetro ecuatorial se presentó diferencia significativa entre tratamientos, los mejores tratamientos fueron el T₁ (15 g de *R. intraradices* + 1×10^{-8} UFC mL⁻¹ *Azospirillum* sp.) y el T₂ (10 g de *R. intraradices* + 1×10^{-6} UFC mL⁻¹ *Azospirillum* sp). Para la variable sólidos solubles el T₃ (5 g de *R. intraradices* + *Azospirillum* 1×10^{-4} UFC mL⁻¹) obtuvo la mayor cantidad de grados Brix. Para las variables peso fresco y biomasa el T₄ (Testigo) obtuvo el mayor contenido. Mientras tanto en las variables de concentración de licopeno, colonización de HMA y vida de anaquel, no se obtuvo diferencia significativa. Sin embargo, numéricamente en la variable de vida de anaquel se observa una diferencia de 10 días siendo el T₃ (5 g de *R. intraradices* + 1×10^{-4} UFC mL⁻¹) de mayor vida de anaquel.

Palabras claves: *Rhizophagus intraradices*, *Azospirillum*, Tomate, Vida de anaquel.

ABSTRACT

The objective of this investigation was evaluate the productivity and shelf life of the tomato (*Solanum lycopersicum* L.) with the inoculation of *Azospirillum* sp. And *Rhizophagus intraradices*. The plant material consisted in tomato hybrid seedlings with an indeterminate growth. The evaluated treatments were four: T₁ (15 g of *R. intraradices* + 1×10^{-8} CFU mL⁻¹ *Azospirillum* sp.), T₂ (10 g of *R. intraradices* + 1×10^{-6} CFU mL⁻¹ *Azospirillum* sp.), T₃ (5 g of *R. intraradices* + 1×10^{-4} CFU mL⁻¹ *Azospirillum* sp.) and the T₄ (witness – nutritive solution Steiner). A completely random design and ten repetitions for each treatment was used having a total of 40 experimental units. The evaluated variables were; height of plant, stem diameter, fruit weight, polar diameter and fruit equatorial diameter, total soluble solids, lycopene, fresh weight, biomass, colonization of AMF and shelf life. The results obtained according to statistical analysis indicate significant difference in the plant height variable, the T₁ (15 g of *R. intraradices* + 1×10^{-8} CFU mL⁻¹ *Azospirillum* sp.) obtained the highest height. In stem diameter T₄ (Witness) and T₁ (15 g of *R. intraradices* + 1×10^{-8} CFU mL⁻¹ *Azospirillum* sp.) statistically equal and obtained the highest stem diameter. While for the variables fruit weight, polar diameter and equatorial diameter was significant difference between treatments, the best treatments were T₁ (15 g of *R. intraradices* + 1×10^{-8} CFU mL⁻¹ *Azospirillum* sp.) and T₂ (10 g of *R. intraradices* + 1×10^{-6} CFU mL⁻¹ *Azospirillum* sp.). For the variable soluble solids, T₃ (5 g of *R. intraradices* + *Azospirillum* 1×10^{-4} CFU mL⁻¹) obtained the highest amount of Brix degrees. For fresh weight variables and biomass the T₄ (Witness) obtained the highest content. Meanwhile in the variables of lycopene concentration, AMF colonization and shelf life, no significant difference was obtained. However numerically in the variable of shelf life a difference of 10 days is observed being the T₃ (5 g of *R. intraradices* + 1×10^{-4} CFU mL⁻¹) longer shelf life.

Keywords: *Rhizophagus intraradices*, *Azospirillum*, tomato, shelf life.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo general	3
1.1.1 Objetivo específico	3
1.2 Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Historia y origen del tomate	4
2.2 Clasificación taxonómica.....	4
2.3 Morfología de la planta del tomate.....	5
2.3.1 Planta	5
2.3.2 Raíz.....	5
2.3.3 Tallo	5
2.3.4 Hoja.....	5
2.3.5 Flor	6
2.3.6 Fruto.....	6
2.3.7 Semilla	6
2.4 Requerimientos climatológicos	7
2.4.1 Temperatura	7
2.4.2. Humedad.....	7
2.4.3 Altitud	7
2.4.4 Luminosidad.....	7
2.4.5 Suelo y pH.....	8
2.5 La importancia del cultivo del tomate	8
2.5.1 La demanda mundial de las hortalizas.....	8

2.5.2 Mercado nacional	9
2.5.3 Consumo nacional	9
2.6 La agricultura orgánica.....	10
2.6.1 La agricultura orgánica en el mundo	10
2.6.2 La agricultura orgánica en México	11
2.6.3 Demanda orgánica mundial.....	11
2.6.4 El cultivo del tomate orgánico bajo invernadero	12
2.6.5 Licopeno y Sólidos Solubles Totales (Grados Brix).....	12
2.7 Fertilizantes	13
2.8 Biofertilizantes	13
2.8.1 ¿Qué son los biofertilizantes?	14
2.9 Microorganismos.....	14
2.9.1 Beneficios de los microorganismos.....	14
2.10 Micorrizas	15
2.10.1 ¿Que son las Micorrizas?.....	15
2.10.2 Definición de micorrizas	16
2.10.3 Historia de la micorriza.....	16
2.10.4 Tipos de micorrizas.....	16
2.10.4.1 Ectomicorrizas (micorriza ectotrofica)	17
2.10.4.2 Endomicorrizas	17
2.10.5 Las micorrizas arbusculares.....	18
2.10.6 Función de las micorrizas.....	18
2.11 Bacterias promotoras de crecimiento vegetal	19
2.11.1 Función de las Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (BPCV)	20
2.11.2 <i>Azospirillum</i>	20
2.11.3 Clasificación taxonómica de <i>Azospirillum</i>	21
2.11.4 Características del <i>Azospirillum</i>	21
2.11.5 Interacción <i>Azospirillum</i> -planta	22
2.11.6 Colonización del sistema radical por <i>Azospirillum</i>	22
2.11.7 Fijación de Nitrógeno por <i>Azospirillum</i>	22
2.11.8 Género <i>Azospirillum</i> brasilense.....	23
2.11.9 Ventajas del <i>Azospirillum</i>	23

III. MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1 Descripción del sitio experimental	24
3.2 Diseño experimental.....	24
3.3 Material vegetativo	25
3.4 Metodología	26
3.4.1 Esterilización de la arena para el sustrato	26
3.4.2 Preparación del sustrato.....	26
3.4.3 Contenedores	26
3.4.4 Trasplante	27
3.4.5 Coinoculación.	27
3.4.6 Preparación de SNS	27
3.4.7 Riego.....	27
3.4.8 Polinización.....	28
3.4.9 Tutorado	28
3.4.10 Poda brotes axilares	28
3.4.11 Cosecha de tomate.....	28
3.5 Variables evaluadas	29
3.5.1 Daño en el fruto del tomate	29
3.5.2 Altura de planta.....	29
3.5.3 Diámetro del tallo.	29
3.5.4 Peso del fruto	29
3.5.5 Diámetro del fruto	29
3.5.6 Sólidos solubles totales (Grados Brix)	29
3.5.7 Contenido de licopeno	29
3.5.8 Peso fresco.....	30
3.5.9 Peso seco.....	30
3.5.10 Colonización de HMA	30
3.5.11 Vida de anaquel	31
3.5.12 Evaluación de la bacteria <i>Azospirillum sp.</i>	31
3.6 Análisis estadístico.....	31
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	31
4.1 Altura de la planta	31

4.2 Diámetro del tallo	32
4.3 Peso de fruto	33
4.4 Diámetro polar de fruto	36
4.5 Diámetro ecuatorial de fruto.....	37
4.6 Sólidos solubles totales (Grados Brix).....	38
4.7 Contenido de licopeno	40
4.8 Peso fresco (tallo y hojas).....	42
4.9 Biomasa (tallo y hojas).....	43
4.10 Colonización de HMA.....	44
4.11 Vida de anaquel	45
4.12 Evaluación de la bacteria <i>Azospirillum sp.</i>	46
V. CONCLUSIONES	47
VI RECOMENDACIONES	49
VII. REFERENCIAS	50

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos a base de micorrizas y <i>Azospirillum</i> sp para evaluar su efecto en la productividad y vida de anaquel en el cultivo del tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) en invernadero.	24
Cuadro 2. Número de frutos y peso (Kg) de tomates con deficiencia de calcio en la evaluación del efecto de inóculo de micorrizas <i>Rhizophagus intraradices</i> y Bacteria <i>Azospirillum</i> sp. en la productividad y vida de anaquel del tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) en invernadero. UAAAN-UL, 2019.	35
Cuadro 3. Conversión de microgramos a miligramos (ug) a miligramos (mg) en el contenido del licopeno obtenido en la evaluación del efecto de inóculo de micorrizas <i>Rhizophagus intraradices</i> y Bacteria <i>Azospirillum</i> sp. en la productividad y vida de anaquel del tomate.....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Participación de México en las importaciones de tomate en 2001 (en%).	9
Figura 2 Colonización de Ectomicorrizas	17
Figura 3 Colonización de Micorrizas	18
Figura 4 Invernadero número 1, del departamento de horticultura, en la UAAAN_UL.	24
Figura 5 Esterilización de la arena que sería utilizada en la mezcla de sustratos para evaluar el efecto de micorrizas y Azospirillum en la productividad y vida de anaquel de Tomate en invernadero. UAAAN-UL	26
Figura 6 Comparación de medidas para la variable altura de planta (m), en la evaluación del efecto de inoculo de micorrizas Rhizophagus intraradices y Bacteria Azospirillum sp. en la productividad y vida de anaquel del tomate (Solanum lycopersicum L.) en invernadero. UAAAN-UL, 2019.....	32
Figura 7 Comparación de medidas para la variable diámetro de tallo (mm), en la evaluación del efecto de inoculo de micorrizas Rhizophagus intraradices y Bacteria Azospirillum sp. en la productividad y vida de anaquel del tomate (Solanum lycopersicum L.) en invernadero. UAAAN-UL, 2019.....	33
Figura 8 Comparación de medidas en el peso de fruto (g) en el primer y segundo corte, en la evaluación del efecto de inoculo de micorrizas Rhizophagus intraradices y Bacteria Azospirillum sp. en la productividad y vida de anaquel del tomate (Solanum lycopersicum L.) en invernadero. UAAAN- UL, 2019.	35
Figura 9 Comparación de medidas del diámetro polar de fruto (mm) en el primer y segundo corte, en la evaluación del efecto de inoculo de micorrizas Rhizophagus intraradices y Bacteria Azospirillum sp. en la productividad y vida de anaquel del tomate (Solanum lycopersicum L.) en invernadero. UAAAN-UL, 2019.	37
Figura 10 Comparación de medidas del diámetro ecuatorial del fruto (mm) en el primer y segundo corte, en la evaluación del efecto de inoculo de micorrizas Rhizophagus intraradices y Bacteria Azospirillum sp. en la productividad y vida de anaquel del tomate (Solanum lycopersicum L.) en invernadero. UAAAN-UL, 2019.....	38
Figura 11 Comparación de medidas de los °Brix, en la evaluación del efecto de inoculo de micorrizas Rhizophagus intraradices y Bacteria Azospirillum sp. en la productividad y vida de anaquel del tomate (Solanum lycopersicum L.) en invernadero. UAAAN-UL, 2019.	39
Figura 12 Comparación de medidas del licopeno, en la evaluación del efecto de inoculo de micorrizas Rhizophagus intraradices y Bacteria Azospirillum sp. en la productividad y vida de anaquel del tomate (Solanum lycopersicum L.) en invernadero. UAAAN-UL, 2019.	40

Figura 14 Comparación de medidas del peso fresco de la biomasa, en la evaluación del efecto de inoculo de micorrizas Rhizophagus intraradices y Bacteria Azospirillum sp. en la productividad y vida de anaquel del tomate (Solanum lycopersicum L.) en invernadero. UAAAN-UL, 2019.....	42
Figura 15 Comparación de medidas del peso seco, en la evaluación del efecto de inoculo de micorrizas Rhizophagus intraradices y Bacteria Azospirillum sp. en la productividad y vida de anaquel del tomate (Solanum lycopersicum L.) en invernadero. UAAAN-UL, 2019.....	43
Figura 16 Comparación de medidas del porcentaje de micorrización, en la evaluación del efecto de inoculo de micorrizas Rhizophagus intraradices y Bacteria Azospirillum sp. en la productividad y vida de anaquel del tomate (Solanum lycopersicum L.) en invernadero. UAAAN-UL, 2019.....	44
Figura 17 Comparación de vida de anaquel, en la evaluación del efecto de inoculo de micorrizas Rhizophagus intraradices y Bacteria Azospirillum sp. en la productividad y vida de anaquel del tomate (Solanum lycopersicum L.) en invernadero. UAAAN-UL, 2019.....	45

I. INTRODUCCIÓN

La agricultura orgánica, que se caracteriza por excluir el uso de productos de síntesis química (fertilizantes y plaguicidas en general), organismos modificados genéticamente, aguas negras y radiaciones en los alimentos, es una de las pocas alternativas productivas que se están vislumbrando en el campo mexicano. (Gómez Tovar y Cruz, 2004)

Con tasas de crecimiento crecientes, los productos orgánicos conquistan cada vez más rápido las estructuras de mercado de alimentos a nivel mundial. En el 2002, las ventas de estos productos alcanzaron 23 mil millones de dólares, superando los 19 mil millones de dólares alcanzados en el 2001 (Sahota A., 2004: 21-26).

Uno de los elementos más valiosos que puede utilizar la agricultura ecológica es el uso de biofertilizantes, lo cual en los sistemas productivos es una alternativa viable y sumamente importante para lograr un desarrollo agrícola ecológicamente sostenible, ya que permite una producción a bajo costo, no contamina el ambiente y mantiene la conservación del suelo desde el punto de vista de fertilidad y biodiversidad. (Alfonso y Galán, 200) La cantidad de alimentos hace necesaria la utilización de grandes cantidades de agroquímicos aplicados al suelo para obtener mayores producciones de los mismos. Actualmente se han buscado tecnologías sostenibles como el uso de los biofertilizantes.

Este trabajo se realizó con el propósito de conocer el estado actual en materia de biofertilizantes utilizados en el cultivo de tomate. Entre los inoculantes empleados como biofertilizantes se encuentran los hongos micorrízicos, los cuales a través de las hifas favorecen el desarrollo de las plantas lo que mejora la absorción de minerales; y las bacterias promotores del crecimiento, que solubilizan nitrógeno atmosférico, favorecen la producción de hormonas, e incrementan la toma de agua y minerales. El beneficio de la inoculación de diversos hongos micorrízicos y bacterias promotoras de crecimiento en tomate.

Los géneros más estudiados son *Azospirillum* y *Glomus*. La utilización de cepas autóctonas garantiza aun más la eficiencia de los inoculantes. (Díaz Martínez, 2013)

Se demuestra la efectividad agrobiológica de *Azospirillum brasilense* sp a partir del estímulo positivo ejercido en el crecimiento y estado nutricional de las plantas así como en el rendimiento agrícola del cultivo; y se establece con un alto nivel poblacional en la rizosfera de las plantas inoculadas, este resultado apoya el criterio de selección de esta especie como una alternativa eficiente para la producción del cultivo del tomate. (Alfonso *et al.*, 2005).

En México existen alrededor de 20,000 ha bajo agricultura protegida (AP) de las cuales aproximadamente 12,000 ha son de invernadero y las otras 8 mil ha corresponden a casas sombra y macro túnel principalmente. (SAGARPA, 2012).

El cultivo de tomate en condiciones de sustrato bajo invernadero es capaz de producir frutos de excelente calidad además de cumplir con los estándares de inocuidad alimentaria. (Rodríguez Dimas *et al.*, 2009)

1.1 Objetivo general

Evaluar la productividad y vida de anaquel de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) con la inoculación de *Azospirillum sp.* y *Rhizophagus intraradices*.

1.1.1 Objetivo específico

- Determinar los tratamientos que incrementen la productividad y vida de anaquel del tomate.

1.2 Hipótesis

Debido a que los hongos micorrízicos y las bacterias promotoras de crecimiento vegetal otorgan grandes beneficios a las raíces, los parámetros de producción y la vida de anaquel del tomate son mejores a mayor porcentaje de inoculación de estos biofertilizantes.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Historia y origen del tomate

El origen del género *Lycopersicon* se localiza en la región andina que se extiende desde el sur de Colombia al norte de Chile, pero parece que fue en México donde se domesticó, quizá porque crecería como mala hierba entre los huertos. Durante el siglo XVI se consumían en México tomates de distintas formas y tamaños e incluso rojos y amarillos, pero por entonces ya habían sido traídos a España y servían como alimento en España e Italia.

En otros países europeos solo se utilizaban en farmacia y así se mantuvieron en Alemania hasta comienzos del siglo XIX. Los españoles y portugueses difundieron el tomate a Oriente Medio y África, y de allí a otros países asiáticos. Desde Europa también se difundieron a Estados Unidos y Canadá. (INFOAGRO, 2006)

2.2 Clasificación taxonómica

Reino...Metaphyta

División...Magnoliophyta

Clase...Magnoliopsida

Orden...Solanales

Familia...Solanaceae

Genero... Solanum

Especie... Lycopersicon

2.3 Morfología de la planta del tomate

2.3.1 Planta

El tomate es una planta perenne de porte arbustivo que se cultiva como anual. Puede desarrollarse de forma rastrera, semirrecta o erecta. Existen variedades que de acuerdo a su habito de crecimiento se clasifican en determinados e indeterminados (tallos que al llegar a un cierto número de ramilletes detienen su crecimiento), (Muñoz y Castellanos, 2003).

Las plantas de crecimiento indeterminado llegan a crecer hasta los 10 metros en un año (Rick, 1978) y producen racimos con numerosos tomates.

2.3.2 Raíz

La raíz principal es corta y débil, raíces secundarias son numerosas y potentes; además cuenta con raíces adventicias. En los primeros 20 cm de la capa del suelo se concentra el 70% de la biomasa radical. Sin embargo, con el sistema de trasplante, el sistema radicular tiende a ser más fibroso con muchas raíces laterales hasta 40 cm de profundidad. (Muñoz y Castellanos, 2003)

2.3.3 Tallo

El tallo típico tiene de 2 a 4 cm de diámetro en la base y está cubierto por pelos glandulares y no glandulares que salen de la epidermis, (Nuez, 1995). Es el eje sobre el cual se desarrollan las hojas, flores y fruto, por ello es importante vigilar su vigor y sanidad. La base del tallo principal tiende a formar raíces adventicias. Eje con un grosor que oscila entre 2-4 cm en su base, sobre el que se van desarrollando hojas, tallos secundarios e inflorescencias.

2.3.4 Hoja

Compuesta e imparipinnada, con folíolos peciolados, lobulados y con borde dentado, en número de 7 a 9 y recubiertos de pelos glandulares de color verde intenso en el haz y verde claro en el envés; sobre el tallo las hojas se disponen de forma alternativa y son las responsables de la fotosíntesis por lo que deben tener una buena disposición para una mayor intercepción de la radiación, en las axilas de las hojas están las yemas que producen chupones o tallos laterales. (Muñoz y Castellanos, 2003).

2.3.5 Flor

Es perfecta, regular e hipógina y consta de 5 o más sépalos, de igual número de pétalos de color amarillo y dispuestos de forma helicoidal a intervalos de 135°, de igual número de estambre soldados que se alternan con los pétalos y forman un cono estaminal que envuelven al gineceo, y de un ovario o plurilocular.

En el tomate las flores se polinizan principalmente por autopolinización y por abejorros. El trabajo reportado por Estay et al., (2001) indica que los abejorros de la especie *Bombus dahlbomii* trabajan muy bien como agentes polinizadores del tomate en condiciones de invernadero.

2.3.6 Fruto

El fruto de tomate es una baya bi o plurilocular, se desarrolla a partir de un ovario de 5 a 10 mg, alcanza un peso final en madurez entre 5 y 500 g, la forma y tamaño depende de la variedad y manejo. De acuerdo al número de lóculos se definen tres tipos de frutos: cherry y ciruela o tipo pera: presentan dos lóculos; frutos para comercialización en fresco contienen entre cuatro y seis lóculos; tipos 'Beefsteak' contienen más de seis lóculos (Jones, 1999). Una vez fecundada la flor para obtener el fruto tarda alrededor de 55 a 60 días, en función de la variedad, manejo y condiciones ambientales. El racimo de frutos está unido a la planta por un pedúnculo con un engrosamiento articulado que contiene la capa de abscisión. (Nuez, 2001).

2.3.7 Semilla

La semilla del tomate tiene forma lenticular con unas dimensiones aproximadas de 5 x 4 x 2 milímetros (mm) y está constituido por el embrión, el endospermo y la testa o cubierta seminal. El embrión, cuyo desarrollo dará lugar a la planta adulta, está constituido, a su vez, por la yema apical, dos cotiledones, el hipocótilo y la radícula. El endospermo contiene los elementos nutritivos necesarios para el desarrollo inicial del embrión. La testa o cubierta seminal está constituida por un tejido duro e impermeable, recubierto de pelos, que envuelve y protege al embrión y el endospermo (Nuez, 1995).

2.4 Requerimientos climatológicos

El tomate es una planta que se adapta bien a una gran variedad de climas, con la sola excepción de aquellos en que se producen heladas, puesto que resulta sensible a este fenómeno. Pero además, los vientos fuertes dañan considerablemente la planta, reduciendo la producción. Existen tres factores climatológicos que ejercen una gran influencia sobre el cultivo y que merecen una consideración especial: temperatura, humedad relativa y luminosidad (Rodríguez et al., 1997).

2.4.1 Temperatura

La temperatura óptima de desarrollo oscila entre 20-30°C durante el día y entre 1-17°C durante la noche. Temperaturas superiores a los 30-35°C afectan al fructificación (mal desarrollo de óvulos) y al desarrollo de la planta en general y del sistema radicular en particular. Temperaturas inferiores a 12-15°C también originan problemas en el desarrollo de la planta. A temperaturas superiores a 25°C e inferiores a 12°C, la fecundación es defectuosa o también nula. La maduración del fruto está muy influida por la temperatura en lo referente tanto a la precocidad como a la coloración, de forma que valores cercanos a los 10°C o superiores a los 30°C originan tonalidades amarillentas. (Infoagro, 2008)

2.4.2. Humedad

La humedad relativa oscila entre 60 y 80%; valores más altos favorecen el desarrollo de enfermedades en el follaje y el agrietamiento del fruto y dificultan la fecundación debido a que el polen se compacta y aborta parte de las flores. El agrietamiento del fruto tiene su origen en un exceso de humedad en el sustrato o riego abundante tras un periodo de estrés hídrico. También una baja humedad relativa dificulta la fijación del polen al estigma de la flor (Rodríguez et al., 2006)

2.4.3 Altitud

El tomate puede cultivarse desde los 20 a los 2000 metros sobre el nivel del mar (msnm), tomando en cuenta la capacidad de adaptación de cada variedad o híbrido.

2.4.4 Luminosidad

Los valores reducidos de luz pueden incidir de manera negativa sobre los procesos de floración, fecundación, así como el desarrollo vegetativo de la planta. En los momentos críticos durante el periodo vegetativo resulta necesaria la interrelación existente entre la temperatura diurna, nocturna y la luminosidad. El tomate es un cultivo insensible a la duración del día, sin embargo, necesita buena iluminación, la cual se modifica por la densidad de siembra, sistema de poda, tutorado y prácticas culturales que optimizan la absorción de luz solar especialmente en época de lluvias cuando la radiación es más limitada (Rodríguez et al., 2006)

2.4.5 Suelo y pH

La planta de tomate no es muy exigente en cuanto a suelos, excepto en lo que se refiere al drenaje, aunque prefiere suelos sueltos de textura arenarcillosa y ricos en materia orgánica. No obstante se desarrolla perfectamente en suelos arcillosos enarenados. En cuanto al pH, los suelos pueden ser desde ligeramente ácidos hasta ligeramente alcalinos cuando son arenosos. Las especies cultivadas en invernadero son las que mejor toleran las condiciones de salinidad tanto del suelo como del agua de riego (Rodríguez et al., 2001). El tomate está considerado como una planta tolerante a la acidez, con valores de pH entre 5.0 a 6.8.

2.5 La importancia del cultivo del tomate

El tomate es considerado como una de las hortalizas de mayor importancia en muchos países del mundo, por el sinnúmero de subproductos que se obtiene de él, y las divisas que aporta. (Santiago y Borrego, 1998)

2.5.1 La demanda mundial de las hortalizas

La Demanda mundial de Productos frescos, está aumentando Rápidamente. En el año 2030, la población del mundo se prevé que llegue a alcanzar la cantidad estimada de 8 mil millones de personas – aproximadamente

2 mil millones más que hoy. Adicionalmente, durante los próximos 50 años, se espera que la demanda mundial de verduras se triplique así como la cantidad de tierra cultivable disminuya a la mitad. Se esperan avances en tecnología para continuar ayudando a los productores a aumentar su productividad global. (Topseed, 2019)

2.5.2 Mercado nacional

FIRA, 2017 menciona que el cultivo del tomate rojo es el quinto en importancia por su contribución en el valor de la producción agrícola primaria en México. En 2016, participó con 4.6 por ciento del valor total, después del maíz grano (19.4 por ciento), la caña de azúcar (6.0 por ciento), el aguacate (5.9 por ciento) y el chile verde (4.7 por ciento).

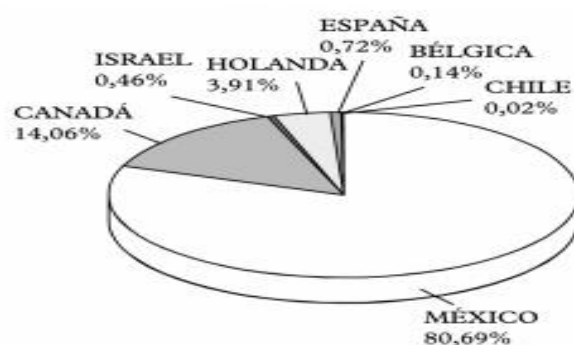


Figura 1. Participación de México en las importaciones de tomate en 2001 (en%).

2.5.3 Consumo nacional

Durante 2016, el consumo nacional aparente de tomate rojo se ubicó en un máximo histórico de 1.74 millones de toneladas, volumen que representó el 52.1 por ciento de la producción nacional. Las variaciones en el consumo nacional aparente de tomate dependen de las fluctuaciones de la producción, así como del nivel de las exportaciones.

Por otra parte, el consumo per cápita anual de tomate en México se ubica en alrededor de 15 kilogramos por año, volumen que es inferior al consumo per cápita promedio mundial, de 18 kilogramos. (FIRA, 2017)

2.6 La agricultura orgánica

La concepción amplia de agricultura orgánica se basa en los sistemas de producción integrales que utilizan insumos naturales a través de prácticas especiales, como la composta, los abonos verdes, los cultivos trampa, los extractos vegetales y el control biológico, generando un producto libre de residuos tóxicos (Gómez et al. 1999). Esta tendencia se vincula principalmente con una fuerte preocupación por la salud, nuevas exigencias en los gustos de los consumidores y una mayor conciencia de la importancia de la protección del medio ambiente. La agricultura orgánica es un sistema de producción con una alta utilización de mano de obra y con un mercado potencial aun sin explotar.

La agricultura orgánica, que se caracteriza por excluir el uso de productos de síntesis química (fertilizantes y plaguicidas en general), organismos modificados genéticamente, aguas negras y radiaciones en los alimentos, es una de las pocas alternativas productivas que se están vislumbrando en el campo mexicano. (Gómez Tovar y Cruz, 2004) Por otra parte en la actualidad existe la preocupación entre los consumidores por preferir alimentos libres de agroquímicos, inocuos y con alto valor nutricional, en especial los degustados en fresco; una alternativa para la generación de este tipo de alimentos, es la producción orgánica, método agrícola en el que no se deben de utilizar agroquímicos sintéticos (UE, 1991; IFOAM, 2003; USDA, 2004).

2.6.1 La agricultura orgánica en el mundo

Con tasas de crecimiento, los productos orgánicos conquistan cada vez más rápido las estructuras de mercado de alimentos a nivel mundial. En el 2002, las ventas de estos productos alcanzaron 23 mil millones de dólares, superando los 19 mil millones de dólares alcanzados en el 2001 (Sahota A., 2004: 21-26).

El mercado de los Estados Unidos registra el primer lugar en ventas de productos orgánicos con un valor por 11.75 mil millones de dólares en el 2002. (Willer y Yussefi, 2004: 21-26)

2.6.2 La agricultura orgánica en México

A nivel mundial, México ocupa el 18º lugar por superficie orgánica y el primero en la producción de café orgánico. Al interior del país, este sector es el subsector agrícola más dinámico, pues ha aumentado su superficie de 23,000 ha en 1996 a 103,000 ha en el 2000, estimándose que alcanzó las 216 mil hectáreas para el año 2002. Esta agricultura es practicada por más de 53 mil productores y genera más de 280 millones de dólares en divisas. Los pequeños productores conforman el 98% del total de productores orgánicos, cultivan el 84% de la superficie y generan el 69% de las divisas orgánicas del país (Gómez C. et. al., 2003:100-102).

2.6.3 Demanda orgánica mundial

Con tasas de crecimiento crecientes, los productos orgánicos conquistan cada vez más rápido las estructuras de mercado de alimentos a nivel mundial. En el 2002, las ventas de estos productos alcanzaron 23 mil millones de dólares, superando los 19 mil millones de dólares alcanzados en el 2001 (Sahota A., 2004: 21-26). A nivel mundial, la demanda de productos orgánicos se ha incrementado en los últimos años, tanto como un reflejo de la preocupación de los consumidores por adquirir productos cuyo consumo sea beneficioso para su salud así como el resultado de la preocupación de los consumidores por los efectos de ciertos procesos productivos sobre el medio ambiente.

Muestra de lo anterior es que entre el año 2000 y el 2009 el mercado orgánico se triplicó, ya que a inicios de esta década el tamaño del mercado se estimaba en US\$18 mil millones y para el 2009 alcanzó un valor de US\$55 mil millones.(Porrás, 2011)

2.6.4 El cultivo del tomate orgánico bajo invernadero

La producción del cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero es capaz de producir frutos de excelente calidad. Por otra parte la demanda de productos producidos de manera orgánica se ha incrementado, debido a que los abonos orgánicos mejoran las características cualitativas de estos vegetales (Tourat, 2000). Otras formas de producción de hortalizas, como los sistemas de cultivo protegido, suponen una ventaja comparativa respecto al campo abierto, ya que el sistema favorece la alta productividad y el control de plagas y enfermedades, donde se puede hacer uso de infraestructura y equipo con el fin de tener un ambiente controlado. (Ramírez-Vargas y Nienhuis, 2012).

Entre los sistemas de producción orgánica bajo condiciones controladas, la producción de hortalizas con aplicación de enmiendas orgánicas, es una práctica que se ha extendido a escala mundial, por la mínima contaminación del ambiente que conlleva y los resultados satisfactorios que se han encontrado; lo anterior ha revitalizado la idea del reciclaje eficiente de los desechos orgánicos de la actividad agropecuaria, así como el uso de los abonos orgánicos, de tal manera que se reduzca al mínimo imprescindible el uso de los fertilizantes sintéticos como vía de nutrición de las plantas. (Rodríguez Dimas *et al.*, 2009) otras formas de producción de hortalizas, como los sistemas de cultivo protegido, suponen una ventaja comparativa respecto al campo abierto, ya que el sistema favorece la alta productividad y el control de plagas y enfermedades, donde se puede hacer uso de infraestructura y equipo con el fin de tener un ambiente controlado.

En el trópico, la implementación de esta tecnología tendría que solucionar problemas como las altas precipitaciones, alta temperatura y humedad relativa, al igual que la protección ante las plagas y enfermedades. (Ramírez-Vargas y Nienhuis, 2012)

2.6.5 Licopeno y Sólidos Solubles Totales (Grados Brix)

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es la hortaliza de mayor importancia a nivel nacional e internacional, debido a su amplio consumo, al área cosechada

y al valor económico de la producción. Durante los últimos años, esta hortaliza ha incrementado su producción anual principalmente por el aumento en el rendimiento y en menor proporción por el incremento de la superficie cultivada. Además de la importancia económica y social del tomate en los sistemas de producción del mundo, esta hortaliza tiene cada vez mayor relevancia nutricional en los tiempos modernos porque es una fuente extraordinaria de sustancias antioxidantes licopeno, betacaroteno y vitaminas. (Escobar y Lee, 2009)

Se le conoce como grados Brix, a las sustancias solubles en agua que reflejan un alto por ciento de la calidad de sólidos totales que contienen los frutos en por ciento. A mayor valor es más deseable; un valor mayor o igual a 4,0 es considerado bueno. Además existe una correlación directa entre sólidos solubles y firmeza, a mayor concentración de éstos es mayor la firmeza. (Santiago y Borrego, 1998)

2.7 Fertilizantes

Los fertilizantes sintéticos presentan baja eficiencia ($\leq 50\%$) para ser asimilados por los cultivos, el fertilizante no incorporado por las plantas trae un impacto ambiental adverso, tal como contaminación de mantos acuíferos con NO_3 , eutrofización, lluvia ácida y calentamiento global. (Bojórquez *et al.*, 2010)

2.8 Biofertilizantes

Una alternativa a la fertilización química y la contaminación que genera, puede ser el uso de biofertilizantes en los cultivos agrícolas, que además son más baratos e inocuos. (García, 1997).

Uno de los elementos más valiosos que puede utilizar la agricultura ecológica es el uso de biofertilizantes, lo cual en los sistemas productivos es una alternativa viable y sumamente importante para lograr un desarrollo agrícola ecológicamente sostenible, ya que permite una producción a bajo costo, no contamina el ambiente y mantiene la conservación del suelo desde el punto de vista de fertilidad y biodiversidad. (Alfonso y Galán, 200)

2.8.1 ¿Qué son los biofertilizantes?

La interpretación del término biofertilizante es muy amplia, representando desde microorganismos, abonos verdes y estiércoles, hasta extractos de plantas. De manera sintetizada, podemos decir que son productos que contienen microorganismos, que al ser inoculados pueden vivir asociados o en simbiosis con las plantas y le ayudan a su nutrición y protección (Vessey, 2003)

2.9 Microorganismos

Existe abundante evidencia científica que ha establecido que el funcionamiento de un ecosistema terrestre depende de la actividad microbiana del suelo. Específicamente, la calidad del suelo y la productividad vegetal derivan de múltiples reacciones de los microorganismos que llevan a cabo en la zona afectada por las raíces de las plantas. En efecto, los microorganismos protagonizan diversas acciones que producen beneficios a las plantas. Entre otras actividades: sintetizan fitohormonas que facilitan el enraizamiento, secretan compuestos que mejoran la estructura del suelo, facilitan la captación de nutrientes y protegen a la planta contra patógenos. (Cid, 2006)

Los biofertilizantes son productos a base de microorganismos como hongos micorrízicos arbusculares del orden de los *Glomales* (Alarcón, 2001) y bacterias fijadoras de N₂ y/o solubilizadoras de fósforo (Frontera, 2004) como *Rhizobium*, *Azotobacter*, y *Azospirillum* (Hernández et al., 1994), los cuales incrementan la disponibilidad de nutrientes para las plantas; otros estimulan el crecimiento vegetal y algunos funcionan como biocontrol de patógenos (Loredo et al., 2004). Estos microorganismos se encuentran de forma natural en el suelo, pero su población es afectada por el mal manejo y el uso excesivo de agroquímicos.

2.9.1 Beneficios de los microorganismos

Los beneficios que presenta el uso de microorganismos en la agricultura pueden concretarse de la siguiente manera: (Bowen y Rovira, 1999).

a) Fitoestimulantes, estimulan la germinación de las semillas y el enraizamiento por la producción de reguladores del crecimiento, vitaminas y otras sustancias;

- b) Biofertilizantes, incrementan el suministro de los nutrimentos por su acción sobre los ciclos biogeoquímicos, tales como la fijación de N₂, la solubilización de elementos minerales o la mineralización de compuestos orgánicos
- c) Mejoradores, mejoran la estructura del suelo por su contribución a la formación de agregados estables
- d) Agentes de control biológico de patógenos, desarrollan fenómenos de antagonismo microbio-microbio
- e) Biorremediadores, eliminan productos xenobióticos tales como pesticidas, herbicidas y fungicidas
- f) Mejoradores eco fisiológicos, incrementan la resistencia al estrés tanto biótico como abiótico

2.10 Micorrizas

2.10.1 ¿Que son las Micorrizas?

La micorriza es una asociación constituida por un conjunto de hifas fúngicas (micelio) que, al entrar en contacto con las raíces de las plantas, las pueden envolver formando un manto y penetrarlas intercelularmente a través de las células del córtex, como en el caso de la ectomicorriza o, como en el caso de la micorriza arbuscular, penetran la raíz, pero no se forma ningún manto. Al mismo tiempo, las hifas se ramifican en el suelo, formando una extensa red de hifas capaz de interconectar, subterráneamente, a las raíces de plantas de la misma o de diferentes especies. Esta red de micelio permite, bajo ciertas condiciones, un libre flujo de nutrimentos hacia las plantas hospederas y entre las raíces de las plantas interconectadas, lo que sugiere que la micorriza establece una gran unión bajo el suelo entre plantas que, a simple vista, podrían parecer lejanas y sin ninguna relación. Así, la micorriza ofrece a la planta hospedera y al ecosistema, diferentes beneficios en términos de sobrevivencia y funcionamiento. (Camargo_Ricalde et al., 2012)

2.10.2 Definición de micorrizas

El término micorriza, que literalmente significa “hongo-raíz”, fue propuesto por Frank (1885), para definir asociaciones simbióticas (“vivir conjuntamente dos o más organismos”), mutualistas, no patógenas, entre raíces de plantas y micelios de hongos, en las que ambos resultan beneficiados.

2.10.3 Historia de la micorriza

El término micorriza fue creado por el botánico alemán Albert Bernard Frank en 1885, y procede del griego *mykos* que significa hongo y del latín *rhiza* que significa raíz, definiendo así la asociación simbiótica entre el micelio de un hongo y las raíces de un vegetal. De entre las diversas asociaciones benéficas planta-microorganismo, la micorrízica es la que se encuentra más ampliamente extendida sobre la superficie terrestre, alrededor del 90% de las plantas terrestres la forman (Smith y Read, 1997), también es la más antigua, se han encontrado fósiles. (Simón et al., 1993) Evidencias fósiles y estudios moleculares sugieren que la asociación micorrízica se originó hace ca. 462-353 millones de años y, desde entonces, su formación es indispensable para el éxito ecológico de la mayoría de las plantas sobre la Tierra.(Camargo_Ricalde *et al.*, 2012)

2.10.4 Tipos de micorrizas

Con el paso del tiempo se han encontrado dos tipos de micorrizas que se distinguen por la forma en que las hifas del hongo se encuentran dentro de los tejidos corticales de la raíz.

2.10.4.1 Ectomicorrizas (micorriza ectotrofica).

Estas raíces comúnmente son hinchadas y en algunas combinaciones que se establecen dentro del hongo y su hospedante se encuentra considerablemente más bifurcada que las raíces no micorrizales. Se forman principalmente en arboles forestales debido a los basidiomicetes que forman setas y bejines y a varios ascomicetes. Las hifas del micelio del hongo no penetran en las células de la planta si no que originan una envoltura que rodea las raíces del cual salen algunas hifas que se introducen entre las células de la raíz. El hongo presenta un micelio septado hasta formar la micorriza (Bledsoe 1992).

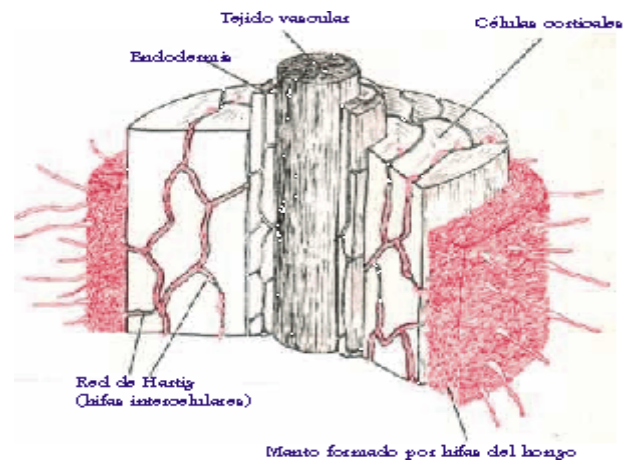


Figura 2 Colonización de Ectomicorrizas

2.10.4.2 Endomicorrizas

Existe dos tipos de endomicorrizas, el grupo más común, se distingue por presentar hifas aceptadas, vesículas y estructuras ramificadas con el nombre de micorrizas vesiculo-arbusculares. El segundo grupo está constituido por hongos con hifas aceptadas que invaden las células de la raíz sin romper la membrana plasmática y crecen dentro de la célula formando estructuras globosas

El micelio fúngico penetra en las células del córtex de la raíz, siendo el contacto más estrecho. Presentan un micelio sin tabicación. Intervienen hongos zigomicetos del orden Glomales (Richardson *et al.*, 1993).

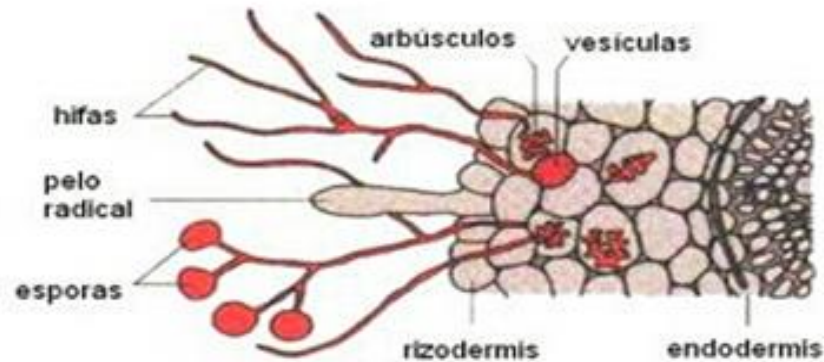


Figura 3 Colonización de Micorrizas

2.10.5 Las micorrizas arbusculares

El tipo de asociación hongo-raíz más extendido en la naturaleza tal vez sea la llamada endomicorriza o micorriza arbuscular, formada por ciertos zigomicetos, los cuales no desarrollan red de Hartig y colonizan intracelularmente la corteza de la raíz por medio de estructuras especializadas denominadas arbusculos, que actúan como órganos de intercambio de nutrientes entre la célula vegetal y el huésped. Algunos géneros de estos hongos forman también otro tipo de estructuras llamadas vesículas, compuestas principalmente por lípidos. Estas vesículas están presentes intercelularmente en la corteza de la raíz y se consideran reservorios de nutrientes para el hongo. La presencia tanto de arbusculos como de vesículas dio lugar a que la simbiosis se conociera originalmente como versículo-arbuscular (VA), sin embargo, no todas las especies de hongos forman vesículas, por lo que en la actualidad la asociación se conoce como micorriza arbuscular (MA). (Gómez *et al.*, 2007)

2.10.6 Función de las micorrizas

La función principal de los hongos micorrízicos es facilitarle a la planta la absorción de agua, fósforo (P) y nitrógeno (N), además de mejorar las

propiedades fisicoquímicas del suelo y la formación de agregados por medio de la adhesión de partículas debida a una proteína exudada por el micelio llamada glomalina.(Áila-Peralta *et al.*)

La función principal de la micorriza es facilitarle a la planta la adquisición y absorción de agua, fósforo y nitrógeno, principalmente; sin embargo, esta asociación proporciona otros beneficios a las plantas, entre los que destacan: la protección ante el ataque de parásitos, hongos patógenos y nemátodos, el aumento de su resistencia a la herbívora, influyendo en la producción de sustancias defensivas por parte de la misma planta, la limitación de la absorción de metales pesados tóxicos como el zinc y el cadmio que son alojados en sus hifas, aumento del área de exploración de la raíz, lo que incrementa el flujo de agua del suelo a la planta (ver revisiones hechas por Camargo Ricalde, 1999; 2001; 2002); además de mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo mediante el enriquecimiento de materia orgánica y la formación de agregados por medio de la adhesión de partículas debida a una proteína exudada por el micelio, la glomalina, contribuyendo a darle estructura y estabilidad al suelo, lo que reduce su erosión y mejora su capacidad de retención de agua (Guadarrama *et al.*, 2004; Finlay, 2008).

2.11 Bacterias promotoras de crecimiento vegetal

La agricultura mundial ha tendido a buscar la sustentabilidad de los cultivos a través de alternativas de origen biológico que sean más económicas, que mejoren la rentabilidad de los cultivos y que eviten el deterioro del medio ambiente. El desarrollo y uso de los biofertilizantes se contempla como una importante alternativa para la sustitución parcial o total de los fertilizantes minerales. La aplicación de bacterias que interaccionan con las plantas es considerada una opción viable en muchos países y en la actualidad se buscan el desarrollo de biofertilizantes basados en bacterias promotoras del crecimiento

vegetal, en particular con la bacteria *Azospirillum*, fijadora de nitrógeno y productora de fitohormonas. (Caballero *et al.*, 2010)

A las PGPR se les han atribuido la capacidad de estimular el desarrollo de las plantas, estableciendo relaciones benéficas, que impactan especialmente a las raíces de las plantas.

Las bacterias promotoras de crecimiento vegetal representan una amplia variedad de bacterias del suelo, las cuales cuando crecen en asociación con las plantas estimulan su crecimiento.

2.11.1 Función de las Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (BPCV)

Los medios por los cuales las BPCV pueden mejorar la nutricional de las plantas son: (Lugtenberg y Kamilova, 2009).

- 1) Fijación biológica de N₂
- 2) Producción de reguladores del crecimiento, vitaminas y otras sustancias
- 3) Disponibilidad de nutrimentos en la rizosfera
- 4) Incremento en el área superficial de la raíz
- 5) Control de microorganismos patogénicos

2.11.2 *Azospirillum*

El género *Azospirillum* pertenece al grupo de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. Esta capacidad ha sido atribuida principalmente a la fijación del nitrógeno y producción de fitohormonas. Estas bacterias producen ácido indol-3-acético (AIA), un tipo de auxinas que inducen cambios morfológicos en el sistema radical de las plantas, y además pueden actuar como moléculas de señalización en la interacción planta-bacteria. Sus efectos sobre el crecimiento vegetal han permitido que se utilicen en la formulación de biofertilizantes como una alternativa en la agricultura. Sin embargo, muchos aspectos bioquímicos sobre la interacción de esta bacteria con las plantas son aún desconocidos. Aquí

se resumen algunas vías por el cual esta bacteria promueve el crecimiento vegetal así como su importancia en la agricultura.(Gómez *et al.*, 2014)

2.11.3 Clasificación taxonómica de *Azospirillum*

Reino	<i>Procaryote</i>
División	<i>Gracilicute</i>
Clase	<i>Scotobacteria</i>
Familia	No existe
Género	<i>Azospirillum</i>
Especie	<i>lipoferum, brasilense, amazonense, haloproferenses, irakenses.</i>

Fuente: Bergey (1984)

2.11.4 Características del *Azospirillum*

Es una bacteria móvil, que muestra gran variabilidad en el número y posición de los flagelos. En medio líquido produce un solo flagelo mientras que en medio solido se inducen diversos flagelos laterales, siendo diferente la cantidad y posición de estos para cada una de las especies de genero *Azospirillum*. La presencia de flagelos proporciona la movilidad necesaria para dirigirse hacia lugares donde la presencia de nutrientes sea más favorable. Presenta quimiotaxis positiva hacia ácidos orgánicos, azúcares, aminoácidos, compuestos aromáticos, hacia exudados radicales. Esta capacidad de migración se ha visto afectada por la humedad del suelo. Este género además tiene tendencia a

dirigirse hacia lugares donde la concentración de oxígeno sea la adecuada (denominada aerotaxia), ya que puede sobrevivir en condiciones microaerofílicas (Collados, 2006).

2.11.5 Interacción *Azospirillum*-planta

Una vez que las células de *Azospirillum* se han adaptado a las condiciones del ambiente rizosférico y han logrado llegar a la superficie de la raíz, debido a sus características quimio y aerotácticas, se iniciará el establecimiento de la asociación.

La asociación de *Azospirillum* con la raíz de las plantas se desarrolla en dos etapas completamente independientes (Michiels *et al.*, 1991). La primera consiste en una adsorción rápida, débil y reversible, la cual es dependiente de proteínas de la superficie bacteriana del tipo de las adhesinas en conjunto con la participación del flagelo polar (Croes *et al.*, 1991; Michiels *et al.*, 1991). La segunda fase consiste en un anclaje lento pero firme e irreversible que alcanza su máximo nivel 16 hrs después de la inoculación, el cual parecer ser dependiente de un polisacárido extracelular de *Azospirillum* (Michiels *et al.*, 1991).

2.11.6 Colonización del sistema radical por *Azospirillum*

La planta secreta hacia la rizósfera exudados que atraen a muchos microorganismos, como las rizobacterias. La movilidad y la quimiotaxis de estas bacterias permiten que se muevan hacia la raíz, donde se benefician de los exudados como fuente de carbono y a su vez benefician el crecimiento de la planta. El establecimiento de *Azospirillum* en la raíz de la planta es una etapa crítica para promover el crecimiento vegetal, y además depende del genotipo de ambos actores. Coloniza la superficie de la raíz, el interior y el exterior del córtex (Patriquin *et al.*, 1983).

2.11.7 Fijación de Nitrógeno por *Azospirillum*

El nitrógeno se localiza en el suelo procede de la atmosfera, pero el N₂ atmosférico no puede ser utilizado directamente por los seres vivos salvo en el caso de algunos microorganismos (Villalobos *et al.*, 2002). Para que el nitrógeno atmosférico sea

absorbido por las plantas, este tiene que formar parte de otros compuestos químicos, este proceso se le llama fijación (Fuentes,2002).

2.11.8 Género *Azospirillum brasilense*

El género *Azospirillum* se ha investigado a profundidad por su capacidad promotora del crecimiento vegetal y se ha convertido en un excelente modelo para estudiar la interacción planta-microorganismo. *Azospirillum* inicialmente fue estudiado por su capacidad para fijar el nitrógeno.(Gómez Vázquez, 2017), *A. brasilense* ha sido una de las primeras bacterias en ser estudiadas y empleada como inoculante.

2.11.9 Ventajas del *Azospirillum*

Según Bashan (1998), *Azospirillum* sp. provoca una absorción más efectiva de los nutrientes, lo que explica la acumulación de compuestos nitrogenados en las plantas sin existir una aparente fijación biológica de nitrógeno.

Dice (Caballero *et al.*, 2010) que la inoculación con cepas de *Azospirillum* seleccionadas permite reducir hasta en 50% el uso de los fertilizantes minerales (N, P, K) sin que disminuya el rendimiento del cultivo, e incluso se obtiene 5-10% de aumento respecto a los cultivos fertilizados con el 100% del fertilizante mineral. La bacteria fijadora de nitrógeno *Azospirillum brasilense*, ésta se ha probado principalmente en gramíneas con resultados positivos; sin embargo, no se descarta la posibilidad de que tenga buenos resultados en solanáceas como el tomate. (Velasco *et al.*, 2001)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del sitio experimental

La presente investigación se realizará durante el ciclo otoño-invierno 2018-2019 en la UAAAN_UL, ubicada en la ciudad de Torreón, Coahuila, México, en el invernadero #1 del Departamento de Horticultura, el cual tiene una superficie de 235 m², cubierta de polietileno, suelo de grava y el sistema de enfriamiento consta de una pared húmeda a base de celdek, dos extractores de aire en la parte frontal, además de cuatro ventiladores colocados en la parte superior para la circulación del aire. Con coordenadas geográficas 103° 25' 57" de longitud oeste meridiano de Greenwich y 25° 31' 11" de latitud norte, con una altura de 1,123 msnm.



Figura 4 Invernadero número 1, del departamento de horticultura, en la UAAAN_UL.

3.2 Diseño experimental

Se realizó el experimento con diseño completamente al azar se usaron cuatro tratamientos incluyendo el testigos, cada uno de ellos con diez repeticiones los cuales se describen en el siguiente cuadro 1.

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos a base de micorrizas y *Azospirillum* sp. para evaluar su efecto en la productividad y vida de anaquel en el cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en invernadero.

Tratamientos	Descripción
T1	15 g de <i>Rhizophagus intraradices</i> ,+ 1×10^{-8} UFC/ mL ⁻¹ Bacteria <i>Azospirillum</i> sp.
T2	10 g de <i>Rhizophagus intraradices</i> ,+ 1×10^{-6} UFC/ mL ⁻¹ Bacteria <i>Azospirillum</i> sp.
T3	5 g de <i>Rhizophagus intraradices</i> , + 1×10^{-4} UFC/ mL ⁻¹ Bacteria <i>Azospirillum</i> sp.
T4	Testigo Steiner 100%

3.3 Material vegetativo

Para la realización de este trabajo se utilizó la plántula del tomate Roma con crecimiento Indeterminado (*Solanum lycopersicon* L.) variedad Top 2299 comercializado por la empresa TOP SEEDS. Este híbrido es una planta de crecimiento indeterminado; muy vigorosa, porte fuerte y de tallos gruesos, entrenudos medios, para ciclos de producción intermedios-tardíos. Buen desarrollo bajo altas temperaturas en ciclos de primavera-verano. Frutos de calibres grandes, promedio 160 a 200 gramos, mantiene su tamaño a lo largo del ciclo de producción, paredes gruesas. Esta variedad no requiere una fertilización tan nitrogenada como la gran mayoría de las variedades en el mercado, al ser una planta vigorosa necesita lo mínimo en cuanto a nitrógeno para su buen desarrollo. Esta variedad es resistente a: TMV (Virus del mosaico del tomate), Va(*Verticillium albo-atrum*), Vd(*verticillium dahlia*), Fol: 1-3(*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* raza 1, 2, 3) Ff (*Cladosporium fulvum*), Ma(*Meloidogyne arenaria*) Mi(*M. incognita*)Mj(*M. javanica*)TYLCV(Virus de la cuchara del tomate), TSWV(Virus del bronceado del tomate).
<https://topseedsmexico.com/productos/tomates/>

3.4 Metodología

3.4.1 Esterilización de la arena para el sustrato

El sustrato estuvo conformado por vermicompost y arena, se trabajó con la arena primero y se esterilizo con hipoclorito de sodio a 10 ppm. (Figura 5)

El cloro ya que tiene un gran poder oxidante, que permite la desinfección. Su capacidad para destruir patógenos con bastante rapidez y su amplia disponibilidad lo hacen muy adecuados para la desinfección.



Figura 5. Esterilización de la arena que sería utilizada en la mezcla de sustratos para evaluar el efecto de micorrizas y *Azospirillum* en la productividad y vida de anaquel de Tomate en invernadero. UAAAN-UL

3.4.2 Preparación del sustrato.

Para el establecimiento de las plántulas de tomate se utilizó una mezcla de sustratos que estuvo formada por arena previamente esterilizada; con un porcentaje del 60% y un 40% de vermicompost, esto fue el día 9 de febrero del 2019.

3.4.3 Contenedores

El sustrato utilizado se vació a bolsas de polietileno, calibre 500 color negro de tipo vivero con capacidad de 15 kg.

3.4.4 Trasplante

El trasplante se realizó el día 26 de febrero 2019, utilizando plántula de tomate vigorosa, porte fuerte y de tallos gruesos, entrenudos medios, para ciclos de producción intermedios-tardíos. Se trasplantaron 40 plántulas 10 de estas para cada tratamiento con cuatro tratamientos y cada plántula en su contenedor, presentando las plantas ya sus hojas verdaderas con una altura aproximadamente de 15 cm

3.4.5 Coinoculación.

Para la coinoculación de los biofertilizantes evaluados en este trabajo, que consistieron en micorrizas (*Rhizophagus intraradices*) y *Azospirillum*, se combinaron en tres tratamientos, con diferentes concentraciones de inóculo, como se describe en el Cuadro 1.

Primero se aplicaron los HMA dejando la mezcla en un recipiente; sumergiendo el cepellón de las plántulas del primer tratamiento y dejándolas ahí por 5 min y en seguida se trasplantaron, se hizo lo mismo con los dos siguientes tratamientos pero con sus respectivas cantidades. Después del trasplante y la inoculación de los HMA se realizó la coinoculación de la Bacteria *Azospirillum* sp. agregando 10 ml a cada repetición y su respectiva concentración.

Se hicieron dos coinoculaciones, la primera fue el día del trasplante y la segunda fue 73 días después de la primera.

3.4.6 Preparación de SNS

Se preparó para el cuarto tratamiento la solución universal Steiner en un tambor de 200 lts. Para bajar el pH de la solución se utilizó ácido cítrico quedando con un pH de 6.5. Esta preparación fue para regar el Testigo (T4).

3.4.7 Riego

El riego fue suministrado manualmente con litro y medio de agua, aplicado a cada maceta. Así mismo el tratamiento 4 (fertilización con SN Steiner) se regó con la solución preparada a razón de 1 L de solución por maceta.

3.4.8 Polinización

En los invernaderos, el movimiento de aire es insuficiente para que las flores se polinicen por sí mismas, siendo necesaria la vibración de los racimos florales para obtener una buena polinización por lo tanto la polinización fue de forma abiótico, moviendo o haciendo vibrar el sistema de tutorado manualmente, esto se hacia todos los días por la mañana.

3.4.9 Tutorado

El tutorado se realizó a la tercera semana después del trasplante, consistió en guiar verticalmente las plantas a lo largo de la rafia desde la base de la planta hasta un alambre ubicado en invernadero directamente sobre la planta a 2.5 a 3.0 metros de altura.

La planta se enrollaba a la cuerda, en el sentido de las manecillas del reloj. Esta labor se hacía semanalmente hasta dos veces por semana durante las primeras semanas de desarrollo cuando su crecimiento era muy rápido. Es una actividad que se realiza con mucho cuidado para evitar pérdida de alguna planta.

3.4.10 Poda brotes axilares

La poda de brotes axilares se realizó con tijeras para podar tipo mini 6 pulgadas, iniciando después de la tercer semana del trasplante eliminándolos una vez por semana.

3.4.11 Cosecha de tomate

Se realizaron dos cosechas, en las cuales se consideró el color del fruto estas se realizaron cuando el fruto presentaba el color rojo o con un 60% a 80% de anaranjado.

3.5 Variables evaluadas

3.5.1 Daño en el fruto del tomate

Se identificó el daño en el fruto por deficiencia de calcio, por lo cual se pesaron los frutos con esta deficiencia para calcular las pérdidas en el momento de la cosecha.

3.5.2 Altura de planta

Para esta variable se midió manualmente con una cinta métrica desde la base de la planta hasta el ápice, esto para saber el largo de la planta y se midió en cm.

3.5.3 Diámetro del tallo.

Para medir el grosor del tallo se utilizó un vernier esta se llevó a cabo el día 21 de mayo, 85 días después del trasplante esta fue medida en mm.

3.5.4 Peso del fruto

Esta variable se obtuvo de acuerdo a la suma total del peso, las muestras (frutos) fueron pesadas en una báscula para verificar el rendimiento de cada tratamiento.

3.5.5 Diámetro del fruto

Esta lectura fue medida con un vernier digital (el vernier nos ayuda a reducir el error de estimación humana); a cada uno de los frutos de tomate se hicieron dos medidas, las cuales fueron ecuatorial y polar.

3.5.6 Sólidos solubles totales (Grados Brix)

Para obtener la concentración de glucosa de cada una de las muestras se utilizó el refractómetro, incorporando de 3 a 4 gotas de jugo de tomate. Después se procedió a leer y tomar la lectura.

3.5.7 Contenido de licopeno

Se pesaron 3 gr de pericarpio del fruto del tomate, se colocaron en un mortero congelado que contenía 3 ml de amortiguador de fosfatos (pH 7) y se procedió a moler, de la mezcla se colocaron 2ml en tubo de centrifuga, se agregaron 4ml de la mezcla hexano-acetona (3:2), se agitó la mezcla para separar y disolver los pigmentos de las membranas (Davis et al., 2003), se centrifugó a 3,000 rpm por 10 min para la separación de fases, se extrajo la fase

coloreada y se leyó la absorbancia a 502 nm en un espectrofotómetro. El contenido de licopeno se calculó con la fórmula: Licopeno ($\mu\text{g g}^{-1}$) = $A_{502} \times \left(\frac{1}{320}\right) \times 4$ (Fish et al., 2002).

3.5.8 Peso fresco

Se cortaron tres plantas por cada tratamiento (9 en total) y después se procedió a cortar en pedazos pequeños y se llevó a la báscula para determinar el peso total de área foliar en fresco, el cual se determinó en g.

3.5.9 Peso seco

Sacados los datos del peso fresco, se metió cada planta a una bolsa de papel canela para introducirlas a una estufa de laboratorio incorporando cada una de las muestras y dejándolas por 48 hrs y secando a una temperatura de 90°C; después de ahí se procedió a pesar las muestras previamente secas, obteniendo el peso en g.

3.5.10 Colonización de HMA

La evaluación de las raíces se llevó a cabo a los 121 días después de la primera coinoculación, se tomaron muestras de los tratamientos y hospederos completamente al azar utilizando tres plantas por cada repetición.

Las raíces se lavaron cuidadosamente con agua del grifo y se cortaron en segmentos de 1 cm de largo. Se tomó una cantidad de 0,5 g, los segmentos de raíz se clarearon en KOH 10% (w / v) a 90 ° C se colocaron en cajas de inclusión histología de 28*40*6mm, cubriéndola en su totalidad las cajas por 24 horas, pasado el tiempo se le retiro el KOH, se enjugaron y posteriormente se le coloco de HCL 10% dejándolo reposar 10 minutos, se escurrió con ayuda de un colador sin enjuagar. Se añadió la solución de azul de tripano al 0.05% por 24 horas a temperatura ambiente.(Gai *et al.*, 2012)

Las raíces clareadas y teñidas se colocaron en cajas Petri con suficiente lactoglicerol. En portaobjetos y utilizando agujas de disección se colocaron 10 segmentos de aproximadamente 1 cm de largo, paralelamente unos a otros.

Sobre las raíces se adicionaron gotas de lactoglicerol, colocando posteriormente el cubreobjetos. Se eliminaron las burbujas de aire y cada laminilla se selló con esmalte transparente. Para realizar la evaluación de las estructuras morfológicas características de la micorriza arbuscular, se realizaron observaciones en el microscopio óptico a través del objetivo seco débil y seco fuerte. (Phillips y Hayman, 1970).

Para analizar la evaluación se efectuaron tres pasajes equidistantes por laminilla. Al revisar un campo óptico donde se encontraba un segmento que contenía hifas, vesículas y arbusculos, independientemente de la intensidad de micorrización, se le otorgó el valor de uno para la evaluación total y por estructuras (hifas, arbusculos, vesículas, esporas). (Brundrett *et al.*, 1996).

3.5.11 Vida de anaquel

Se seleccionaron de cada tratamiento y repetición los 6 estados de madurez fisiológica del tomate: verde, verde sazón, rallado, rosado, anaranjado y rojo. En el momento de su corte se metieron al refrigerador a una temperatura de 11° a partir de ese día se estuvieron contando los días hasta la terminación de la vida de anaquel.

3.5.12 Evaluación de la bacteria *Azospirillum sp*

Se tomaron tres repeticiones de cada tratamiento, y se mandaron a evaluar al laboratorio del Departamento de Horticultura de la UAAAN Saltillo.

3.6 Análisis estadístico

Para el presente estudio se realizó un análisis de varianza, considerando cada una de las características evaluadas. El análisis de varianza se llevó a cabo mediante el sistema MINITAB versión 2007.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Altura de la planta

En la altura de planta se puede observar la dinámica de crecimiento de las plantas con los tratamientos evaluados. Para esta variable se presentó diferencia significativa entre tratamientos; el T₄ (Testigo) presento la mayor altura de planta

con 1.9 m, mientras que el tratamiento que presentó la menor altura fue el T₃ con 1.7 m. Los tratamientos 1 y 2 fueron estadísticamente iguales con 1.8 m y similares al T₄. (Figura 6).

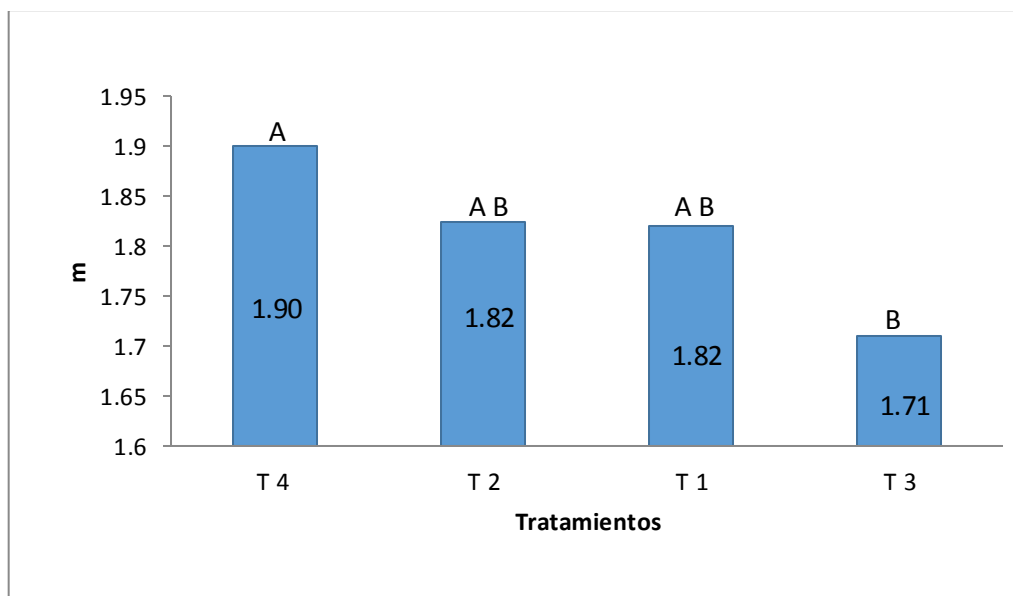


Figura 6 Comparación de medidas para la variable altura de planta (m), en la evaluación del efecto de inoculo de micorrizas *Rhizophagus intraradices* y *Bacteria Azospirillum sp.* en la productividad y vida de anaquel del tomate (*Solanum lycopersicum L.*) en invernadero. UAAAN-UL, 2019.

El resultado para la variable altura de planta de este trabajo difiere de lo planteado por (Alfonso y Galán, 2006) ya que señalan que los microorganismos y la relación hongo-bacteria- planta como las rizobacterias estimuladoras del crecimiento vegetal (RPCV) y los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), estimulan positivamente el crecimiento de las plantas; mientras que en este trabajo la mayor altura de planta fue obtenida por el testigo (T₄).

4.2 Diámetro del tallo

Para la variable de diámetro del tallo, se presentó diferencia significativa entre tratamientos. Los resultados indican que los tratamientos 1 (15 g de *R. intraradices* + 1×10^{-8} UFC mL⁻¹ *Azospirillum sp.*) y 4 (Testigo) fueron los que

obtuvieron el mayor diámetro con 9.0 y 9.1 mm, respectivamente. Mientras que el menor diámetro lo obtuvo el T₃ (5 g *R. intraradices* + 1×10^{-4} UFC mL⁻¹ *Azospirillum* sp.) con 8.1 mm. (Figura 7).

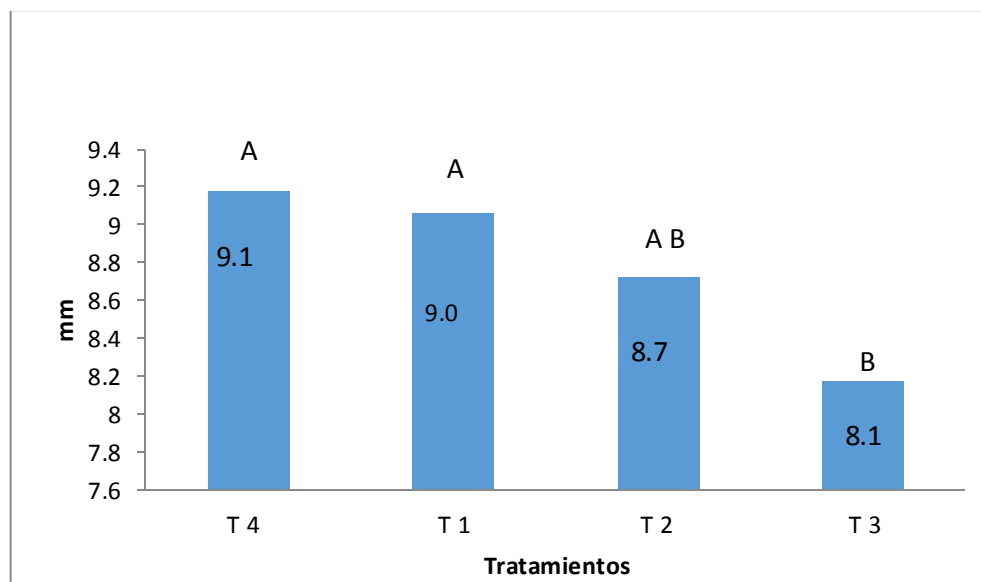


Figura 7 Comparación de medidas para la variable diámetro de tallo (mm), en la evaluación del efecto de inoculo de micorrizas *Rhizophagus intraradices* y Bacteria *Azospirillum* sp. en la productividad y vida de anaquel del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en invernadero. UAAAN-UL, 2019.

(Ávila-Peralta *et al.*, 2015) mencionan que al trabajar con hongos micorrizicos, teniendo como uno de los tratamiento el testigo solución Steiner siendo esta la de mayor grosor en mm. Este resultado difiere de lo encontrado en el presente trabajo ya que el T₁ (15 g de *R. intraradices* + 1×10^{-8} UFC mL⁻¹ *Azospirillum* sp.) es estadísticamente igual al T₄ (Testigo), en la variable diámetro de tallo, con 9.1 y 9.0 mm, respectivamente.

4.3 Peso de fruto

Para la variable peso de fruto se consideraron dos cosechas, la primera se realizó 121 días después de la coinoculación y la segunda 6 días después de la primera.

El análisis de varianza arrojó diferencia significativa en las dos fechas de corte para el peso de fruto.

En el primer corte el T₁ (15 g de *R. intraradices* + 1×10^{-8} UFC mL⁻¹ *Azospirillum* sp.) y T₂ (10 g *R. intraradices* de + 1×10^{-6} UFC/mL⁻¹ *Azospirillum* sp.) el de mayor peso con 80.48 g y 73.05 g. El menor peso lo obtuvo el T₄ (Testigo) con 57.76 g por fruto.

En el segundo corte el de mayor peso fue el T₁ (15 g de *R. intraradices* + 1×10^{-8} UFC mL⁻¹ *Azospirillum* sp.) con 86 g, mientras que el menor peso lo obtuvo el T₃ (5 g de *R. intraradices* + 1×10^{-4} UFC mL⁻¹ *Azospirillum*) con 62.13 g por fruto. Se pueden observar mayores pesos por fruto para los tratamientos con biofertilizantes. (Figura 8).

Cabe señalar que el peso obtenido en todos los tratamiento no alcanzan no alcanzan los 100 g, que se señalan en la descripción de las características de los frutos del híbrido evaluado, pues el peso de fruto varía entre 100 y 200 g. <https://topseedsmexico.com/productos/tomates/>

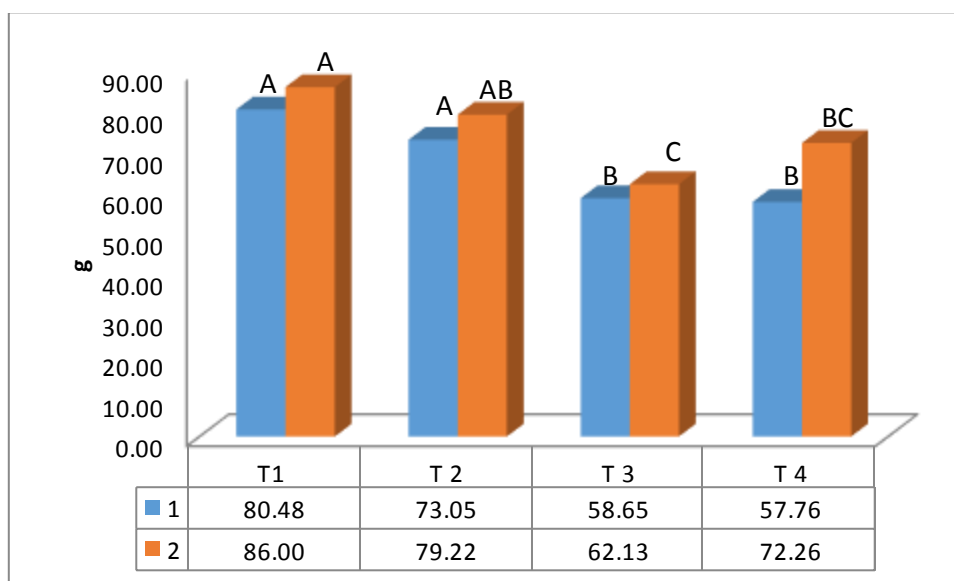


Figura 8 Comparación de medidas en el peso de fruto (g) en el primer y segundo corte, en la evaluación del efecto de inoculo de micorrizas Rhizophagus intraradices y Bacteria Azospirillum sp. en la productividad y vida de anaquel del tomate (Solanum lycopersicum L.) en invernadero. UAAAN-UL, 2019.

De acuerdo con los resultados obtenidos por González (2018) quien evaluó tomate con el tratamiento Micorriza + *Azospirillum* obtuvo un peso de fruto de 63.5 g, mientras que en esta investigación se obtuvo un mayor peso de fruto con el T1 (15 g de *R. intraradices* + 1×10^{-8} UFC mL⁻¹ *Azospirillum sp.*) de 86.0 g en la segunda cosecha. Esta diferencia se puede deber a la evaluación de material genético diferente.

En el presente trabajo se presentó en las plantas de tomate deficiencia de calcio, conocida comúnmente como “pudrición apical”, la cual es común que afecte a los cultivos de pimiento y tomate. El calcio por ser un elemento poco móvil y muy pesado dentro de la planta, y el crecimiento excesivamente rápido podría ser la causa de la de este problema. Las pérdidas que se presentaron en este trabajo se observan en el Cuadro 3.

Cuadro 2. Número de frutos y peso (Kg) de tomates con deficiencia de calcio en la evaluación del efecto de inoculo de micorrizas *Rhizophagus intraradices* y Bacteria *Azospirillum sp.* en la productividad y vida de anaquel del tomate (*Solanum lycopersicum L.*) en invernadero. UAAAN-UL, 2019.

<i>T</i>	<i>NF</i>	<i>P (kg)</i>
<i>T1</i>	39	1,411
<i>T2</i>	44	1,559

T3	45	1,452
T4	23	1,164
Total	151	5,586

. T=tratamientos, NF=número de frutos, P=peso

4.4 Diámetro polar de fruto

Se tomaron datos del diámetro polar en dos fechas. De acuerdo al análisis de varianza se determinó diferencia significativa entre los tratamientos evaluados en ambas fechas.

Para el primer corte, el mayor diámetro polar lo obtuvieron los tratamientos T1 (15 g de *R. intraradices* + 1×10^{-8} UFC mL⁻¹ *Azospirillum sp.*) con 55 mm y T2 (10 g de *R. intraradices* + 1×10^{-6} UFC/mL⁻¹ *Azospirillum sp.*) con 54 mm. El menor diámetro de tallo lo obtuvo el T3 (5 g de *R. intraradices* + 1×10^{-4} UFC mL⁻¹ *Azospirillum sp.*) con 48 mm.

Para el segundo corte se muestra que el diámetro se incrementó en los cuatro tratamientos, pero mostrando la misma dinámica del primer corte. Figura 9

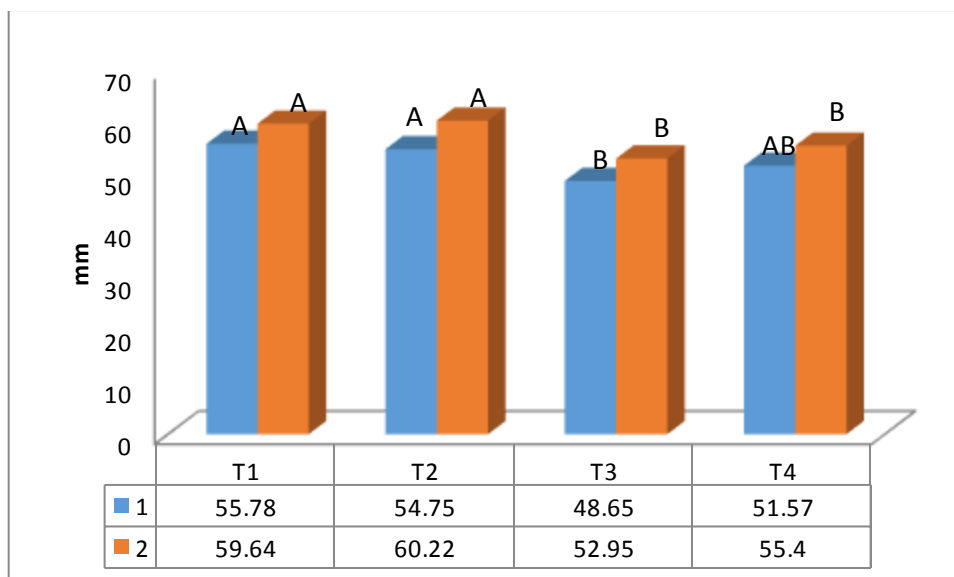


Figura 9 Comparación de medidas del diámetro polar de fruto (mm) en el primer y segundo corte, en la evaluación del efecto de inoculo de micorrizas Rhizophagus intraradices y Bacteria Azospirillum sp. en la productividad y vida de anaquel del tomate (Solanum lycopersicum L.) en invernadero. UAAAN-UL, 2019.

De acuerdo a la norma PC-020-2005 la cual indica que para verificar el tamaño del producto objeto de éste pliego de condiciones, deben aplicarse los métodos de prueba indicados en la norma mexicana NMX-FF-009, observando los requisitos de esta norma los cuales son las medidas mínima para diámetro polar de 38mm y como máxima de 76 mm para el diámetro polar; podemos decir que el resultado del producto puede ser aceptado y comercializado de acuerdo al diámetro polar que presentaron los tratamientos.

4.5 Diámetro ecuatorial de fruto

En la variable diámetro ecuatorial el análisis de varianza muestra que entre los tratamientos existe diferencia significativa. Observando que el mayor diámetro polar en los dos cortes lo obtuvieron los tratamientos 1 (15 g *R. intraradices* + 1×10^{-8} UFC mL⁻¹ *Azospirillum sp.*) con 51mm y 52 mm y el T₂ (10 g de *R. intraradices* + 1×10^{-6} UFC mL⁻¹ *Azospirillum sp.*) con 49 mm y 52 mm.

Mientras que el menor diámetro polar para ambos cortes lo presentaron los tratamientos 3 (5 g *R. intraradices* + 1×10^{-4} UFC mL⁻¹ *Azospirillum sp.*) con 42.02 mm y 47.42mm, y el T₄ (Testigo) con 44 y 48 mm. (Figura 10).

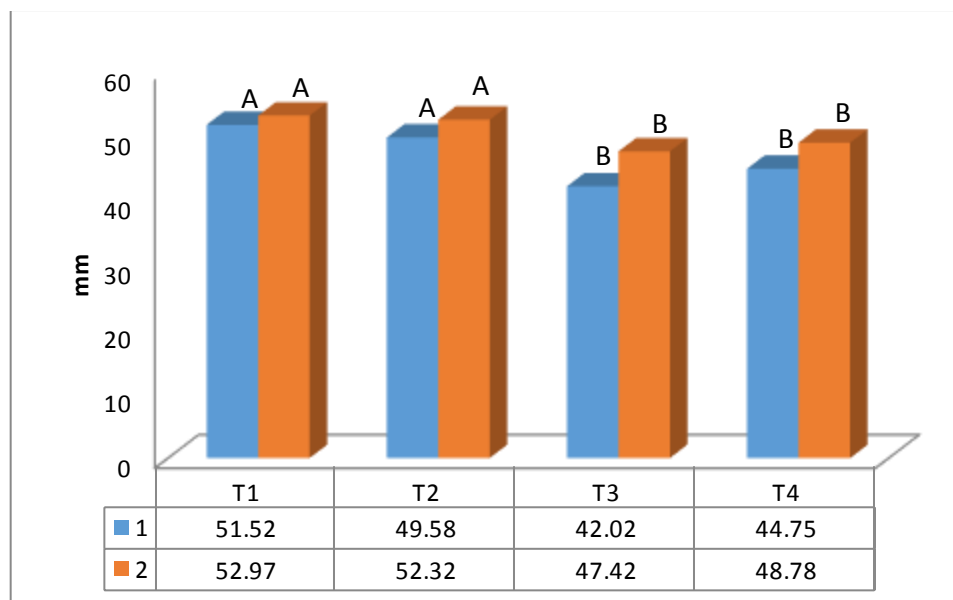


Figura 10 Comparación de medidas del diámetro ecuatorial del fruto (mm) en el primer y segundo corte, en la evaluación del efecto de inoculo de micorrizas *Rhizophagus intraradices* y Bacteria *Azospirillum sp.* en la productividad y vida de anaquel del tomate (*Solanum lycopersicum L.*) en invernadero. UAAAN-UL, 2019.

De la Cruz-Lázaro *et al.*, (2009) al evaluar la producción de tomate en sustratos orgánicos bajo invernadero; para la variable diámetro ecuatorial no presentó diferencia estadística significativa entre los tratamientos obteniendo un diámetro máximo y mínimo de 50 mm y 48 mm respectivamente, este resultado es similar al obtenido en el presente trabajo.

4.6 Sólidos solubles totales (Grados Brix)

El análisis de varianza presentó diferencia significativa entre tratamientos para la variable sólidos solubles totales. Siendo el T₃ (5 g de *R. intraradices* + 1×10^{-4} UFC mL⁻¹ *Azospirillum sp.*) el de mayor concentración de grados Brix con 6.4. Mientras que el T₁ (15 g de *R. intraradices* + 1×10^{-8} UFC/ mL⁻¹ *Azospirillum sp.*), T₂ (10 g de *R. intraradices* + 1×10^{-6} UFC/ mL⁻¹ *Azospirillum sp.*) y T₄ (Testigo) son estadísticamente iguales entre sí y menores al T₃.

Puede observarse que entre el mayor contenido de Sólidos solubles totales (SST) presentado por el T₃ (5 g de *R. intraradices* + 1×10^{-4} UFC mL⁻¹

Azospirillum sp.), en comparación con el menor contenido de SST que obtuvo el T4 (Testigo), se tiene una diferencia de un 30.28% menos. (Figura 11).

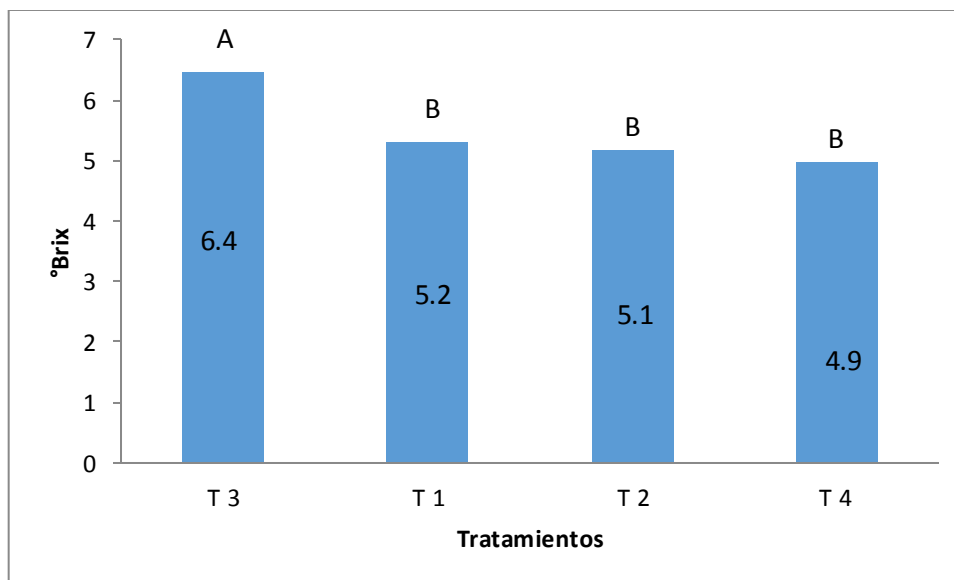


Figura 11 Comparación de medidas de los °Brix, en la evaluación del efecto de inoculo de micorrizas *Rhizophagus intraradices* y Bacteria *Azospirillum sp.* en la productividad y vida de anaquel del tomate (*Solanum lycopersicum L.*) en invernadero. UAAAN-UL, 2019.

De acuerdo con (Rodríguez-Dimas *et al.*) al evaluar vermicomposta como alternativa orgánica en la producción de tomate en invernadero encontró que el contenido de sólidos solubles fue mayor en los tratamientos orgánicos, que en el sistema de convencional.

Por otra parte (Preciado *et al.*, 2011) mencionan que para que sea considerado un tomate fresco de buena calidad debe de contener 4.0 a 5.5 Grados Brix. En esta investigación los frutos obtenidos quedan dentro del rango de tomate fresco de buena calidad, pues el que obtuvo el de menor contenido todos los tratamientos evaluados, pues el que obtuvo el menor contenido de sólidos solubles totales, alcanzó 4.9 Grados Brix.

4.7 Contenido de licopeno

Para la variable del contenido de licopeno, el análisis de varianza determinó que no se obtuvo diferencia significativa entre tratamientos. Es importante señalar que el T₃ (5 g de *R. intraradices* + 1×10^{-4} UFC mL⁻¹ Azospirillum) obtuvo el mayor valor numérico de contenido de licopeno con 3.09 mg, mientras que el T₄ (Testigo) obtuvo el menor valor numérico con 2.44 mg de licopeno. (Figura 12)

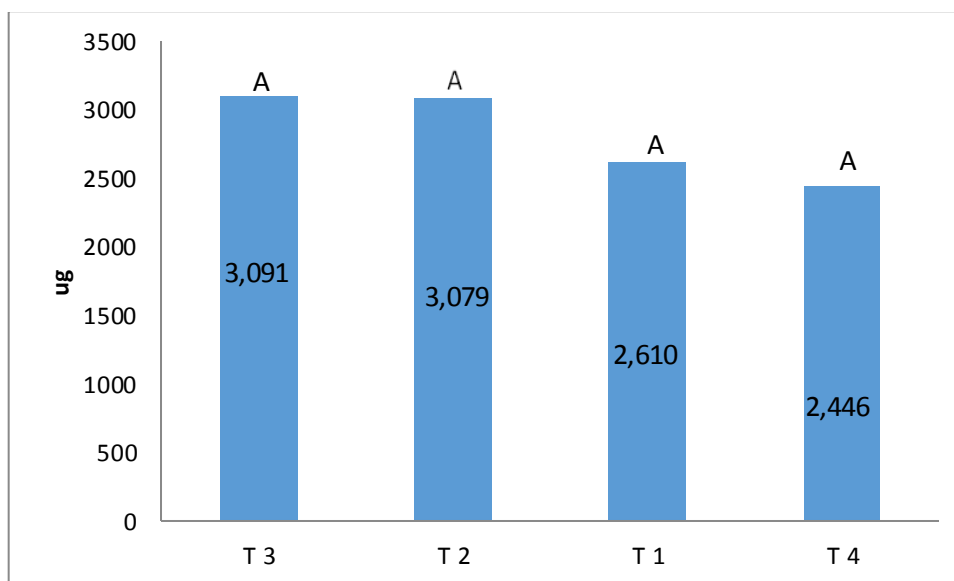


Figura 12 Comparación de medidas del licopeno, en la evaluación del efecto de inoculo de micorrizas *Rhizophagus intraradices* y Bacteria *Azospirillum* sp. en la productividad y vida de anaquel del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en invernadero. UAAAN-UL, 2019.

Cuadro 3. Conversión de microgramos a miligramos (ug) a miligramos (mg) en el contenido del licopeno obtenido en la evaluación del efecto de inoculo

de micorrizas *Rhizophagus intraradices* y Bacteria *Azospirillum* sp. en la productividad y vida de anaquel del tomate.

	ug	mg
T3	3091	3.09
T2	3079	3.07
T1	2610	2.61
T4	2446	2.44

De acuerdo con la información disponible sobre el valor nutritivo y funcional del tomate ubica a esta hortaliza entre aquellas que contribuyen a un buen equilibrio nutricional en la alimentación. Los resultados del presente estudio nos han permitido caracterizar algunos atributos funcionales de un grupo de variedades de tomate que están siendo evaluados para el cultivo orgánico, observando que existe una amplia variación entre los materiales disponibles.(Ullú, 2009)

Desde el punto de vista agronómico los factores ambientales pueden ofrecer perspectivas promisorias de mejora para la acumulación de licopeno.(Salas-Pérez *et al.*, 2016), al trabajar con cultivos orgánicos y convencionales obtuvieron como resultado una mayor cantidad de 2.80 mg de licopeno con el tratamiento orgánico y el menor cantidad resulto el tratamiento convencional con 2.70 mg.

El resultado del presente trabajo para la variable contenido de licopeno es similar a lo reportado por (Salas-Pérez *et al.*, 2016), ya que a pesar de no determinarse diferencia significativa entre tratamientos el mayor valor numérico lo obtuvo el T3(5 g de *R. intraradices* + 1×10^{-4} UFC mL⁻¹ Azospirillum) con 3.09 mg, mientras que el T4 (Testigo) obtuvo el de menor valor numérico con 2.44 mg de licopeno.

4.8 Peso fresco (tallo y hojas)

El análisis de varianza muestra que se obtuvo diferencia altamente significativa para la variable peso fresco siendo el T₄ (Testigo) el que obtuvo el mayor peso con 454 g y el de menor peso fue el T₃ (5 g de *R. intraradices* + 1×10^{-4} UFC mL⁻¹ *Azospirillum* sp.) con 243 g, mientras que el T₁ (15 g *R. intraradices* + 1×10^{-8} UFC/ mL⁻¹ *Azospirillum* sp.) y T₂ (10 g de *R. intraradices* + 1×10^{-6} UFC/ mL⁻¹ *Azospirillum* sp.) son estadísticamente iguales entre si pero diferentes al T₄ (testigo) y al T₃ (5 g de *R. intraradices* + 1×10^{-4} UFC mL⁻¹ *Azospirillum* sp). Se puede observar que el testigo obtuvo una diferencia del 86.42% más de materia fresca en relación al T₃ (5 g de *R. intraradices* + 1×10^{-4} UFC mL⁻¹ *Azospirillum* sp).

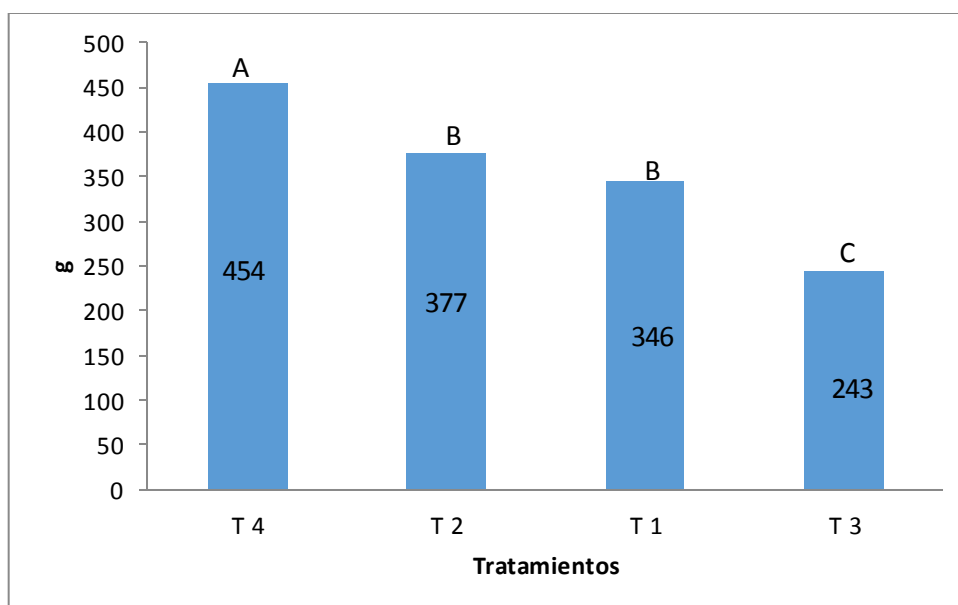


Figura 13 Comparación de medidas del peso fresco de la biomasa, en la evaluación del efecto de inoculo de micorrizas *Rhizophagus intraradices* y Bacteria *Azospirillum* sp. en la productividad y vida de anaquel del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en invernadero. UAAAN-UL, 2019.

González R.C (2018) al evaluar fertilización biológica, micorrizas y azospirillum, en tomate; reporta para las variables peso fresco de tallo y peso fresco de hojas (evaluadas por separado) no obtuvo diferencia significativa entre tratamientos, presentando el mayor valor numérico el testigo con 180 g para tallo 476 g para hoja; este resultado difiere de lo obtenido de la presente investigación

ya que aunque el T4 (testigo) obtuvo el mayor peso fresco, este fue de 454 g en total para tallo y hojas.

4.9 Biomasa (tallo y hojas)

Para la evaluación de la variable de biomasa (tallo y hojas) en el cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum L.*) se puede observar que se presentó diferencia significativa entre tratamientos siendo el T4 (Testigo) el que más sobresalió pesando 66 g y el tratamiento menor biomasa fue el T3 (5 g de *R. intraradices* + 1×10^{-4} UFC mL⁻¹ *Azospirillum sp.*) con 27 g. (Figura 14)

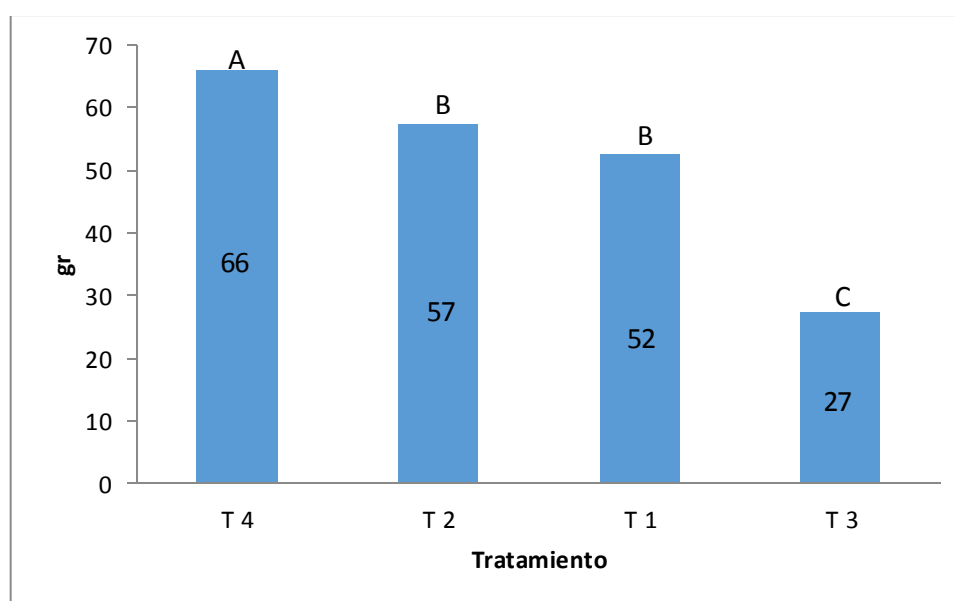


Figura 14 Comparación de medidas del peso seco, en la evaluación del efecto de inoculo de micorrizas *Rhizophagus intraradices* y Bacteria *Azospirillum sp.* en la productividad y vida de anaquel del tomate (*Solanum lycopersicum L.*) en invernadero. UAAAN-UL, 2019.

(Velasco *et al.*, 2001) menciona que en general, la adición de vermicomposta, ya sea sola o combinada con *G. intraradix* o *A. brasilense*, incrementó el contenido de materia seca. Este resultado difiere de lo encontrado en el presente trabajo ya que el testigo obtuvo el mayor peso de biomasa en comparación con los tratamientos con biofertilizantes.

4.10 Colonización de HMA

En la figura 15 se muestran los porcentajes de las estructuras intraradicales en los hongos micorrízicos arbusculares (hifas y vesículas) puede observarse referente a las hifas el de mayor porcentaje lo presenta el T₁ (15 g de *R. intraradices* + 1×10^{-8} UFC/ mL⁻¹ *Azospirillum* sp.) con 78 por ciento y el de menor lo presento el T₃ (5 g de *R. intraradices* + 1×10^{-4} UFC mL⁻¹ *Azospirillum* sp.) con 50 por ciento; referente a las vesículas el tratamiento con el mayor porcentaje de colonización fue el T₂ (10 g de *R. intraradices* + 1×10^{-6} UFC/ mL⁻¹ *Azospirillum* sp.) con 66 por ciento y el de menor lo presentando el T₃ (5 g de *R. intraradices* + 1×10^{-4} UFC mL⁻¹ *Azospirillum* sp.) con 55 por ciento. Los tratamientos con biofertilizantes fueron estadísticamente iguales entre sí en esta variable no se presento diferencia significativa. (Figura 15)

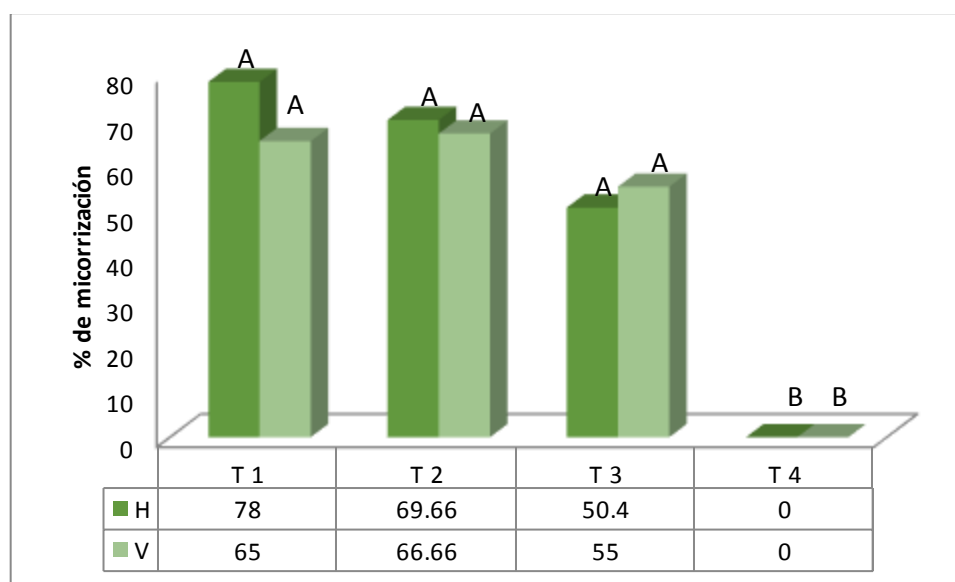


Figura 15 Comparación de medidas del porcentaje de micorrización, en la evaluación del efecto de inoculo de micorrizas *Rhizophagus intraradices* y Bacteria *Azospirillum* sp. en la productividad y vida de anaquel del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en invernadero. UAAAN-UL, 2019.

El mayor porcentaje de colonización correspondió a la coinoculación de *Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense* la cual superó significativamente a la inoculación. Teniendo como resultado el mayor porcentaje el coinoculado con un 56% de colonización según (Hernández y Chailloux, 2004). En el presente trabajo se alcanzaron porcentajes de inoculación para hifas de un 50 hasta un

78 por ciento y para vesículas de un 55 hasta un 65 por ciento; los cuales se incrementaron conforme se aplicaban mayores concentraciones de biofertilizantes.

4.11 Vida de anaquel

Para esta variable el análisis estadístico indicó que no hay diferencias significativas entre tratamientos. Pero se puede observar que la diferencia numéricamente entre los mismos, el tratamiento con mas vida de anaquel T₃ (5 g de *R. intraradices* + 1×10^{-4} UFC mL⁻¹ *Azospirillum* sp.) con 44 días y el tratamiento con menor vida de anaquel fue el T₄ (testigo) con 34 días. Teniendo un 29.41% más de días en vida de anaquel entre el de T₄ (testigo) y el T₃ (5 g de *R. intraradices* + 1×10^{-4} UFC mL⁻¹ *Azospirillum* sp.)

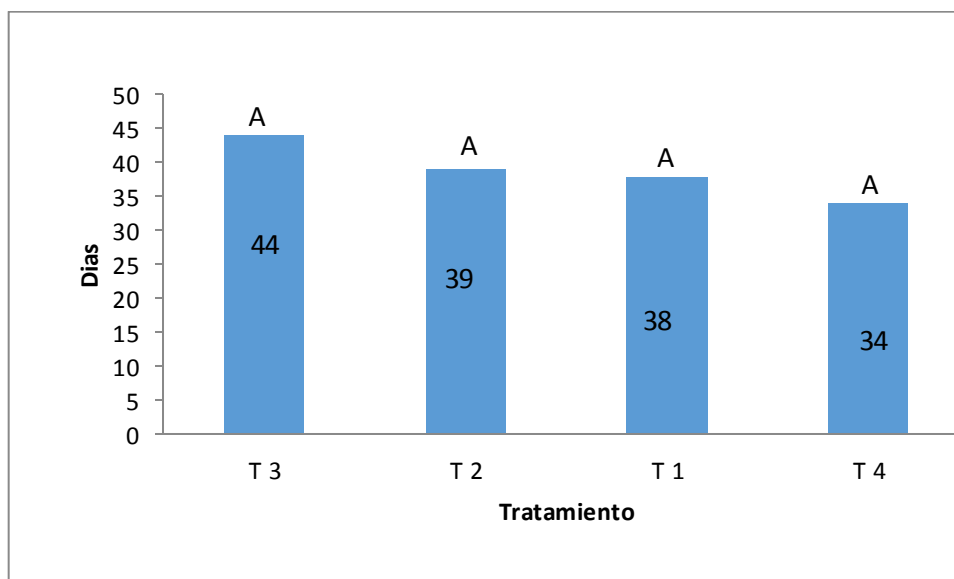


Figura 16 Comparación de vida de anaquel, en la evaluación del efecto de inoculo de micorrizas *Rhizophagus intraradices* y Bacteria *Azospirillum* sp. en la productividad y vida de anaquel del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en invernadero. UAAAN-UL, 2019.

Erany Rizo (2010) trabajo con tomates utilizando el método con microorganismos para inducir enzimas que extienden el tiempo de madurez de fruta, hortalizas y flores frescas; sin la secuencia genética mostraron casi tres veces más firmeza que tomates convencionales. Ambos tipos de tomates retuvieron su textura y firmeza hasta 45 días después de la cosecha, en comparación con tomates convencionales, los cuales comenzaron a encogerse

y perder su textura después de 15 días; estos resultados coinciden con la presente investigación, ya que los tratamientos a base de biofertilizantes a pesar de no determinarse diferencia significativa, presentaron mayor número de días para vida de anaquel en comparación con el testigo, además el T3 (5 g de *R. intraradices* + 1×10^{-4} UFC mL⁻¹ *Azospirillum sp.*) presentó el máximo de vida de anaquel con 44 días. www.hortalizas.com

4.12 Evaluación de la bacteria *Azospirillum sp*

Las muestras de suelo de los tratamientos, se enviaron al laboratorio del Departamento de Horticultura de la ciudad de Saltillo. Los resultados indican que se tuvo una gran diversidad de *Azospirillum sp.* en los 100 g de suelo que se analizaron, algunas muestras marcaron como incontable, por este motivo no se realizó análisis estadístico de los resultados.

V. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en el análisis estadístico, las variables donde se determinó diferencia significativa entre los tratamientos fueron; altura de planta, diámetro de tallo, peso de fruto, diámetro polar y diámetro ecuatorial de fruto, sólidos solubles totales, peso fresco y biomasa.

Para la variable altura de planta el T4 (testigo) presento la mayor altura con 1.90 m y estadísticamente similar al T2 () que alcanzo 1.82 m.

En diámetro de tallo el T4 (Testigo) con 9,1 mm y T1 (15 g de *R. intraradices* + 1×10^{-8} UFC/ mL⁻¹ *Azospirillum sp.*) con 9.0 mm son estadísticamente iguales.

Mientras que para las variables peso de fruto, diámetro polar y diámetro ecuatorial sobresale el T1 (15 g de *R. intraradices* + 1×10^{-8} UFC/ mL⁻¹ *Azospirillum sp.*) con 86 g, 59.6 mm y 52.9 mm respectivamente; siendo estadísticamente similar al T2 (10 g de *R. intraradices* + 1×10^{-6} UFC/ mL⁻¹ *Azospirillum sp.*).

Para la variable de sólidos solubles totales el T3 (5 g de *R. intraradices*+ 1×10^{-4} UFC/mL⁻¹ *Azospirillum sp.*) obtuvo fue el de mayor concentración con 6.4 grados Brix.

Para las variables peso fresco y biomasa el T4 (Testigo) sobresalió del resto de los tratamientos.

Para las variables determinación de licopeno, colonización de HMA y vida de anaquel, no se determinó diferencia significativa entre tratamientos.

Sin embargo para la determinación de licopeno y vida de anaquel sobresale con mayor valor numérico el T3 (5 g de *R. intraradices*+ 1×10^{-4} UFC/mL⁻¹ *Azospirillum sp.*). Respecto a la colonización de HMA sobresalen con mayor valor numérico el T1 y T2

De acuerdo a los resultados descritos anteriormente se concluye que ninguno de los tratamientos estadísticamente logro incrementar la vida de anaquel del tomate.

Referente a la hipótesis los parámetros de producción y calidad del tomate son mejores a mayores porcentajes de Coinoculación los biofertilizantes *Azospirillum sp.* y *Rhizophagus intraradices*.

VI RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados del presente trabajo, el tratamiento que influyo de manera positiva en un mayor número de las variables evaluadas se recomienda evaluar en otro trabajo de investigación el T₁ (15 g de *R. intraradices* + 1×10^{-8} UFC/ mL⁻¹ *Azospirillum sp.*) para verificar su efectividad en la productividad y vida de anaquel de tomate y en invernadero.

VII. REFERENCIAS

- Alfonso, E. T., Á. Leyva y A. J. R. c. d. B. Hernández. 2005. Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo del tomate (*lycopersicon esculentum*, mill). 7(2):47-54.
- Alfonso, E. T. y A. L. J. A. C. Galán. 2006. Evaluación agrobiológica de la coinoculación micorrizas-rizobacterias en tomate. 30(1):65-73.
- Bashan, Y. 1989. Nonespecific responses in plant growth, yield and root colonization of noncereal crops plants to inoculation with *Azospirillum brasilense* Cd. Canadian Journal of Botany. 67(5): 1317-1324
- Bashan Y, L Bashan.2002. Protection of tomato seedings against infection by *pseudomonas syringae* pv tomato by using the plant growth promoting bacterium *Azospirillumbrasilense*. Applied and Enviromental Microbiology. 68(6):2367-2643.
- Bergey's. 1984. Manual de Bacteriología Sistemática. E.d.I. vol 1, sección 2. U.S.A. pp.527-529.
- Bledsoe, C, S. 1992. Physiological ecology of ectomycorrhizae: implications for field application. Mycorrhizal functioning: an integrative plant fungal process. Ed. Michael f. Allen page. 424-437
- Bojórquez, A. D. A., C. G. Gutiérrez, J. R. C. Báez, M. Á. A. Sánchez, L. G. Montoya y E. N. J. R. X. r. c. d. s. Pérez, cultura y desarrollo sostenible. 2010. Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. 6(1):51-56.
- Bowen, G. D. and Rovira, A. D. 1999. The rizosphere and its management to improve plant growth. Adv. Agron. 66: 1-102.
- CAADES (CONFEDERACIÓN DE ASOCIACIONES AGRÍCOLAS DEL ESTADO DE SINALOA) (2008): Tendencias del mercado de hortalizas, ciclo de conferencias y paneles, <http://www.expoagro.org.mx/conferencias/conocimiento.html> [Consulta 11 junio].
- Collados, C. 2006. Impacto de inoculantes basados en *Azospirillum* modificado genéticamente sobre la diversidad y actividad de los hongos de la micorriza arbuscular en rizósfera de trigo y maíz. Tesis doctoral. UGFC, España, 04-11.
- Croes, C. L., E. Van Bastelaere, E. Declercq, M. Eysers, J. Vanderleyden, and K. W. Michiels. 1991. Identification and mapping of the involved in motility,

adsorption to wheat roots, colony morphology, and growth in minimal medium on the *Azospirillum brasilense* Sp7 90-MDa plasmid 26:83-93.

- Díaz Martínez, Ó. 2013. Biofertilizantes en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.).
- Estay, P., Wagner A. y M. Escaff. 2001. Evaluación de *Bombus dahlbomii* (guér.) como agente polinizador de flores de tomate (*Lycopersicon esculentum* (mill)), bajo condiciones de invernadero. *Agric. Téc.*, 61 (2): 113-119.
- FIRA, 2019 Panorama agroalimentario tomate rojo. 2107
- Frank B. 1885. Über die auf Wurzeisymbiosen beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze. *Ber Deutsch Bot Ges* 3: 128-145.
- Frontera, M. G. 2004. "Biofertilización: aspectos productivos y consecuencias en el manejo y conservación de la fertilidad del suelo, en *Revista Producción*, septiembre-octubre (2004). Argentina, página web: <http://www.producción.com.ar>. Fecha de consulta: septiembre de 2013.
- International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM). 2003. Normas para la producción y procesado orgánico. Victoria, Canadá. 158 p.
- García, G. M. T. 1997. "Uso de biofertilizantes en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en suelos arenosos", página web: <http://www.monografias.com/trabajos55/biofertilizante-frijol-sueloarenoso/biofertilizantefrijol-suelo-arenoso.shtml>. Fecha de consulta: agosto de 2013.
- Gómez Tovar, L. y M. G. J. M. n. p. Cruz, Oaxaca, México. 2004. La agricultura orgánica en México: Un ejemplo de incorporación y resistencia a la globalización.
- Gómez Cruz, Manuel Ángel; Laura Gómez Tovar; y Rita Schwentesius Rindermann. 2003. La Agricultura Orgánica en México. En: *Producción, comercialización y certificación de la agricultura orgánica en América Latina*. CIESTAAM-AUNA, Edo. de México, pp. 91-108
- González, R. 2018. Producción de tomate tipo saladette (*Solanum lycopersicum* L.) con fertilización biológica en bioespacio. Tesis. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Torreón Coahuila México.
- Hernández, M., M. Pereira y M. Tang. 1994. "Utilización de los microorganismos fertilizantes con cultivos tropicales", en revista *Pastos y Forrajes*, vol. 17, núm. 3, 183-191 pp., página web: <http://revistas.mes.edu.cu:9900/EDUNIV/03-Revistas-Cientificas/Pastos-y-Forrajes/1994/3/09994301.pdf>. Fecha de consulta: julio de 2008.

- Gómez T.L., M.A. Gómez, R. Schwentesius, 1999. Desafíos de la Agricultura Orgánica. s.n.t. p. 224.
- Infoagro.2008..(En línea)www.infoagro.com/hortalizas/tomate.asp.2008..(12 de Abril 2008)
- Loredo, O. C., R. L. López y V. Espinosa. 2004. "Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramíneas", en Revista terra Latinoamericana, núm. 22, 225-239. pp., página web: www.chapingo.mx/terra/contenido/22/2/225.pdf. Fecha de consulta: septiembre de 2013.
- Lugtenberg, B. and Kamilova, F. 2009. Plant-GrowthPromoting rhizobacteria. *Ann. Rev. Microbiol.* 63: 541-556.
- Michiels, K. W., C. L. Croes, and J. Vanderleyden. 1991. Two different modes of attachment of *Azospirillum brasilense* Sp7 to wheat roots. *J. Gen. Microbiol.* 137:2241-2246.
- Richardson, K, A; currah, R, S; Hambleton, S. 1993. Basidiomycetes endophytes from the roots of neotropical epiphytic orchidaceae. *Lindleyana*. Page. 127-137
- Rodríguez Dimas, N., P. Cano Ríos, U. Figueroa Viramontes, E. Favela Chávez, A. Moreno Reséndez, C. Márquez Hernández, E. Ochoa Martínez y P. J. T. L. Preciado Rangel. 2009. Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. 27(4):319-327.
- Rodríguez F. H., Muñoz L. S. y Alcorta G. E. 2006. El tomate rojo: sistema hidropónico. México: Trillas, 2006. pp.82
- Rodríguez., J.M. Tabares y J.A. Medina. 2001. Cultivo moderno del tomate. Mundi-prensa México, S.A. de C.V. segunda edición, 2001.pp.155.
- Sahota Amarjit. 2004. Overview of the global market for organic food and drink. En: *The world of organic agriculture. Statistics and emerging trends 2004*. IFOAM, FIBL, SÖL, Germany, pp. 21-26.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2012. Agricultura protegida 2012. www.sagarpa.gob.mx/agricultura/paginas/agriculturaprotegida 2012.
- Smith, S. E. and Read, D. J. 1997. Mycorrhizal symbiosis. 2nd Edition. Academic Press. San Diego.
- Simon, L.; Bousquet, J.; Lévesque, R. C. and Lalonde, M. 1993. Origin and diversification of endomycorrhizal fungi and coincidence with vascular land plants. *Nature*. 363:67-69.

- Nuez, F. 1995. El cultivo del tomate. Editorial Mundi – Prensa. Barcelona, España. Pp. 15 – 291
- Nuez, F. 2001. El cultivo de tomate. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid España
- Topseed.2019..(En línea)<http://www.topseedsiberica.com/empresa/> .2109
- Tourat, A. P. 2000. Time for compost tea in the northwest. *BioCycle* 41: 74-77
- Vessey, J. K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil*. 255:571-586.
- Willer Helga and Minou Yussefi. 2004. The world of organic agriculture. Statistics and emerging trends 2004. IFOAM, FIBL, SÖL, Germany, 167p.
- Ávila-Peralta, O., R. Mendoza-Villarreal, L. A. Valdez-Aguilar, E. M. R. Campos, A. Hernández-Pérez y A. Cárdenas-Flores. Crecimiento y estado nutricional de tomate en respuesta a sustratos orgánicos y hongos micorrízicos* growth and nutritional status of tomato in response to organic substrates and mycorrhizal fungi.
- Alfonso, E. T., Á. Leyva y A. J. R. c. d. B. Hernández. 2005. Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo del tomate (*lycopersicon esculentum*, mill). 7(2):47-54.
- Bojórquez, A. D. A., C. G. Gutiérrez, J. R. C. Báez, M. Á. A. Sánchez, L. G. Montoya y E. N. J. R. X. r. c. d. s. Pérez, cultura y desarrollo sostenible. 2010. Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. 6(1):51-56.
- Alarcón, A. 2001. “Actualización de la taxonomía de los glomales”, *terra Latinoamericana*, 2001, página web: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc>. Fecha de consulta: septiembre de 2013.
- Alfonso, E. T. y A. L. J. A. C. Galán. 2006. Evaluación agrobiológica de la coinoculación micorrizas-rizobacterias en tomate. 30(1):65-73.
- Alfonso, E. T., Á. Leyva y A. J. R. c. d. B. Hernández. 2005. Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo del tomate (*lycopersicon esculentum*, mill). 7(2):47-54.
- Ávila-Peralta, O., R. Mendoza-Villarreal, L. A. Valdez-Aguilar, E. M. Rodríguez Campos, A. Hernández-Pérez y A. J. R. m. d. c. a. Cárdenas-Flores. 2015. Crecimiento y estado nutricional de tomate en respuesta a sustratos orgánicos y hongos micorrízicos. 6(SPE12):2409-2422.
- Bojórquez, A. D. A., C. G. Gutiérrez, J. R. C. Báez, M. Á. A. Sánchez, L. G. Montoya y E. N. J. R. X. r. c. d. s. Pérez, cultura y desarrollo sostenible. 2010. Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. 6(1):51-56.

- Brundrett, M., N. Bougher, B. Dell y T. Grove. 1996. Working with mycorrhizas in forestry and agriculture. Australian Centre for International Agricultural Research: Canberra, Australia.
- Caballero, J., J. Onofre, A. Wong, R. Castro, P. Estrada, J. Rodriguez, R. Suarez, G. Iturriaga y L. Martinez. 2010. Uso de azospirillum en México como biofertilizante y potencial de nuevas especies bacterianas como biofertilizantes, agentes de biorremediación y biocontrol de fitopatógenos. In: XIII Congreso Nacional de biotecnología y Bioingeniería. p 235.
- Camargo_Ricalde, S. L., N. M. M. ARIAS, C. J. D. L. R. MERA y S. A. M. Arias. 2012. Micorrizas: Una gran unión debajo del suelo.
- Cid, M. I. S. 2006. Aislamiento y caracterización de bacterias promotoras de crecimiento vegetal de la rizósfera de *Lolium perenne* L. De suelo volcánico (modelo género *Azospirillum* spp.), Universidad Austral de Chile.
- De la Cruz-Lázaro, E., M. Estrada-Botello, V. Robledo-Torres, R. Osorio-Osorio, C. Márquez-Hernández y R. J. U. y. c. Sánchez-Hernández. 2009. Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. 25(1):59-67.
- Díaz Martínez, Ó. 2013. Biofertilizantes en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.).
- Díaz Martínez, Ó. 2013. Biofertilizantes en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.).
- Escobar, H. y R. Lee. 2009. Manual de producción de tomate bajo invernadero. Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Gai, J. P., H. Tian, F. Y. Yang, P. Christie, X. L. Li y J. N. Klironomos. 2012. Arbuscular mycorrhizal fungal diversity along a Tibetan elevation gradient. *Pedobiología* 55(3):145-151.
- Gómez, L. I. A., V. O. Portugal, M. R. Arriaga y R. C. J. C. e.-s. Alonso, *Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*. 2007. Micorrizas arbusculares. 14(3):300-306.
- Gómez, M. M., E. C. Mercado y E. G. J. B. R. d. I. D. C. B. A. Pineda. 2014. *Azospirillum* una rizobacteria con uso potencial en la agricultura. 16(1):11-18.
- Gómez Tovar, L. y M. G. J. M. n. p. Cruz, Oaxaca, México. 2004. La agricultura orgánica en México: Un ejemplo de incorporación y resistencia a la globalización.

- Gómez Tovar, L. y M. G. J. M. n. p. Cruz, Oaxaca, México. 2004. La agricultura orgánica en México: Un ejemplo de incorporación y resistencia a la globalización.
- Gómez Vázquez, E. G. 2017. Caracterización funcional de una proteína híbrida con actividades presuntivas de diguanilato ciclasa y fosfodiesterasa de *Azospirillum brasilense* sp245, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Hernández, M. I. y M. J. C. t. Chailloux. 2004. Las micorrizas arbusculares y las bacterias rizosféricas como alternativa a la nutrición mineral del tomate. 25(2):5-12.
- Phillips, J. M. y D. S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Transactions of the British Mycological Society 55(1):158-IN118.
- Porras, K. L. J. S. J. P. 2011. El mercado de productos orgánicos: Oportunidades de diversificación y diferenciación para la oferta exportable costarricense.
- Porras, K. L. J. S. J. P. 2011. El mercado de productos orgánicos: Oportunidades de diversificación y diferenciación para la oferta exportable costarricense.
- Ramírez-Vargas, C. y J. J. R. T. e. M. Nienhuis. 2012. Evaluación del crecimiento y productividad del tomate (*Lycopersicon esculentum* mill) bajo cultivo protegido en tres localidades de Costa Rica. 25(1):ág. 3-ág. 3.
- Rodríguez-Dimas, N., F.-C. P. Cano-Ríos y V. d. P.-A. Palomo-Gil. Evaluación de tomate cultivado en invernadero con fertilización orgánica y convencional.
- Rodríguez Dimas, N., P. Cano Ríos, U. Figueroa Viramontes, E. Favela Chávez, A. Moreno Reséndez, C. Márquez Hernández, E. Ochoa Martínez y P. J. T. L. Preciado Rangel. 2009. Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. 27(4):319-327
- Rodríguez-Dimas, N., P. Cano-Ríos, E. Favela-Chávez, U. Figueroa-Viramontes, V. De Paul-Álvarez, A. Palomo-Gil, C. Márquez-Hernández y A. J. R. C. S. H. Moreno-Reséndez. 2007. Vermicomposta como alternativa orgánica en la producción de tomate en invernadero. 13(2):185-192.
- Rodríguez Dimas, N., P. Cano Ríos, U. Figueroa Viramontes, E. Favela Chávez, A. Moreno Reséndez, C. Márquez Hernández, E. Ochoa Martínez y P. J. T. L. Preciado Rangel. 2009. Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. 27(4):319-327.

- Salas-Pérez, L., J. A. González Fuentes, M. García Carrillo, E. Sifuentes-Ibarra, S. Parra-Terrazas y P. J. N. s. Preciado-Rangel. 2016. Calidad biofísica y nutracéutica de frutos de tomate producido con sustratos orgánicos. 8(17):310-325.
- Sánchez López, D. B., R. M. Gómez-Vargas, M. F. Garrido Rubiano y R. R. J. R. m. d. c. a. Bonilla Buitrago. 2012. Inoculación con bacterias promotoras de crecimiento vegetal en tomate bajo condiciones de invernadero. 3(7):1401-1415.
- Santiago, J. y F. J. A. m. Borrego. 1998. Evaluación de tomate (*lycopersicon esculentum*, mill) en invernadero: Criterios fenológicos y fisiológicos. 59-65.
- UIIÚ, J. 2009. Proyecto regional: Desarrollo y difusión de tecnología para la producción ecológica. Informe técnico 2009 del centro regional buenos aires norte. 987521342X, INTA.
- Vega, J. P., C. R. A. S. Ortiz y C. L. C. J. C. A. González. 2013. Efecto del biobras y el fitomas-e en el tomate de crecimiento indeterminado en casas de cultivo protegido. 40(1):29-34.
- Velasco, J. V., R. F. Cerrato y J. A. J. T. L. Suárez. 2001. Vermicomposta, micorriza arbuscular y *azospirillum brasilense* en tomate de cáscara. 19(3):241-248.

<https://topseedsmexico.com/productos/tomates/>

<https://www.hortalizas.com/poscosecha-y-mercados/mayor-vida-de-anaquel-para-tomates/>