

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**  
**DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA**



Efecto de *Azospirillum* sp. sobre la productividad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en invernadero.

Por:

**CESAR ANTONIO GALVÁN SOLÓRZANO**

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 DE CARRERAS AGRONÓMICAS**  
**DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA**

Efecto de *Azospirillum* sp. sobre la productividad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en invernadero.

Por:

**CESAR ANTONIO GALVÁN SOLÓRZANO**


TESIS


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


**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

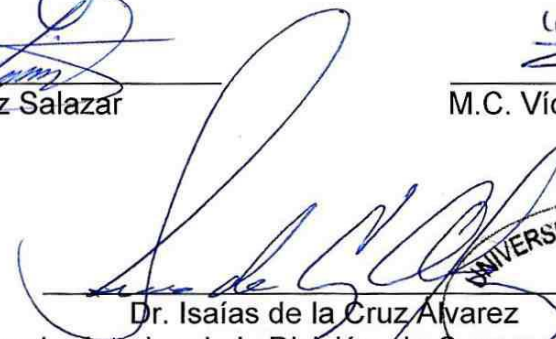
Aprobada por:

  
M.C. Francisca Sánchez Bernal  
Presidente

  
Ing. Juan Manuel Nava Santos  
Vocal

  
Dr. Rubén López Salazar  
Vocal

  
M.C. Víctor Martínez Cueto  
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 AGRÓNOMICAS**  
**DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA**

Efecto de *Azospirillum* sp. sobre la productividad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en invernadero.

Por:

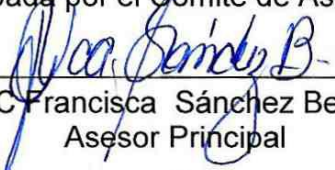
**CESAR ANTONIO GALVÁN SOLÓRZANO**


TESIS


Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

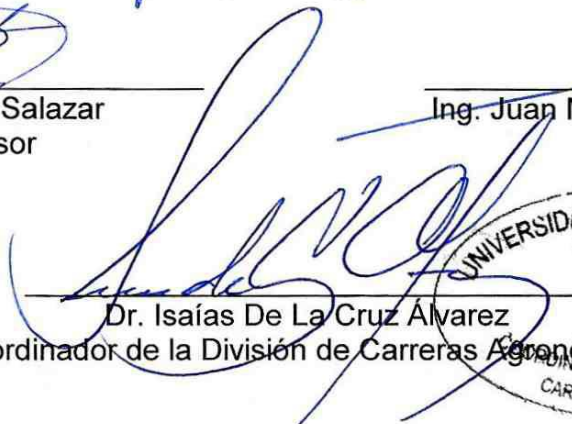
**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
M.C. Francisca Sánchez Bernal  
Asesor Principal

  
Dr. Rubén López Salazar  
Coasesor

  
Ing. Juan Manuel Nava Santos  
Coasesor

  
Dr. Isaías De La Cruz Álvarez  
Coordinador de la División de Carreras Agronómicas



Torreón, Coahuila, México  
Enero 2020

## **AGRADECIMIENTOS**

**En Primer lugar a Dios por bendecir y guiar mi camino y permitirme lograr esta meta, dándome las fuerzas para superar los obstáculos y dificultades a lo largo de mi carrera. Gracias por darme la fortaleza para seguir adelante y no tropezar en los problemas que se presentaban a lo largo de mi carrera , enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.**

**Agradezco a mis padres Antonio y Ma. Elena porque ellos siempre estuvieron brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona, por haberme dado educación, un hogar donde crecer y por inculcarme valores que hoy definen mi vida. También por los ejemplos de perseverancia y constancia que los caracteriza, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.**

**Agradezco al Ing. Juan Manuel Nava Santos, al Ing. Francisca Sánchez Bernal, al Dr. Rubén López Salazar y al M.E. Víctor Martínez Cueto. También al igual de importante al Dr. Ángel Largada Murrieta por sus esfuerzos, dedicaciones, conocimientos,**

**orientaciones, la manera de trabajar, sus paciencias y motivaciones han sido fundamentales para mi formación académica. Ustedes han inculcado en mí un sentido de seriedad, responsabilidad y rigor académico sin los cuales no podría tener una formación completa como profesionista.**

**También agradezco a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por haberme brindado la oportunidad de formar parte de ella, por permitir estudiar la carrera de Ingeniero Agrónomo en Horticultura y así ser orgullosamente buitre de la Narro.**

**Agradezco a mis amigos el Ing. Carlos Eduardo Ramírez Cano y Héctor Salvador Hernández Sánchez por haber estado siempre conmigo compartiendo risas, emociones, regaños y por apoyarme en las buenas y en las malas. Agradezco también a mi amigo el Ing. José Francisco Serrano Santos por brindarme su apoyo para el logro de esta tesis.**

## **DEDICATORIAS**

### **A dios:**

Dedico esta tesis a Dios como ser supremo creador de todo lo que nos rodea, por haberme dado sabiduría, inteligencia y sobre todo paciencia además de ser el guía en mi vida. Por siempre confiar en mí cuando nadie más lo hacía y permitirme disfrutar de todas las cosas maravillosas que nos ofrece la vida, por darme salud y felicidad, a mí y mi familia, como también amigos y personas cercanas y sobre todo por haberme guiado por el camino correcto y poder llegar a este momento.

### **A mis padres:**

Antonio Galván Guedea y Ma. Elena Solórzano Robles

Dedico esta tesis a mis padres por siempre haberme brindado sus consejos, su confianza, su paciencia, su amor, su comprensión y su cariño. Gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy y que siempre había anhelado. También por esfuerzo y dedicación, y los sacrificios en estos años. Es un honor y un privilegio ser su hijo, agradecido estoy por haberme dado la vida, son los mejores padres.

### **A mis hermanos:**

Mariano Galván Solórzano y Alejandra Yadira Samaniego Solórzano

Por el amor, su comprensión y sobre todo el apoyo moral que siempre he recibido de ustedes con el cual logre culminar mi esfuerzo, terminando así mi carrera profesional que es y será para mí, la mejor de las herencias.

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la productividad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en invernadero por efecto de *Azospirillum* sp.; por lo cual se evaluaron cuatro tratamientos inoculados con esta bacteria. T1 ( $1 \times 10^{-8}$  UFC mL<sup>-1</sup> *Azospirillum* sp.); T2 ( $1 \times 10^{-6}$  UFC mL<sup>-1</sup> *Azospirillum* sp.); T3 ( $1 \times 10^{-4}$  UFC mL<sup>-1</sup> *Azospirillum* sp.) y el T4 (testigo, solución nutritiva Steiner). Se utilizó un diseño completamente al azar con 10 repeticiones por tratamiento. Una vez analizados los resultados obtenidos, estos indican que referente a las variables diámetro de tallo, peso fresco de planta y biomasa, se determinó diferencia significativa, los mejores resultados se obtuvieron con el T4 (Testigo). Para la variable altura de planta no se determinó diferencia significativa entre tratamientos, sin embargo sobresale el T4 (testigo). En relación a las variables diámetro polar, diámetro ecuatorial y peso de fruto, fueron evaluadas en tres cosechas y se determinó diferencia significativa para todas, excepto para diámetro ecuatorial en la cosecha uno. En estas variables predominaron los tratamientos que fueron inoculados con *Azospirillum* sp. El mayor peso de fruto lo obtuvo el T2 ( $1 \times 10^{-6}$  UFC mL<sup>-1</sup> *Azospirillum* sp.) en la cosecha uno; en las cosechas dos y tres, el T1 ( $1 \times 10^{-8}$  UFC mL<sup>-1</sup> *Azospirillum* sp.) obtuvo el mayor peso de fruto. Para la variable determinación de licopeno, el análisis estadístico indica diferencia significativa entre tratamientos, el mejor resultado lo obtuvo el T3 ( $1 \times 10^{-4}$  UFC mL<sup>-1</sup> *Azospirillum* sp.). Se determinó diferencia significativa entre tratamientos para sólidos solubles totales, que alcanzaron su máxima concentración con el T1 ( $1 \times 10^{-8}$  UFC mL<sup>-1</sup> *Azospirillum* sp.). Los tratamientos inoculados con *Azospirillum* sp. predominaron en las variables de calidad de fruto, en particular el T1 ( $1 \times 10^{-8}$  UFC mL<sup>-1</sup> *Azospirillum* sp.) lo cual permite considerarlos como una opción viable y sustentable en la producción de tomate en invernadero.

**Palabras clave:** *Azospirillum* sp., *Solanum Lycopersicum* L, Productividad, Calidad, Invernadero.

## INDICE

RESUMEN.....	vi
INDICE .....	vii
INDICE DE CUADROS.....	x
INDICE DE FIGURA.....	xi
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 Cultivo de Tomate .....	4
2.1.1 Origen.....	4
2.1.2 Clasificación taxonómica .....	4
2.1.3 Fenología .....	5
2.1.4 Importancia económica .....	5
2.1.5 Morfología .....	6
2.2 Degradación del suelo.....	6
2.3 Agricultura orgánica. ....	7
2.4 Biofertilizantes.....	8
2.5 Micorrizas.....	9
2.6 Bacterias promotoras del crecimiento.....	12
2.6.1 <i>Azospirillum</i> sp. ....	12
2.6.2 Características morfológicas .....	12
2.6.3. Clasificación taxonómica de <i>Azospirillum</i> sp.....	13
2.6.4. Colonización del sistema radical por <i>Azospirillum</i> sp.....	13
2.6.5. Fijación de Nitrógeno por <i>Azospirillum</i> sp.....	14
2.6.6. Importancia Biológica de <i>Azospirillum</i> sp.....	14
2.6.7. La fijación de <i>Azospirillum</i> sp.....	14
2.6.8. Distribución y Aislamiento.....	15
2.6.9. Métodos para inocular la bacteria.....	15
2.6.10. Inoculación y Respuesta Agronómica .....	16
2.6.11. Ventajas del uso de <i>Azospirillum</i> sp.....	17

<b>III. Materiales y Métodos.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1 Descripción del sitio experimental .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2 Diseño experimental.....</b>	<b>20</b>
<b>3.3 Material vegetativo.....</b>	<b>20</b>
<b>3.4. Sustrato y Contenedores .....</b>	<b>21</b>
<b>3.5 Trasplante .....</b>	<b>21</b>
<b>3.6 Inoculación.....</b>	<b>21</b>
<b>3.7 Preparación de SNS.....</b>	<b>22</b>
<b>3.8 Riego.....</b>	<b>22</b>
<b>3.9 Polinización.....</b>	<b>22</b>
<b>3.10 Tutorado.....</b>	<b>22</b>
<b>3.11 Poda brotes axilares.....</b>	<b>22</b>
<b>3.12 Cosecha de tomate .....</b>	<b>22</b>
<b>3.13 Variables evaluadas.....</b>	<b>23</b>
<b>3.13.1 Altura de planta.....</b>	<b>23</b>
<b>3.13.2 Diámetro del tallo.....</b>	<b>23</b>
<b>3.13.3 Peso del fruto.....</b>	<b>23</b>
<b>3.13.4 Diámetro del fruto.....</b>	<b>23</b>
<b>3.13.5 Sólidos solubles totales (Grados Brix).....</b>	<b>23</b>
<b>3.13.6 Contenido de licopeno.....</b>	<b>23</b>
<b>3.13.7 Peso fresco.....</b>	<b>24</b>
<b>3.13.8 Biomasa .....</b>	<b>24</b>
<b>3.13.10 Evaluación de la bacteria <i>Azospirillum</i> sp .....</b>	<b>24</b>
<b>3.13.11 Análisis estadístico .....</b>	<b>24</b>
<b>IV. Resultados y Discusión .....</b>	<b>25</b>
<b>4.1 Diámetro de Tallo .....</b>	<b>25</b>
<b>4.2 Altura de Planta.....</b>	<b>26</b>
<b>4.3 Peso fresco de planta.....</b>	<b>26</b>
<b>4.4 Biomasa.....</b>	<b>27</b>
<b>4.5 Diámetro Polar, Diámetro ecuatorial y Peso de fruto.....</b>	<b>28</b>
<b>4.6 Determinación de Licopeno.....</b>	<b>32</b>
<b>4.7 Sólidos solubles totales (Grados Brix).....</b>	<b>33</b>
<b>4.8 Evaluación de la bacteria <i>Azospirillum</i> sp.....</b>	<b>34</b>



<b>V. Conclusiones</b> .....	35
<b>VI. BIBLIOGRAFÍAS</b> .....	36

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos inoculados con <i>Azospirillum</i> sp. para evaluar su efecto en la productividad y vida de anaquel del tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) en invernadero. ....	20
Cuadro 2. Diámetro ecuatorial (mm), diámetro polar (mm) y peso de fruto (g) de la <b>cosecha 1</b> resultado de la evaluación de <i>Azospirillum</i> sp. en la productividad del cultivo de tomate. ....	29
Cuadro 3 Diámetro ecuatorial (mm), diámetro polar (mm) y peso de fruto (g) de la <b>cosecha 2</b> resultado de la evaluación de <i>Azospirillum</i> sp. en la productividad del cultivo de tomate. ....	30
Cuadro 4. Diámetro ecuatorial (mm), diámetro polar (mm) y peso de fruto (g) de la <b>cosecha 3</b> resultado de la evaluación de <i>Azospirillum</i> sp. en la productividad del cultivo de tomate. ....	31

## INDICE DE FIGURA

Figura 1. Diámetro de tallo (mm) resultado de la evaluación de Azospirillum sp. en la productividad del cultivo de tomate. ....	25
Figura 2. Altura de planta (m) resultado de la evaluación de Azospirillum sp. en la productividad del cultivo de tomate. ....	26
Figura 3. Peso fresco de planta (g) resultado de la evaluación de Azospirillum sp. en la productividad del cultivo de tomate. ....	27
Figura 4. Biomasa (g) resultado de la evaluación de Azospirillum sp. en la productividad del cultivo de tomate. ....	28
Figura 5. Determinación de Licopeno resultado de la evaluación de Azospirillum sp. en la productividad del cultivo de tomate. ....	32
Figura 6. Concentración de Grados Brix resultado de la evaluación de Azospirillum sp. en la productividad del cultivo de tomate. ....	33

## 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).

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.

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)

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. Buenos resultados se han publicado resaltando 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 aún más la eficiencia de los inoculantes. (Díaz Martínez, 2013)

Se demuestra la efectividad agrobiológica de *Azospirillum brasilense* 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)

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.

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<sub>3</sub>, eutrofización, lluvia ácida y calentamiento global.(Bojórquez *et al.*, 2010)

El tomate (*Solanum lycopersicon* L.) es uno de los cultivos hortícolas de mayor importancia comercial en el mundo y está priorizado entre las hortalizas, debido a su alta demanda y a la gran importancia que posee en la dieta de la población, tanto en consumo fresco como en conservas, en forma de jugos o pastas. (Solís, A.; 2006).

Los estados de la República Mexicana que más cultivan el tomate son Sinaloa, Michoacán, Baja California, San Luis Potosí, y Morelos, siendo el primero el más importante por su mayor explotación para mercado e industria de los Estados Unidos. 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 de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en invernadero por efecto de *Azospirillum* sp.

### **1.1.1 Objetivo Específico**

- Determinar los tratamientos que incrementen la productividad del tomate

## **1.2 Hipótesis**

Debido a que las bacterias promotoras de crecimiento vegetal otorgan grandes beneficios a las raíces, los parámetros de producción del tomate son mejores a mayor porcentaje de inoculación de este biofertilizante.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA.

### 2.1 Cultivo de Tomate

#### 2.1.1 Origen

El tomate es originario de la América del Sur, de la región andina, particularmente de Perú, Ecuador, Bolivia y Chile. Sin embargo, su domesticación fue llevada a cabo en México (COVECA, 2010). (Escalona, 2009). Afirma que el origen del género *Lycopersicon* se localiza en la región andina que se extiende desde el sur de Colombia al norte de Chile. Probablemente desde allí fue llevado a Centroamérica y México donde se domesticó y ha sido por siglos parte básica de la dieta. Luego, fue llevado por los conquistadores a Europa. Durante el siglo XVI se consumían en México tomates de distintas formas y tamaños e incluso rojos y amarillos 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, y de Europa se difundió a Estados Unidos y Canadá.

#### 2.1.2 Clasificación taxonómica

Reino...Metaphyta

División...Magnoliophyta

Clase...Magnoliopsida

Orden...Solanales

Familia...Solanaceae

Genero... *Solanum*

Especie... *Lycopersicon*

(INFOAGRO, 2006)

### **2.1.3 Fenología**

El tomate es la hortaliza más difundida en todo el mundo y la de mayor valor económico. Su demanda aumenta continuamente y con ella su cultivo, producción y comercio. El incremento anual de la producción en los últimos años se debe principalmente al aumento en el rendimiento y en menor proporción al aumento de la superficie cultivada. Es una de las especies hortícolas de gran importancia económica y nutricional; presenta altos contenido de vitamina C, hierro y vitamina A. pocos productos agrícolas se presentan para tantos usos como el jitomate, debido a que se le puede usar como ingrediente en la cocina y consumo en fresco y procesado en forma de pasta, salsa, jugo, o polvo (COVECA, 2010).

Durante el año 2010 hasta el mes de octubre se comercializaron dos millones de toneladas a nivel mundial ocupando México el primer lugar de exportación de tomate con dos millones de toneladas y un ingreso de 12, 700 millones de pesos anuales (Cazares, 2010).

### **2.1.4 Importancia económica**

El tomate es la hortaliza más difundida en todo el mundo y la de mayor valor económico. Su demanda aumenta continuamente y con ella su cultivo, producción y comercio. El incremento anual de la producción en los últimos años se debe principalmente al aumento en el rendimiento y en menor proporción al aumento de la superficie cultivada. Es una de las especies hortícolas de gran importancia económica y nutricional; presenta altos contenido de vitamina C, hierro y vitamina A. pocos productos agrícolas se presentan para tantos usos como el jitomate, debido a que se le puede usar como ingrediente en la cocina y consumo en fresco y procesado en forma de pasta, salsa, jugo, o polvo (COVECA, 2010).

Durante el año 2010 hasta el mes de octubre se comercializaron dos millones de toneladas a nivel mundial ocupando México el primer lugar de exportación de tomate con dos millones de toneladas y un ingreso de 12, 700 millones de pesos anuales (Cazares, 2010).

El tomate es el principal cultivo en invernadero en México y el mundo (Steta, 2004; Calvin y Cook, 2005; Cook y Calvin, 2005).



### **2.1.5 Morfología**

El tomate es una planta perenne de porte arbustivo que se cultiva como anual. La planta puede desarrollarse de forma rastrera, semierecta o erecta, y el crecimiento es limitado en las variedades determinadas e ilimitado en las variedades indeterminadas, pudiendo llegar, en estas últimas, a 10 m en un año (Chamarro, 2001).

### **2.2 Degradación del suelo**

La disminución en el contenido de materia orgánica (MO) de muchos suelos y la degradación de este, constituye un problema importante en los sistemas agrícolas (Baijukya et al. 2005; Sanginga y Woomer 2009), también se ha observado que esta disminución causa degradación del suelo en las regiones semiáridas (Diacono y Montemurro 2010), la cantidad de MO en el suelo depende del aporte de material orgánico, su velocidad de descomposición, velocidad de mineralización la MO existente, la textura del suelo y el clima (Johnston et al. 2009); la gestión de los recursos orgánicos disponibles por parte de los pequeños agricultores que buscan diversificar y abordar nuevas oportunidades de mercado, a menudo demuestra una comprensión intuitiva del reciclaje de nutrientes (Giller 2002).

Las enmiendas orgánicas de mayor calidad contienen los nutrientes requeridos en la proporción en que las plantas los requieren (Palm et al. 2001), se debe tener precaución al aplicar materiales orgánicos de baja calidad, incluso en combinación con fertilizantes minerales, los insumos orgánicos que son extremadamente bajos en nutrientes y altos en lignina y polifenoles no deben incorporarse al suelo, ya que es probable que provoquen la inmovilización de los nutrientes y los fertilizantes (Sanginga y Woomer 2009), en cambio, tales materiales se aplican mejor como mantillos superficiales, se requiere un manejo especial para transformar materiales orgánicos de baja calidad en fertilizantes orgánicos de alta calidad y esto podría lograrse mediante la fortificación con compost; aquí los residuos de cultivos pobres en nutrientes se mejoran con pequeñas cantidades de fertilizantes órgano-minerales, dicha mezcla está protegida contra la pérdida de nutrientes para producir un valioso fertilizante orgánico en solo 4 meses (N'dungu et al. 2003).

### **2.3 Agricultura orgánica.**

En comparación con las granjas compuestas y los campos cercanos, la baja y decreciente fertilidad del suelo suele ser más pronunciada ya que estos son frecuentemente infértiles, agotados y severamente deprimidos en el contenido de MO del suelo (Sanginga y Woomer 2009). Los suelos áridos son arenosos y a menudo con bajos niveles de MO, exhiben poca capacidad de retención de agua y bajas capacidades de intercambio de cationes y apenas retienen nutrientes, lo que constituye un problema fundamental para la productividad agrícola (Sanginga y Woomer 2009), es más probable que ocurra sequía en tierras degradadas que en tierras fértiles, el pastoreo excesivo ha provocado una degradación extensa de la tierra y desertificación (Herlocker 1999; Sanginga y Woomer 2009), las sequías agrícolas a menudo resultan del pastoreo excesivo y de cultivos poco adecuados por la humedad disponible; las tierras áridas agrícolas, por lo tanto, representan un doble desafío para sus agricultores.

La erosión del suelo es un problema ambiental crítico en todos los ecosistemas terrestres del mundo, esta inflige daños múltiples y graves en los ecosistemas gestionados, como cultivos, pastos o bosques, así como en la naturaleza. En particular, la erosión reduce la capacidad de retención de agua del suelo debido a la rápida escorrentía de agua y también a la MO. Como resultado, se transportan nutrientes y valiosa biota del suelo. Al mismo tiempo, la diversidad de especies de plantas, animales y microbios se reduce significativamente (Duran y Rodríguez 2008); uno de los problemas agrícolas más graves en las regiones áridas y semiáridas es la acumulación de sal en la superficie del suelo, lo que hace que los campos sean improductivos, en general, la salinidad inhibe el crecimiento y la productividad de las plantas, los efectos perjudiciales de la salinidad en el crecimiento de las plantas resultan de los efectos directos de la toxicidad iónica (Al-Karaki 2000a) y/o los efectos indirectos de los iones salinos que causan el desequilibrio osmótico del suelo/planta (Wyn Jones y Gorham 1983); incorporar o aplicar factores que permitan a las plantas resistir mejor el estrés salino podría ayudar a mejorar la producción de cultivos en condiciones adversas.

## 2.4 Biofertilizantes

Las fuentes orgánicas de nutrientes agregan al suelo la MO que es crítica para mantener la productividad, entre otros beneficios, esto ayuda a mejorar la retención de humedad del suelo y la resistencia a la erosión eólica, la buena estructura del suelo mejora el intercambio de gases y el desarrollo de las raíces de las plantas, las adiciones de MO proporcionan varios mecanismos para mejorar la eficiencia agronómica; estos incluyen una mejor sincronización del suministro de nutrientes con la demanda de cultivos, y una mejora en la salud del suelo a través del aumento de la biodiversidad del suelo y las reservas de carbono (Alley y Vanlauwe 2009). A largo plazo, los aportes orgánicos continuos influyen en los niveles de MO del suelo y la calidad de sus reservas de nutrientes (Woomer et al. 1994; Vanlauwe et al. 1998; Cadisch y Giller 1997). Mantener la cubierta permanente del suelo, como en la agricultura de conservación, protege contra la erosión, suprime las malezas, aumenta la infiltración de agua y promueve la actividad biológica del suelo (Sanginga y Woomer 2009).

Las enmiendas orgánicas, como los desechos urbanos, industriales, compost, lodos y compost municipales de desechos sólidos, se utilizan para la reposición de MO, reduciendo la aplicación de fertilizantes químicos. La aplicación duradera de enmiendas orgánicas aumentó el carbono orgánico hasta en un 90% en comparación con los niveles en el suelo no fertilizado, y hasta un 100% en comparación con los resultados de los tratamientos con fertilizantes químicos, los recursos orgánicos aplicados a los suelos liberan nutrientes y mejoran las condiciones de humedad del suelo (Barrios et al. 1997).

La aplicación de residuos de cultivos a los suelos mediante la incorporación o el acolchado promueve el reciclaje de nutrientes, también mejora la eficiencia del uso de fertilizantes y contribuye a la MO del suelo, alimentando los procesos biológicos de este (Sanginga y Woomer 2009).

La alimentación de residuos a animales domésticos y luego la aplicación de estiércol de esos un efecto similar; las adiciones de material orgánico al suelo proporcionan varios mecanismos para mejorar la eficiencia agronómica, la adición regular de residuos orgánicos, particularmente los residuos compostados, aumenta la fertilidad del suelo, principalmente al aumentar la estabilidad de los agregados del suelo y disminuir la densidad aparente del suelo, se mejora la estructura, lo que reduce la erosión, aumenta la infiltración y el almacenamiento del agua y mejora el desarrollo de las raíces (Hudson 1994; Diacono y Montemurro 2009; Sanginga y Woomer 2009).

El mejor rendimiento agronómico del compost a menudo se obtiene con las tasas y frecuencia más altas de aplicaciones. Además, se observaron beneficios adicionales, como la liberación lenta de N y aumentos en los rendimientos de los cultivos de hasta un 250% después de aplicaciones a largo plazo de altas tasas de compost de residuos sólidos municipales (Diacono y Montemurro 2009).

Las consideraciones agronómicas para el manejo integrado de nutrientes vegetales dentro del contexto de un programa de manejo total de cultivos incluyen la influencia de las fuentes de nutrientes orgánicos en las propiedades del suelo, como la estabilidad y estructura de los agregados, la estabilidad agregada mejora a medida que aumenta la MO del suelo porque une partículas minerales, arena, limo y arcilla, los suelos con alta estabilidad agregada resisten el impacto de las gotas de lluvia y son menos susceptibles a la erosión (Alley y Vanlauwe 2009).

## **2.5 Micorrizas**

Las micorrizas son asociaciones entre raíces de plantas y hongos especializados en el suelo, las plantas proporcionan fotosintatos a los hongos, lo que aumenta el acceso a los nutrientes poco disponibles, las micorrizas se clasifican en cuatro tipos principales según su estructura, función y sus socios fúngicos: micorrizas arbusculares, ectomicorrizas, micorrizas ericoides y micorrizas de orquídeas (ver Smith y Read 2008 para más detalles). La mayoría de las plantas terrestres (> 90%) forman una o más de estas asociaciones. Las micorrizas arbusculares son las más antiguas (~ 450 millones de años), lo que sugiere una fuerte influencia en la colonización de la tierra por las plantas vasculares, también son los más extendidos. Los hongos micorrícicos arbusculares infectan ~ 80% de las plantas terrestres, incluidas las hierbas, arbustos y árboles, y por lo tanto la mayoría de las especies en ecosistemas naturales y agroecosistemas, solo unas pocas familias de plantas no forman micorrizas arbusculares (Wang y Qiu 2006).

Los no hospedadores típicos son miembros de Crucifereae (por ejemplo, Brassica napus, canola), Caryophyllaceae (por ejemplo, Dianthus spp., Claveles), Proteaceae (por ejemplo, Banksia spp.) y Chenopodiaceae (por ejemplo, Atriplex spp.), por lo tanto, las micorrizas son órganos normales que absorben nutrientes de la mayoría de las plantas, los hongos arbusculares han sido reclasificados recientemente en un filo fúngico separado, el Glomeromycota (Schüßler et al. 2001).

Los miembros de la Glomeromycota típicamente forman estructuras características similares a árboles llamadas arbusculares dentro de las células corticales de la raíz, fuera de la membrana plasmática, brevemente, el proceso de infección consiste en el reconocimiento del hongo-huésped, la germinación de esporas, el alargamiento y ramificación de la hifa, la formación de un apresorio en las células epidérmicas, la penetración de la célula epidérmica a través del apresorio, el crecimiento de hifas inter o intracelulares y la formación de arbuscules o estructuras similares en las células corticales (para variaciones ver Dickson et al. 2007).

La ramificación y elongación hipofal es promovida por un factor de ramificación presente en los exudados de la raíz. El apresorio se forma en respuesta a las señales liberadas por las raíces del huésped, las hifas proliferan en la corteza de la raíz y en el suelo, las vesículas que sirven en el almacenamiento de lípidos están formadas por algunos hongos arbusculares entre o dentro de las células (Smith y Read 2008).

La infección generalmente se cuantifica por el porcentaje de longitud de la raíz colonizada por los hongos, esto se hace observando pedazos de raíces despejadas y teñidas esparcidas en un plato con líneas de cuadrícula en un microscopio de disección o compuesto, dependiendo de los detalles de las estructuras fúngicas requeridas; a diferencia de las raíces infectadas por hongos patógenos, las raíces micorrícicas no muestran ningún signo de enfermedad, la infección desencadena solo respuestas de defensa transitorias menores, esto es consistente con la compatibilidad de esta asociación de plantas y hongos (Smith y Read 2008).

Se cree comúnmente que los arbuscules y las hifas enrolladas intracelulares en las células corticales de la raíz, desempeñan un papel importante en la transferencia de nutrientes entre los simbioses. Los principales nutrientes transferidos a la planta asociada son el fósforo (P) y el zinc (Zn), los cuales son altamente inmóviles en el suelo. El extenso crecimiento de las hifas fúngicas de arbusculares en el suelo se extiende considerablemente las superficies de absorción del sistema de raíces simbióticas y supera el agotamiento de nutrientes localizado, que de otro modo ocurre cuando la tasa de absorción por las raíces excede la tasa de reemplazo del suelo a granel; las hifas pueden acceder a los poros de diámetros considerablemente más pequeños que las raíces, lo que aumenta en gran medida el volumen de la solución del suelo de la cual el P puede ser absorbido como ortofosfato (Smith y Read 2008; Smith et al. 2009a).

Las hifas también desempeñan papeles muy importantes en la estabilización de la estructura del suelo, al enredar las partículas del suelo y estabilizar los agregados, particularmente en el rango de tamaño de 20–200 mm de diámetro, los efectos de las hifas en la estabilidad estructural del suelo pueden persistir incluso en ausencia de plantas en crecimiento, por lo que las plantas no micorrícicas pueden beneficiarse de la estructura mejorada del suelo (SE Smith et al. 2009b).

Tradicionalmente, las simbiosis arbusculares se han considerado mutualistas cuando las plantas individuales mostraron un aumento en el crecimiento, y parasitarias cuando no se observaron efectos o depresiones en el crecimiento. Por lo tanto, los hongos (simbiontes obligados) que no proporcionaron un beneficio aparente a la planta fueron considerados "tramposos".

Las plantas micorrícicas tienen dos vías para la absorción de P, la vía directa implica la expresión de transportadores de P de la planta en los pelos radiculares y la epidermis, y da como resultado un agotamiento progresivo de P cerca de la superficie de la raíz, esta implica la expresión de transportadores fúngicos de alta afinidad en hifas externas y transportadores de plantas en la interfaz entre hongos y plantas, la visión convencional ha sido que la absorción de P por hifas externas y la transferencia a la planta en las células corticales de la raíz, complementa la absorción directa por la raíz de la planta, y que la extensión del 'beneficio' en términos de crecimiento está relacionada con la cantidad de colonización arbuscular en raíces. Se creía que la infección arbuscular no afecta la absorción directa por la raíz y que la actividad de esta es estrictamente aditiva. Esto explica los efectos de la simbiosis en plantas con respuesta positiva como el trébol. Sin embargo, no estaba claro qué funciones tenía la simbiosis en plantas como el trigo (*Triticum aestivum*), que a menudo no muestran respuesta o pueden responder negativamente. Para las plantas que no responden, donde la colonización es baja y/o la absorción total de P o el crecimiento de las plantas sin cambios o reducidos, se ha asumido que los hongos arbusculares están haciendo una contribución insignificante a la nutrición, y que la simbiosis no fue funcional o puede ser beneficiosa solamente bajo condiciones ambientales particulares y/o en momentos particulares del ciclo de vida de la planta (Fitter 1990), también se adujo protección contra hongos patógenos de la raíz y mayor tolerancia a la sequía, para explicar la prevalencia de la simbiosis (Newsham et al. 1995), Sin embargo, estas ideas no pueden explicar completamente la persistencia

de la simbiosis en plantas (cultivos o no cultivados) que no tienen un beneficio aparente de los hongos arbusculares, especialmente donde hay depresiones de crecimiento.

## **2.6 Bacterias promotoras del crecimiento**

### **2.6.1 *Azospirillum* sp.**

En general *Azospirillum* es uno de los géneros de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal más estudiado en la actualidad debido a su capacidad de mejorar significativamente el crecimiento y desarrollo, así como el rendimiento de numerosas especies vegetales de interés agrícola (Bashan y Holguín, 1997). Considerándose la capacidad de *Azospirillum* para asociarse con las plantas de interés agrícola, ha si como su capacidad de fijar N<sub>2</sub> en medios de cultivos, por lo que se realizaron pruebas que si el *azospirillum* no causa síntomas viables de enfermedad la raíz u hoja de planta de trigo, algodón o tomate (Bashan *et al*, 1996).

### **2.6.2 Características morfológicas**

Esta bacteria puede ser de vida libre en las raíces de los cereales, pastos y plántulas tuberosas. *Azospirillum* sp. ha sido el objetivo de numerosos estudios, por su capacidad de fijar nitrógeno asociado con las rices de diversos cultivos de importancia agronómica. Fue probado para la explotación agronómica como resultado de su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico y su íntima asociación con raíces de cereales y pastos. (Cardenas, *et al*.2010), *Azospirillum* (subclase de las proteo bacterias) es una bacteria negativa, de vida libre, fijadora de nitrógeno y asociada a la rizósfera de la planta. Tiene un metabolismo carbonado muy versátil, lo que permite adaptarse y establecerse en el competitivo entorno rizosférico, como fuentes nitrogenadas, *Azospirillum* puede utilizar un amplio rango de sustratos, amonio, nitratos, nitrito, aminoácidos y nitrógeno molecular. En condiciones desfavorables, recubriéndose de una capa de polisacáridos produciéndose una acumulación de gránulos de  $\beta$ -hidroxibutirato, que sirve a la bacteria de reserva de fuente carbonada (Caballero *et al.*, 1999).

Entre los beneficios del uso de microorganismos en la agricultura esta su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, descomposición de residuos orgánicos, supresión de enfermedades en las plantas, aporte de nutrientes al suelo y producción de compuestos

bioactivos como vitaminas y hormonas que estimulan el crecimiento de las plantas (Martínez, 2002), 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 sólido se inducen diversos flagelos laterales, siendo diferente la cantidad y posición de estos para cada una de las especies de género *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 y 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 aerotaxis), ya que puede sobrevivir en condiciones microaerofílicas (Collados, 2006).

### 2.6.3. Clasificación taxonómica de *Azospirillum sp.*

Reino	<i>Prokaryote</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).

### 2.6.4. Colonización del sistema radical por *Azospirillum sp.*

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).

#### **2.6.5. Fijación de Nitrógeno por *Azospirillum sp.***

El nitrógeno se localiza en el suelo procede de la atmosfera, pero el N<sub>2</sub> 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). Considerándose la capacidad de *Azospirillum* para asociarse con plantas de interés agrícola, así como su capacidad para fijar N<sub>2</sub> en medios de cultivos, por lo que se realizaron pruebas para verificar que el *Azospirillum* no causa síntomas visibles de enfermedad sobre la raíz u hojas de plantas de trigo, algodón o tomate (Bashann, 1998).

#### **2.6.6. Importancia Biológica de *Azospirillum sp.***

El efecto de la inoculación de *Azospirillum* sobre el rendimiento total aumenta generalmente con el crecimiento de las plantas y está en un rango de 10– 30 % (Bashan y Vázquez, 2000). Se demuestra la efectividad agrobiológica de *Azospirillum brasilense* a partir del estímulo positivo ejercido en el incremento y estado nutricional de las plantas, así como el rendimiento agrícola del cultivo; y se establece con un alto nivel poblacional de rizósfera de plantas inoculadas (Alonso, 2005). Dos variables básicas que contribuyen a la respuesta del rendimiento a la inoculación son los cultivares los cuales muestran respuestas diferentes a la inoculación y al nivel de fertilización nitrogenada (Schloter y Hartmann, 1998).

#### **2.6.7. La fijación de *Azospirillum sp.***

La fijación del *Azospirillum sp.*, es microaerófila, esta fue aislada de la raíz de varios cereales y forrajes de pasto en Nagano, Okinawa, Filipinas y Tailandia. Mayoría de las especies de *Azospirillum sp.*, aislados mostraron ser del tipo A. *brasilense*, el cual no

puede utilizar al carbón como única fuente de glucosa. Cuando se usaron estos inóculos aislados promovieron notablemente el desarrollo de las raíces y brotes de maíz (et al., 2005).

### **2.6.8. Distribución y Aislamiento**

El género *Azospirillum* muestra distribución geográfica amplia alrededor del mundo, siendo más abundante en las regiones tropicales, aunque también se encuentran en las regiones tropicales, aunque también se encuentran en regiones templadas, frías y desérticas (Barassi *et al.*, 2006). El medio de cultivo usado por excelencia para el enriquecimiento de las especies de *Azospirillum* ha sido el NFB semigelificado “libre” de nitrógeno y con malato como fuente de carbono. Medios de laboratorio, al que se le añade color rojo congo en que este medio de cultivo *Azospirillum brasilense* y toma un color rojo escarlata que permite la diferenciación de otros géneros bacterianos (Pereyra *et al.*, 2009).

### **2.6.9. Métodos para inocular la bacteria**

Actualmente se aplican algunos métodos para inocular *Azospirillum*. El más simple es aplicando las bacterias en suspensión líquida, ya sea directamente al suelo o a las semillas. Esta técnica ha sido utilizada en numerosos experimentos de invernadero y de campo abierto, pero resulta ser inadecuado puesto que el tiempo de sobrevivencia de *Azospirillum* en suelo es relativamente corto en ausencia de un acarreador. Los mejores resultados en rendimiento han sido obtenidos a partir de turba vertido por goteo al surco o distribuyendo el inoculante de turba granular al momento de la siembra. (Vega, 2015). También se puede realizar mediante la producción de microesferas o microencapsulados bacterianos en una matriz de alginatos y liofilizados. De esta manera se satisfacen, los requerimientos de un inoculante bueno y práctico, es un acarreador químicamente inerte similar al polvo de mármol, arena o carbonato de calcio, seco, fácil de usar, uniforme, biodegradable por los organismos del suelo, de naturaleza no tóxica, que contiene una población bacteriana basta y uniforme, permite la liberación gradual de las bacterias

durante periodos largos hasta un mes y puede ser producido a esa gran escala (Bashan *et al.*, 1996).

### 2.6.10. Inoculación y Respuesta Agronómica

Inicialmente *Azospirillum sp.* fue probado para la explotación agronómica como resultado de su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico y su íntima asociación con raíces de cereales y pastos. (Cárdenas, *et al.* 2010). Los biofertilizantes permiten poner al alcance de los agricultores, productos con alta efectividad, con los que se sustituye hasta el 50% del fertilizante nitrogenado industrial, en el caso de los fijadores asociativos, y hasta el 80% en el caso de los simbióticos, mientras que los organismos solubilizadores de fósforo, permiten sustituir el 70% del fertilizante fosfórico. Además de los rendimientos en productos agrícolas comerciales se incrementa hasta el 30% por el efecto de las sustancias activas sintetizadas por las bacterias fijadoras y asociativas (Pereyra *et al.*, 2010). Si la bacteria produce sustancias como las auxinas, observa un decremento en la longitud de la raíz y un incremento en la formación de pelos radiculares (Bashan y de Bashan., 2010). Se demostró que la inoculación de *A. brasilense* en semillas tienen un efecto pronunciado sobre el desarrollo y la morfología de las raíces, a bajas concentraciones como  $10^6$  UFC mL<sup>-1</sup> es casi tan alta como para inducir la elongación de la raíz y fuertemente inhibida a altas concentraciones celulares ( $10^9$  UFC mL<sup>-1</sup>). También se han observado en plantas inoculadas un aumento en la absorción de minerales y agua en plantas de trigo, maíz y sorgo en invernadero y campo (German *et al.*, 2000). Askary *et al.*, (2009) mencionan que la inoculación de la combinación de *Azospirillum brasilense* con *Rhizobium meliloti* incrementan el rendimiento de grano de trigo hasta un 53% y de un 22% en el peso de la planta, además de un 29% con la simple inoculación de *Azospirillum*, encontrando incrementos del 22.8% en el contenido de nitrógeno en el grano de trigo y de 59.5% en el contenido de fosforo y 34% en el contenido de potasio, al ser comparados con el testigo de la cepa sin inocular. Al estudiar diferentes vías de inoculación en el cultivo de la lechuga, bajo condiciones de organopónico con bajo nivel de reposición de materia orgánica, la aplicación de *Azospirillum brasilense* tiene una influencia positiva sobre este cultivo y que el mejor método de aplicación del biofertilizante es directamente al suelo en una dosis de 40 L ha<sup>-1</sup> (Díaz *et al.*, 2003).

### 2.6.11. Ventajas del uso de *Azospirillum* sp.

Esta especie de bacteria es una alternativa emergente a los fertilizantes químicos inorgánicos para incrementar la fertilidad y producción de los cultivos en agroecosistemas sustentables (Wu, *et al.*, 20005). El uso de *Azospirillum* produce reguladores de crecimiento como auxinas, ácido indolacético (AIA), citocininas, y proteínas como poliamina, fijan nitrógeno. Incrementan el crecimiento radicular, además son capaces de acelerar y potenciar el crecimiento de las plantas (Villegas, *et al.*, 2010; Cassan, *et al.*, 2009). El género de la bacteria favorece la tasa de germinación (Bashan y Bashan, 2005). Estos bacilos participan en diversos procesos del ecosistema, que incluyen el reciclaje, solubilizarían, descomposición y mineralización de compuestos orgánicos y la translocación de bioproductos y elementos minerales que conllevan la movilización de los nutrientes en el ecosistema suelo planta (Bare *et al.*, 2005). Disuelven y mineralizan los fosfatos, producen cantidades de sideroforos y antibióticos (Vessey, 2003).

Los efectos benéficos del *Azospirillum* en el rendimiento y la reducción de la fertilización nitrogenada es importante para la agricultura y significativo en el cuidado del ambiente (Fisher *et al.*, 2007; Spaepen. *et al.*, 2008). El uso de la bacteria crea una barrera protectora contra hongos y bacterias patógenas en la raíz de la planta, por lo que esta crece más sana y fortalecida (Russo *et al.*, 2008; Cascan *et al.*, 2009), debido a la capacidad de producirse en grandes cantidades bajo condiciones de alta humedad relativa, desplazan a los patógenos por la competencia generada o por la fortaleza fisiológica que adquiere la planta (Bashan y Bashan, 2002). *Azospirillum* produce enzimas que solubilizan los fosfatos y los hacen más accesibles a la planta, así como factores que facilitan la absorción de oligoelementos (Bashan y Bashan, 2005). Se ha logrado demostrar que las bacterias resisten mejor a las condiciones de sequía y los climas áridos ya que se forman alginatos en las raíces de las plantas (Bashan y Bashan, 2005; Arzanesh, *et al.*, 2010). El uso de esta bacteria aumenta la tolerancia a factores que originan estrés (Bashan y Bashan, 2005; Arzanesh *et al.*, 2010) puesto que las plantas responden a los mecanismos de estrés a nivel celular y molecular, limitando el crecimiento y rendimiento (Pereyra, *et al.* 2006).

El efecto favorable de *Azospirillum*, produce un mayor desarrollo del sistema radical, traducido en mayor superficie de absorción de agua y nutrientes así como un mayor desarrollo de la parte aérea de la planta (Lirano, *et al.*, 2005), teniendo potencial para emplearse en la producción de plántulas de interés hortícola (Díaz, *et al.*, 2001).

El nivel de inoculación óptimo para semillas y plantas para muchos cereales, vegetales y plantas de cultivos comerciales, se ha observado que es alrededor de  $10^4$  y  $10^6$  UFC mL<sup>-1</sup>. Una concentración del inoculo de  $10^7$  y  $10^{10}$  UFC mL<sup>-1</sup> generalmente inhibe el desarrollo radicular (Cárdenas *et al.*, 2010).

Molina *et al.* (2009), sugiere que la mezcla de diferentes cepas de *Azospirillum* también es una buena alternativa al inocular semillas de tomate cherry a una concentración de  $10^9$  UFC mL<sup>-1</sup>, ya que promueven la germinación y aumenta el contenido de materia seca en plántulas.

Al seleccionar el género microbiano predominante en la rizósfera, se inoculo y se evaluó el efecto en respuesta del cultivo, y reporta que los géneros *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus* y *Streptomyces*, forman parte de la comunidad microbiana de la rizósfera del tomate, en las condiciones estudiadas, y que *Azospirillum* es el género dominante. La inoculación artificial de esta rizobacteria causó un efecto positivo sobre el crecimiento de las plántulas, así como en el estado nutricional de las plantas, con un rendimiento agrícola superior al 11% (Terry., 2005).

Por su parte Askary *et al.* (2009), obtienen que la inoculación simple con *Azospirillum* incrementan el rendimiento de trigo en grano en 53.8% comparado con el testigo y de 22.8% de nitrógeno, de 59.5% en fósforo y de 34% de potasio.

Elein *et al.* (2005), reportan que la inoculación artificial de *Azospirillum* causó un efecto positivo sobre el crecimiento y estado nutricional de las plantas de tomate, con un rendimiento agrícola superior a un 11% con respecto a las plantas testigo. Se obtuvo un alto nivel poblacional en la rizósfera de las plantas inoculadas.

En otro trabajo Arzanesh (2010) y colaboradores encontraron que *Azospirillum* incrementa el rendimiento de avena y la tolerancia a factores de estrés.

Reyes *et al.* (2008), encontraron que *Azospirillum* al ser inoculado a semillas de pimiento aumento la germinación y el peso seco. Además del contenido de nitrógeno. En maíz presento una tendencia más selectiva que el pimiento en la germinación y se corrobora la promoción del crecimiento

Kim *et al.* (2010), reportan en un trabajo de investigación para verificar la eficiencia de *Azospirillum* que esta bacteria incrementa el crecimiento y la absorción de nutrientes en pimiento rojo, tomate y arroz bajo condiciones de invernadero, excepto para la longitud de raíz de pimiento rojo, tomate y arroz.

### III. Materiales y Métodos

#### 3.1 Descripción del sitio experimental

La presente investigación se realizó durante el ciclo otoño-invierno 2018-2019 en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, ubicada en la ciudad de Torreón, Coahuila, México, en el invernadero #1 del Departamento de Horticultura, el cual tiene una superficie de 235 m<sup>2</sup>, 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.

#### 3.2 Diseño experimental

Se realizó el experimento con un diseño completamente al azar se evaluaron 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 inoculados con Azospirillum sp. para evaluar su efecto en la productividad y vida de anaquel del tomate (Solanum lycopersicum L.) en invernadero.*

Tratamiento	Descripción
T1	1x10 <sup>-8</sup> UFC mL <sup>-1</sup> Bacteria <i>Azospirillum</i> sp.
T2	1x10 <sup>-6</sup> UFC mL <sup>-1</sup> Bacteria <i>Azospirillum</i> sp.
T3	1x10 <sup>-4</sup> UFC mL <sup>-1</sup> Bacteria <i>Azospirillum</i> sp.
T4	Testigo con Solución Nutritiva Steiner

#### 3.3 Material vegetativo

Se utilizaron plántulas de híbrido de Tomate Roma Indeterminado Variedad Top 2299 con una altura de 15 cm incluyendo sus hojas verdaderas., 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. Sustrato y Contenedores

El sustrato utilizado que consistió en una mezcla del 60% de arena esterilizada con hipoclorito de sodio al 20% más 40% de vermicompost se vació a bolsas de polietileno, calibre 500 color negro de tipo vivero con capacidad de 15 kg las cuales se llenaron con la mezcla de sustratos y se acomodaron en líneas por tratamiento.

### 3.5 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 platas ya sus hojas verdaderas con una altura aproximadamente de 15 cm

### 3.6 Inoculación

Para la inoculación del biofertilizante evaluado en este trabajo, que consistió en la bacteria promotora del crecimiento del genero *Azospirillum* sp., se determinaron tres tratamientos, con diferentes concentraciones de inoculo, como se describe en el Cuadro 1.

La bacteria se aplicó agregando 10 ml de cada concentración de acuerdo al tratamiento, a la plántula de tomate trasplantada (una por maceta) a las diez repeticiones.

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



### **3.7 Preparación de SNS**

Se preparó para el cuarto tratamiento la solución universal Steiner en un tambo de 200 l. 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).

### **3.8 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.

### **3.9 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 abiótica, moviendo o haciendo vibrar el sistema de tutorado manualmente, esto se hacía todos los días por la mañana.

### **3.10 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.

### **3.11 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.

### **3.12 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.

### **3.13 Variables evaluadas**

#### **3.13.1 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.

#### **3.13.2 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.

#### **3.13.3 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.

#### **3.13.4 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.

#### **3.13.5 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.

#### **3.13.6 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 agito la mezcla para separar y disolver los pigmentos de las membranas (Davis et al., 2003), se centrifugo 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:  $\text{Licopeno (ug g}^{-1}\text{)} = A_{502} \times (1320) \times 4$  (Fish et al., 2002).

### **3.13.7 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.

### **3.13.8 Biomasa**

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.

### **3.13.10 Evaluación de la bacteria *Azospirillum sp***

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

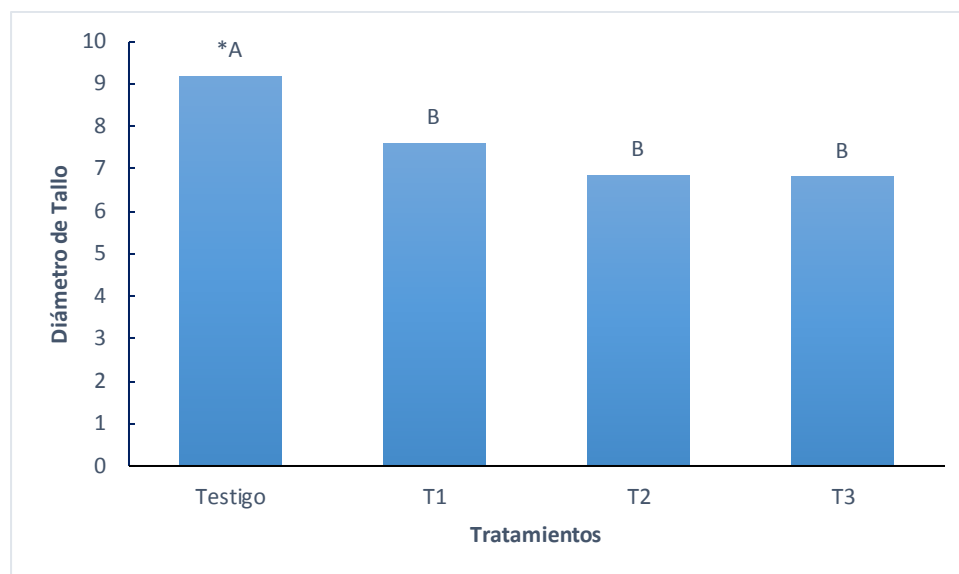
### **3.13.11 Análisis estadístico**

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 Discusión

### 4.1 Diámetro de Tallo

En esta variable se observa de manera gráfica, que al evaluar los tratamientos se presenta diferencia significativa con respecto al Testigo (Steiner 100%), el cual superó en un 25.85% al T<sub>3</sub> ( $1 \times 10^{-4}$  UFC mL<sup>-1</sup> Azospirillum sp.) (Figura 1).



\*Letras diferentes entre columnas indican diferencia significativa

Figura 1. Diámetro de tallo (mm) resultado de la evaluación de Azospirillum sp. en la productividad del cultivo de tomate.

El efecto favorable de *Azospirillum*, produce un mayor desarrollo del sistema radical, traducido en mayor superficie de absorción de agua y nutrientes así como un mayor desarrollo de la parte aérea de la planta (Lirano, et al., 2005). teniendo potencial para emplearse en la producción de plántulas de interés hortícola (Díaz, et al., 2001). Los resultados obtenidos en esta investigación difieren de lo señalado por (Lirano, et al., 2005) ya que fue el Testigo el que obtuvo el mayor diámetro de tallo.

## 4.2 Altura de Planta

En esta variable se observa de manera gráfica que al evaluar los tratamientos no se determinó diferencia significativa con respecto al testigo. (Figura 2).

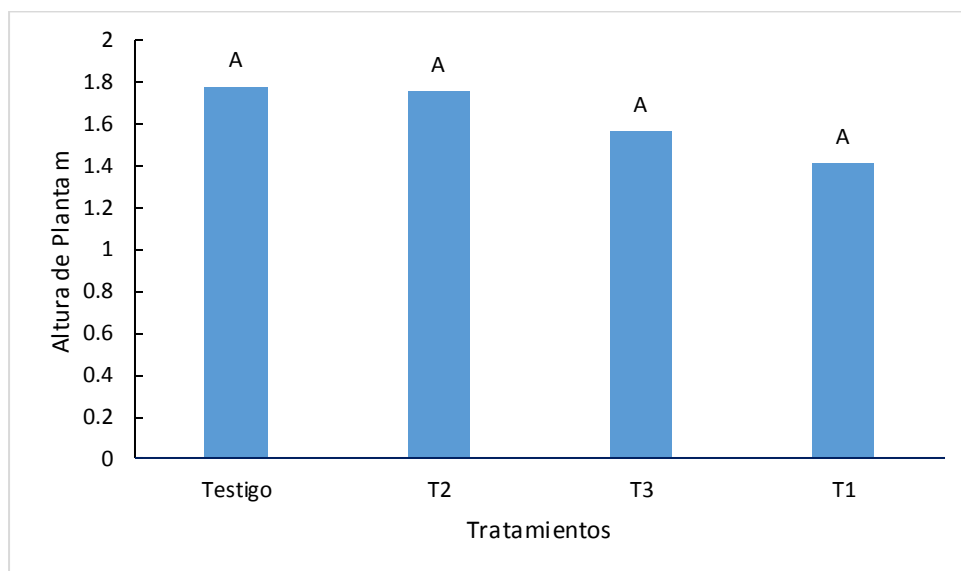


Figura 2. Altura de planta (m) resultado de la evaluación de *Azospirillum sp.* en la productividad del cultivo de tomate.

Pérez (2017) al evaluar la producción de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) con fertilización biológica (*Azospirillum sp.*) en invernadero, teniendo como testigo a la solución nutritiva Steiner, reporta diferencia significativa entre tratamientos para la variable altura de planta donde el T1 *Azospirillum*  $1 \times 10^9$  UFC mL<sup>-1</sup> se comporta estadísticamente igual al testigo Solución Nutritiva Steiner, a partir de los 24 y hasta los 70 días después del trasplante (ddt). Este resultado difiere del encontrado en la presente investigación, ya que no se determinó diferencia significativa entre tratamientos.

## 4.3 Peso fresco de planta

Se observa de manera gráfica, que al realizar la evaluación estadística, se determinó diferencia entre tratamientos con respecto al testigo, ya que es el que presentó la mayor

cantidad de peso fresco, superando en un 57.18% al T<sub>1</sub> ( $1 \times 10^{-8}$  UFC mL<sup>-1</sup> Azospirillum) en peso fresco de planta (Figura 3).

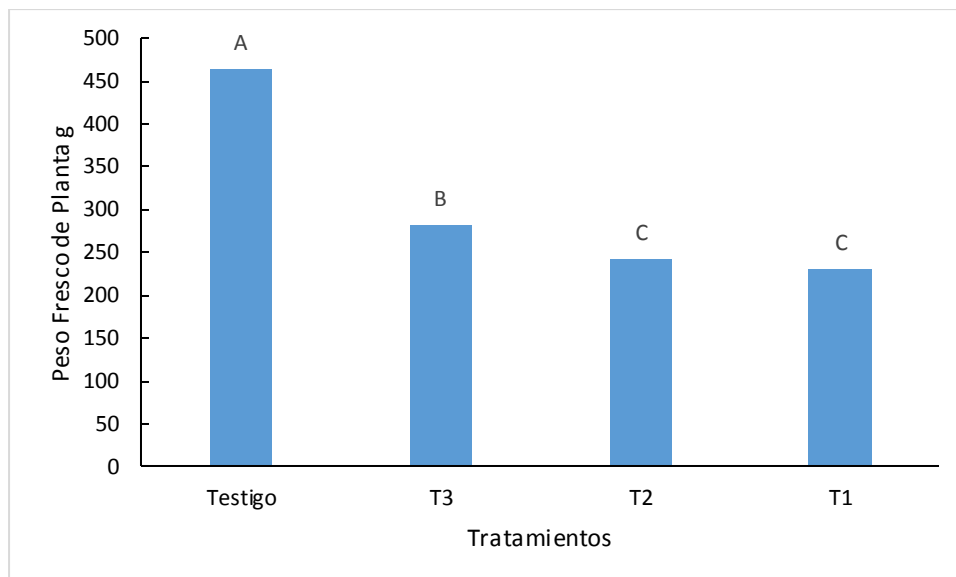
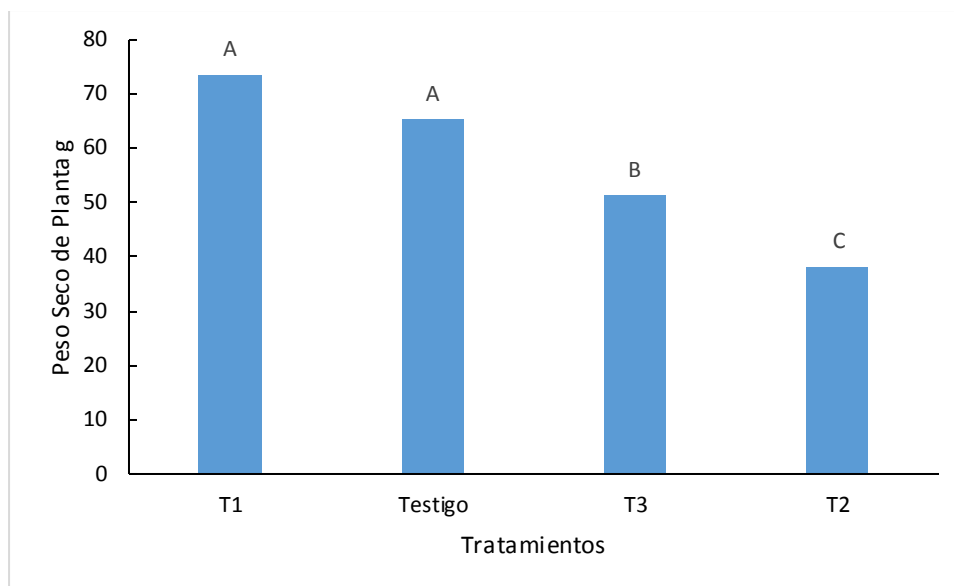


Figura 3. Peso fresco de planta (g) resultado de la evaluación de *Azospirillum sp.* en la productividad del cultivo de tomate.

González (2018), al evaluar la producción y calidad de tomate tipo Saladette con fertilización biológica en bioespacio, no determinó diferencia significativa entre tratamientos, sin embargo el tratamientos coinoculado con Micorriza + *Azospirillum* obtuvo un peso fresco de tallo y hojas de 166 y 245 g, respectivamente, peso menor al obtenido en este trabajo ya que el mayor peso de planta fue de 464.2 g, el cual corresponde al T<sub>4</sub> (Testigo).

#### 4.4 Biomasa

El análisis estadístico para la variable Biomasa, determinó diferencia significativa entre tratamientos. El T<sub>4</sub> (Testigo) y el T<sub>1</sub> ( $1 \times 10^{-8}$  UFC mL<sup>-1</sup>) son estadísticamente iguales entre si y mayores al resto de los tratamientos. (Figura 4).



*Figura 4. Biomasa (g) resultado de la evaluación de Azospirillum sp. en la productividad del cultivo de tomate.*

#### **4.5 Diámetro Polar, Diámetro ecuatorial y Peso de fruto**

Estas variables se evaluaron en tres cortes o cosechas, como se observa y describen los resultados en los cuadros que corresponden a cada una de las tres cosechas realizadas.

*Cuadro 2. Diámetro ecuatorial (mm), diámetro polar (mm) y peso de fruto (g) de la cosecha 1 resultado de la evaluación de Azospirillum sp. en la productividad del cultivo de tomate.*

Tratamiento	Diámetro ecuatorial (mm)	Diámetro polar (mm)	Peso de fruto (g)
<b>T 1</b> ( $1 \times 10^{-8}$ UFC mL <sup>-1</sup> Bacteria <i>Azospirillum</i> sp.)	37.5 a	35.6 b*	55.5 b
<b>T2</b> ( $1 \times 10^{-6}$ UFC mL <sup>-1</sup> Bacteria <i>Azospirillum</i> sp.)	43.6 a	43.5 b	95.1 a
<b>T3</b> ( $1 \times 10^{-4}$ UFC mL <sup>-1</sup> Bacteria <i>Azospirillum</i> sp.)	43.5 a	48.6 a	91.0 a
<b>T4</b> (Testigo)	40.00 a	43.8 a	41.8 b

\*Letras diferentes entre columnas indican diferencia significativa entre tratamientos.

En la cosecha 1 se determinó diferencia significativa para diámetro polar y peso de fruto, sobresaliendo para diámetro polar el T3 ( $1 \times 10^{-4}$  UFC mL<sup>-1</sup> *Azospirillum* sp.) y para peso de fruto los tratamientos T2 ( $1 \times 10^{-6}$  UFC mL<sup>-1</sup> *Azospirillum* sp.) y T3 ( $1 \times 10^{-4}$  UFC mL<sup>-1</sup> *Azospirillum* sp.). Para la variable diámetro ecuatorial no se determinó diferencia significativa, pero el mayor valor numérico lo obtuvieron el T2 ( $1 \times 10^{-6}$  UFC mL<sup>-1</sup> *Azospirillum* sp.) y T3 ( $1 \times 10^{-4}$  UFC mL<sup>-1</sup> *Azospirillum* sp.)



Cuadro 3 Diámetro ecuatorial (mm), diámetro polar (mm) y peso de fruto (g) de la cosecha 2 resultado de la evaluación de *Azospirillum sp.* en la productividad del cultivo de tomate.

Tratamiento	Diámetro ecuatorial (mm)	Diámetro polar (mm)	Peso de fruto (g)
<b>T1</b> ( $1 \times 10^{-8}$ UFC mL <sup>-1</sup> Bacteria <i>Azospirillum sp.</i> )	51.957 a*	57.913 a	90.00 a
<b>T2</b> ( $1 \times 10^{-6}$ UFC mL <sup>-1</sup> Bacteria <i>Azospirillum sp.</i> )	49.33 a	53.17 a	73.80 a
<b>T3</b> ( $1 \times 10^{-4}$ UFC mL <sup>-1</sup> Bacteria <i>Azospirillum sp.</i> )	48.43 ab	53.59 a	73.20 a
<b>T4</b> (Testigo)	43.72 b	39.44 b	47.20 b

\*Letras diferentes entre columnas indican diferencia significativa entre tratamientos

Para la cosecha 2 se determinó diferencia significativa en las tres variables evaluadas, se puede observar que tanto para diámetro ecuatorial, diámetro polar, como peso de fruto, sobresale el T1 ( $1 \times 10^{-8}$  UFC mL<sup>-1</sup> *Azospirillum sp.*).

**Cuadro 4.** Diámetro ecuatorial (mm), diámetro polar (mm) y peso de fruto (g) de la cosecha 3 resultado de la evaluación de *Azospirillum sp.* en la productividad del cultivo de tomate.

Tratamiento	Diámetro ecuatorial (mm)	Diámetro polar (mm)	Peso de fruto (g)
<b>T1</b> ( $1 \times 10^{-8}$ UFC mL <sup>-1</sup> Bacteria <i>Azospirillum sp.</i> )	47.88 a	56.865 ab*	73.40 a
<b>T2</b> ( $1 \times 10^{-6}$ UFC mL <sup>-1</sup> Bacteria <i>Azospirillum sp.</i> )	47.38 a	59.26 a	71.80 a
<b>T3</b> ( $1 \times 10^{-4}$ UFC mL <sup>-1</sup> Bacteria <i>Azospirillum sp.</i> )	45.683 a	49.57 c	59.50 ab
<b>T4</b> (Testigo)	45.29 a	53.27 bc	53.20 b

\*Letras diferentes entre columnas indican diferencia significativa entre tratamientos

En la cosecha 3, para la variable diámetro ecuatorial no se determino diferencia significativa, sin embargo numéricamente sobresale el T1 ( $1 \times 10^{-8}$  UFC mL<sup>-1</sup> *Azospirillum sp.*). Para las variables diámetro polar y peso de fruto el análisis estadístico determino diferencia significativa entre los tratamientos, para la variable diámetro de polar predomino el T2 ( $1 \times 10^{-6}$  UFC mL<sup>-1</sup> *Azospirillum sp.*) y en peso de fruto el T1 ( $1 \times 10^{-8}$  UFC mL<sup>-1</sup> *Azospirillum sp.*).

#### 4.6 Determinación de Licopeno

Para la variable determinación de licopeno (mg), el análisis estadístico determino diferencia significativa entre tratamientos, el T3 ( $1 \times 10^{-4}$  UFC mL<sup>-1</sup> Azospirillum sp.) obtuvo la mayor cantidad de licopeno, superando al T4 (Testigo). (Figura 5).

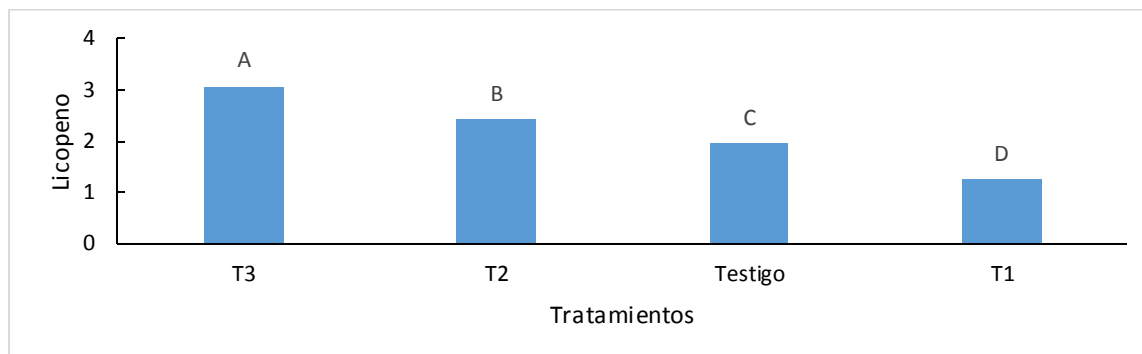


Figura 5. Determinación de Licopeno resultado de la evaluación de Azospirillum sp. en la productividad del cultivo de tomate.

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)

#### 4.7 Sólidos solubles totales (Grados Brix)

Para la variable de sólidos solubles totales, el análisis estadístico determinó diferencia significativa entre tratamientos, el T1 ( $1 \times 10^{-8}$  UFC mL<sup>-1</sup> *Azospirillum* sp) obtuvo la mayor concentración, con 5.6 grados Brix, superando al testigo, con 4.9 grados Brix y al resto de los tratamientos. (Figura 6).

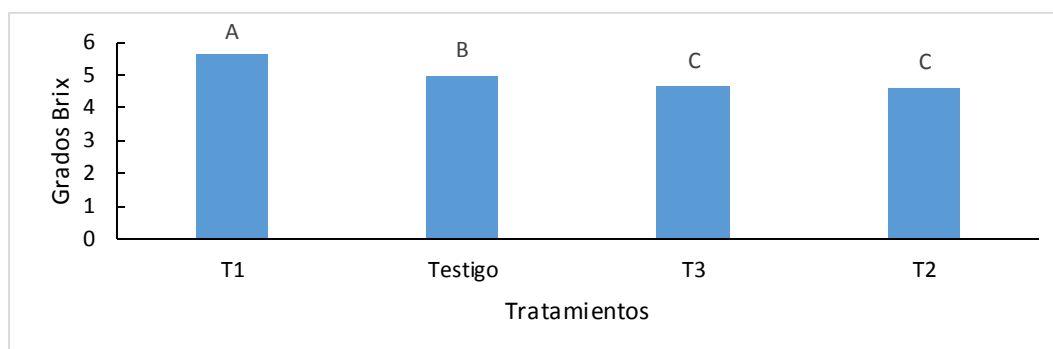


Figura 6. Concentración de Grados Brix resultado de la evaluación de *Azospirillum* sp. en la productividad del cultivo de tomate

González (2018), al evaluar la producción y calidad de tomate tipo Saladette con fertilización biológica en bioespacio, mostró diferencia significativa entre tratamientos para la variable sólidos solubles totales, la mayor concentración la obtuvo el T4 (Fertilización con SN Steiner) con 6.3 °Brix y el tratamiento que obtuvo el menor valor fue el T1 (Micorriza + *Azospirillum*) con 4.5 °Brix., resultado diferente al obtenido en esta investigación, ya que el T1 ( $1 \times 10^{-8}$  UFC mL<sup>-1</sup> *Azospirillum* sp.) obtuvo la mayor concentración, con 5.6 grados Brix, superando al testigo con 4.9 grados Brix y al resto de los tratamientos.

#### **4.8 Evaluación de la bacteria *Azospirillum* sp.**

Se enviaron muestras de suelo de tres repeticiones por tratamiento al laboratorio del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en la ciudad de Saltillo, Coahuila. Los resultados indican una gran diversidad en la concentración de la bacteria de *Azospirillum* sp. en las muestras analizadas, en algunos casos se determinó como incontables, motivo por el cual no se realizó el análisis estadístico.

## V. Conclusiones

Una vez analizados los resultados obtenidos se puede concluir que referente a las variables diámetro de tallo, peso fresco de planta y biomasa, se determinó diferencia significativa, los mejores resultados se obtuvieron con el T4 (Testigo). Para la variable altura de planta no se determinó diferencia significativa entre tratamientos, sin embargo sobresale el T4 (testigo).

En relación a las variables diámetro polar, diámetro ecuatorial y peso de fruto, fueron evaluadas en tres cosechas y se determinó diferencia significativa para todas, excepto para diámetro ecuatorial en la cosecha uno. En estas variables predominaron los tratamientos que fueron inoculados con *Azospirillum* sp.

Para diámetro ecuatorial en las cosechas dos y tres los mejores resultados se obtuvieron con el T1 ( $1 \times 10^{-8}$  UFC mL<sup>-1</sup> *Azospirillum* sp.); respecto a diámetro polar, sobresalieron en la cosecha uno el T3 ( $1 \times 10^{-4}$  UFC mL<sup>-1</sup> *Azospirillum* sp.), cosecha dos T1 ( $1 \times 10^{-8}$  UFC mL<sup>-1</sup> *Azospirillum* sp.) y en cosecha tres el T2 ( $1 \times 10^{-6}$  UFC mL<sup>-1</sup> *Azospirillum* sp.).

El mayor peso de fruto lo obtuvo el T2 ( $1 \times 10^{-6}$  UFC mL<sup>-1</sup> *Azospirillum* sp.) en la cosecha uno; en las cosechas dos y tres, el T1 ( $1 \times 10^{-8}$  UFC mL<sup>-1</sup> *Azospirillum* sp.) obtuvo el mayor peso de fruto.

Para la variable de licopeno, se determinó diferencia significativa entre tratamientos y el mejor resultado lo obtuvo el T3 ( $1 \times 10^{-4}$  UFC mL<sup>-1</sup> *Azospirillum* sp.).

Se determinó diferencia significativa entre tratamientos para sólidos solubles totales, que alcanzaron su máxima concentración con el T1 ( $1 \times 10^{-8}$  UFC mL<sup>-1</sup> *Azospirillum* sp.).

Los tratamientos inoculados con *Azospirillum* sp. predominaron en las variables de calidad de fruto, en particular el T1 ( $1 \times 10^{-8}$  UFC mL<sup>-1</sup> *Azospirillum* sp.) lo cual permite considerarlos como una opción viable y sustentable en la producción de tomate en invernadero

## VI. BIBLIOGRAFIAS

- ABUSHITA, A. A., HEBISHI, E. A., DAOOD, H. G., BIACS, P. A., 1997: Determination of antioxidant vitamins in tomatoes. *Food Chem.*, 60: 207–212.
- Albrecht A, Resck DVS, Sharpenseel HW (1994) The importance and management of soil organic matter in the tropics. In: Woomer PL, Swift MJ (eds) *The biological management of tropical soil fertility*. Wiley, Chichester, pp 47–80
- Alley MM, Vanlauwe B (2009) *The role of fertilizers in integrated plant nutrient management*, 1st edn. IFA, Paris, TSBF-CIAT, Nairobi, Kenya, 59 pp Woomer PL, Martin A
- Alonso, E.T 2005. Microorganismos benéficos con biofertilizantes eficientes para el cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum*, Mill), VII(2) cuba 47-54.
- Alonso, E.T.2005. Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum*, Mill), VII (2). Cuba. pp.47-54
- Baijukya FP, de Ridder N, Giller KE (2005) Managing legume cover crops and their residues to enhance productivity of degraded soils in the humid tropics: a case study in Bukoba district, Tanzania. *Nutr Cycl Agroforest* 73:75–87. Sanginga N, Woomer PL (eds) (2009) *Integrated soil fertility management in Africa: principles, practices and developmental process*. Tropical Soil Biology and Fertility Institute of the International Centre for Tropical Agriculture, Nairobi, 263pp.
- Barrios E, Kwesiga F, Buresh RJ, Sprent JI (1997) Light fraction soil organic matter and available nitrogen following trees and maize. *Soil Sci Soc Am J* 61:826–831
- Bashan Y; Honguin, G; Ferrera Cerrato, R 1996. Interacciones entre plantas y macroorganismos benéficos II.bacterias asociativas de la rizosfera. *Terra*. 14(2). Pp 195-209.
- Bashan, Y. Holguin G. 1997. Azospirillum-plant relationships: b environment and physiological advances. *Canadian Journal of Microbiology*. 43: 103-121.

- BEECHER, G. R., 1998: Nutrient content of tomatoes and tomato products. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 218: 98–100.
- Caballero, M J., L. López R. and R. Bustillos C. 1999. Presence of 16S RNA genes in multiple replicons in *Azospirillum brasilense*. *FEMS Microbiol. Lett.* 178-288.
- Cardenas, D M,. Garrido, M.F& Bonilla, R.R., 2010. Pasto guinea (*Panicum máximum Jacq*) del valle del Cesar Isolation and identification of *Azospirillum sp* in guinea grass(*Panicum maximum jacq*)of the Valle del Cesar.
- Cardenas, D M,. Garrido, M.F& Bonilla, R.R., 2010. Pasto guinea (*Panicum máximum Jacq*) del valle del Cesar Isolation and identification of *Azospirillum sp* in guinea grass(*Panicum maximum jacq*)of the Valle del Cesar.
- Cazares, C. (2010). Consejo nacional del sistema producto tomate. Primer foro de agronegocios, centro de estudios de negocios y estratégicos del ITZON., 190.
- COVECA. (2010). Comisión veracruzana de comercialización agropecuaria.
- Diacono M, Montemurro F (2010) Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agron Sustain Dev* 30(2):401–422.
- Duran ZVH, Rodríguez PCR (2008) Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review. *Agron Sustain Dev* 28:65–86
- Edwards CA (1988) Breakdown of animal, vegetable and industrial organic wastes by earthworms. *Agric Ecosyst Environ* 24:21–31
- GADKAR, V., DAVID-SCHWARTZ, R., KUNIK, T., KAPULNIK, Y., 2001: Arbuscular mycorrhizal fungal colonization. Factors involved in host recognition. *Plant Physiology*, 127(4): 1493–1499.
- GILDON, A. and TINKER, P. B., 1983: Interactions of vesicular-arbuscular mycorrhizal infection and heavy metals in plants. I. The effects of heavy metals on the development of vesiculararbuscular mycorrhizas. *New Phytol.*, 95: 247–261.
- Giller KE (2002) Targeting management of organic resources and mineral fertilizers: can we match scientists' fantasies with farmers' realities? In: Vanlauwe B, Sanginga N, Diels J,



Merckx R (eds) Balanced nutrient management systems for the Moist Savanna and Humid forest zones of Africa. CAB International, Wallingford, UK, pp 155–171.

González R.C (2018). Producción de tomate tipo saladette (*Solanum lycopersicum* L.) con fertilización biológica en bioespacio. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Torreón, Coahuila, México. 51 p.

HUANG, Z., ZOU, Z., HE, C., HE, Z., ZHANG, Z., LI, J., 2011: Physiological and photosynthetic responses of melon (*Cucumis melo* L.) seedlings to three *Glomus* species under water deficit. *Plant and Soil*, 339 (1): 391–399.

Hudson BD (1994) Soil organic matter and available water capacity. *Soil Water Conserv* 49:189–194

Infoagro.2008..(En línea) [www.infoagro.com/hortalizas/tomate.asp](http://www.infoagro.com/hortalizas/tomate.asp).2008..(12 de Abril 2008)

Johnston AE, Poulton PR, Coleman K (2009) Soil organic matter: its importance in sustainable agriculture and carbon dioxide fluxes. In: Sparks DL (ed) *Advances in agronomy*, vol 101. Academic, Burlington, pp 1–57

Kapulnik Y., Okon Y., Henis, Y. 1985. Changes in root morphology of wheat caused by *Azospirillum* inoculation. *Can. J. Microbiol.* 31: 881-887.

Koltai, H. and Kapulnik. Y. 2010. Arbuscular micorrizas: physiology and function.

Levanony, H., and Y. Bashan. 1991. Active attachment of *Azospirillum brasilense* to root surface of non-cereal plants and to sand particles. *Plant Soil* 91-97.

Levanony, H., and Y. Bashan. 1998. Enhancement of cell division in wheat root tips and growth of root elongation zone induced by *Azospirillum brasilense* Cd. *Can. J. Bot.* 67:2213-2216.

Martínez, U. R. 2002. Biofertilización y producción agrícola sostenible. Retos y perspectivas. XIII Congreso Científico del INCA. La Abana.

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.

Monografías de tomate, 2-21.

Moya, C.; Álvarez, M.; Plana, D.; Florido, M. y Curvan, J. B. L. Evaluación y selección de nuevas líneas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) con altos rendimientos y alta calidad de frutos. *Cultivos Tropicales*, 2005, vol. 26, no.3, p. 39-43.

Newsham KK, Fitter AH, Watkinson AR (1995) Multi-functionality and biodiversity in arbuscular mycorrhizas. *Trends in Ecology & Evolution* 10, 407–411. doi: 10.1016/S0169-5347(00)89157-0

Palm CA, Gachengo CN, Delve RJ, Cadisch G, Giller KE (2001) Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: application of an organic resource database. *Agric Ecosyst Environ* 83:27–42

Pérez P.L.M (2017). Producción de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) con fertilización biológica en invernadero. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Unidad Laguna. Torréon, Coahuila, México. 59 p.

Prohens, J. y Nuez, F. (Eds). Handbook of plant breeding. Vegetables II: Fabaceae, Liliaceae, Solanaceae, and Umbelliferae. New York. Springer Science, 2008, 372 p. ISBN: 978-0-387-74108-6.

Sanginga N, Woomer PL (eds) (2009) Integrated soil fertility management in Africa: principles, practices and developmental process. Tropical Soil Biology and Fertility Institute of the International Centre for Tropical Agriculture, Nairobi, 263p

Savala CEN, Omare MN, Woomer PL (eds) (2003) Organic resource management in Kenya: perspectives and guidelines. Forum for Organic Resource Management and Agricultural Technologies, Nairobi, p 184

SCHREINER, R. P., MIHARA, K. L., MC DANIEL, H., BETHLENFALVAY, G. J., 1997: Mycorrhizal fungi influence plant and soil functions and interactions. *Plant Soil*, 188: 199–209.

Second Edition springer, London New York, US. P 323.

Smith FA, Grace EJ, Smith SE (2009) More than a carbon economy: nutrient trade and ecological sustainability in facultative arbuscular mycorrhizal symbioses. *The New Phytologist* 182, 347–358. doi: 10.1111/j.1469-8137.2008.02753.x

- Smith SE, Facelli E, Pope S, Smith FA (2009b) Plant performance in stressful environments: interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrhizas. *Plant and Soil* in press. doi: 10.1007/s11104-009-9981-5
- Smith SE, Li H, Grace EJ, Smith FA (2009a) New insights into roles of arbuscular mycorrhizas in P nutrition of crops reveal the need for conceptual changes. In 'Rovira rhizosphere symposium, Adelaide'. (Eds V Gupta, M Ryder) (Crawford Fund, Melbourne) In press.
- Smith SE, Read DJ (2008) 'Mycorrhizal symbiosis.' (Academic Press: Cambridge)
- SMITH, S. E. and READ, D. J., 1997: *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press, London.
- Solís, A.; Martínez, R.; Moya, C.; Domini, M. E.; López, V.; Milán, E. y Amat, I. Comportamiento de variedades de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en dos períodos de siembra en la localidad de Velasco, provincia Holguín. *Cultivos Tropicales*, 2006, vol. 27, no. 1, p. 51-54.
- TALAAT, N. B. and SHAWKY, B. T., 2011: Influence of arbuscular mycorrhizae on yield, nutrients, organic solutes, and antioxidant enzymes of two wheat cultivars under salt stress. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 174 (2): 283–291.
- Umali G, M., D. H. Hubbel, M. H. Gaskins, and F. B. Dazzo. 1980. Association of *Azospirillum* with grass roots. *Appl. Environ. Microbiol.* 39:219226.
- Vanlauwe B, Sanginga N, Merckx R (1998) Soil organic matter dynamics after addition of nitrogen-15-labeled leucaena and dactyladenia residues. *Soil Sci Soc Am J* 62:461–466
- Wang B, Qiu YL (2006) Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza* 16, 299–363. doi: 10.1007/s00572-005-0033-6
- Prohens, J. y Nuez, F. (Eds). *Handbook of plant breeding. Vegetables II: Fabaceae, Liliaceae, Solanaceae, and Umbelliferae*. New York. Springer Science, 2008, 372 p. ISBN: 978-0-387-74108-6.
- Solís, A.; Martínez, R.; Moya, C.; Domini, M. E.; López, V.; Milán, E. y Amat, I. Comportamiento de variedades de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en dos períodos de siembra en la localidad de Velasco, provincia Holguín. *Cultivos Tropicales*, 2006, vol. 27, no. 1, p. 51-54.

Moya, C.; Álvarez, M.; Plana, D.; Florido, M. y Curvan, J. B. L. Evaluación y selección de nuevas líneas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) con altos rendimientos y alta calidad de frutos. *Cultivos Tropicales*, 2005, vol. 26, no.3, p. 39-43.

Hudson BD (1994) Soil organic matter and available water capacity. *Soil Water Conserv* 49:189–194

Barrios E, Kwesiga F, Buresh RJ, Sprent JI (1997) Light fraction soil organic matter and available nitrogen following trees and maize. *Soil Sci Soc Am J* 61:826–831

Alley MM, Vanlauwe B (2009) The role of fertilizers in integrated plant nutrient management, 1st edn. IFA, Paris, TSBF-CIAT, Nairobi, Kenya, 59 pp  
 Woomer PL, Martin A, Albrecht A, Resck DVS, Sharpenseel HW (1994) The importance and management of soil organic matter in the tropics. In: Woomer PL, Swift MJ (eds) *The biological management of tropical soil fertility*. Wiley, Chichester, pp 47–80

Vanlauwe B, Sanginga N, Merckx R (1998) Soil organic matter dynamics after addition of nitrogen-15-labeled leucaena and dactyladenia residues. *Soil Sci Soc Am J* 62:461–466

Duran ZVH, Rodríguez PCR (2008) Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review. *Agron Sustain Dev* 28:65–86

Edwards CA (1988) Breakdown of animal, vegetable and industrial organic wastes by earthworms. *Agric Ecosyst Environ* 24:21–31

Savala CEN, Omare MN, Woomer PL (eds) (2003) *Organic resource management in Kenya: perspectives and guidelines*. Forum for Organic Resource Management and Agricultural Technologies, Nairobi, p 184

Sanginga N, Woomer PL (eds) (2009) *Integrated soil fertility management in Africa: principles, practices and developmental process*. Tropical Soil Biology and Fertility Institute of the International Centre for Tropical Agriculture, Nairobi, 263p

Baijukya FP, de Ridder N, Giller KE (2005) Managing legume cover crops and their residues to enhance productivity of degraded soils in the humid tropics: a case study in

Bukoba district, Tanzania. *Nutr Cycl Agroforest* 73:75–87. Sanginga N, Woomer PL (eds) (2009) Integrated soil fertility management in Africa: principles, practices and developmental process. Tropical Soil Biology and Fertility Institute of the International Centre for Tropical Agriculture, Nairobi, 263pp.

Diacono M, Montemurro F (2010) Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agron Sustain Dev* 30(2):401–422.

Johnston AE, Poulton PR, Coleman K (2009) Soil organic matter: its importance in sustainable agriculture and carbon dioxide fluxes. In: Sparks DL (ed) *Advances in agronomy*, vol 101. Academic, Burlington, pp 1–57

Giller KE (2002) Targeting management of organic resources and mineral fertilizers: can we match scientists' fantasies with farmers' realities? In: Vanlauwe B, Sanginga N, Diels J, Merckx R (eds) *Balanced nutrient management systems for the Moist Savanna and Humid forest zones of Africa*. CAB International, Wallingford, UK, pp 155–171.

Palm CA, Gachengo CN, Delve RJ, Cadisch G, Giller KE (2001) Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: application of an organic resource database. *Agric Ecosyst Environ* 83:27–42

Wang B, Qiu YL (2006) Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza* 16, 299–363. doi: 10.1007/s00572-005-0033-6

Smith SE, Read DJ (2008) 'Mycorrhizal symbiosis.' (Academic Press: Cambridge)

Smith FA, Grace EJ, Smith SE (2009) More than a carbon economy: nutrient trade and ecological sustainability in facultative arbuscular mycorrhizal symbioses. *The New Phytologist* 182, 347–358. doi: 10.1111/j.1469-8137.2008.02753.x

Smith SE, Facelli E, Pope S, Smith FA (2009b) Plant performance in stressful environments: interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrhizas. *Plant and Soil* in press. doi: 10.1007/s11104-009-9981-5

Smith SE, Li H, Grace EJ, Smith FA (2009a) New insights into roles of arbuscular mycorrhizas in P nutrition of crops reveal the need for conceptual changes. In 'Rovira

rhizosphere symposium, Adelaide'. (Eds V Gupta, M Ryder) (Crawford Fund, Melbourne)  
In press.

Newsham KK, Fitter AH, Watkinson AR (1995) Multi-functionality and biodiversity in arbuscular mycorrhizas. *Trends in Ecology & Evolution* 10, 407–411. doi: 10.1016/S0169-5347(00)89157-0

BEECHER, G. R., 1998: Nutrient content of tomatoes and tomato products. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 218: 98–100.

ABUSHITA, A. A., HEBSHI, E. A., DAOOD, H. G., BIACS, P. A., 1997: Determination of antioxidant vitamins in tomatoes. *Food Chem.*, 60: 207–212.

SMITH, S. E. and READ, D. J., 1997: *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press, London.

GADKAR, V., DAVID-SCHWARTZ, R., KUNIK, T., KAPULNIK, Y., 2001: Arbuscular mycorrhizal fungal colonization. Factors involved in host recognition. *Plant Physiology*, 127(4): 1493–1499.

GILDON, A. and TINKER, P. B., 1983: Interactions of vesicular-arbuscular mycorrhizal infection and heavy metals in plants. I. The effects of heavy metals on the development of vesicular-arbuscular mycorrhizas. *New Phytol.*, 95: 247–261.

HUANG, Z., ZOU, Z., HE, C., HE, Z., ZHANG, Z., LI, J., 2011: Physiological and photosynthetic responses of melon (*Cucumis melo* L.) seedlings to three *Glomus* species under water deficit. *Plant and Soil*, 339 (1): 391–399.

TALAAT, N. B. and SHAWKY, B. T., 2011: Influence of arbuscular mycorrhizae on yield, nutrients, organic solutes, and antioxidant enzymes of two wheat cultivars under salt stress. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 174 (2): 283–291.

SCHREINER, R. P., MIHARA, K. L., MC DANIEL, H., BETHLENFALVAY, G. J., 1997: Mycorrhizal fungi influence plant and soil functions and interactions. *Plant Soil*, 188: 199–209.

Bashan, Y. Holguin G. 1997. Azospirillum-plant relationships: environmental and physiological advances. *Canadian Journal of Microbiology*. 43: 103-121.

Bashan Y; Honguin, G; Ferrera Cerrato, R 1996. Interacciones entre plantas y macroorganismos benéficos II. bacterias asociativas de la rizosfera. Terra. 14(2). Pp 195-209.

Cardenas, D M., Garrido, M.F& Bonilla, R.R., 2010. Pasto guinea (*Panicum máximum* Jacq) del valle del Cesar Isolation and identification of *Azospirillum* sp in guinea grass(*Panicum maximum* jacq)of the Valle del Cesar.

Martínez, U. R. 2002. Biofertilización y producción agrícola sostenible. Retos y perspectivas. XIII Congreso Científico del INCA. La Abana.

Caballero, M J., L. López R. and R. Bustillos C. 1999. Presence of 16S RNA genes in multiple replicons in *Azospirillum brasilense*. FEMS Microbiol. Lett. 178-288.

Umali G, M., D. H. Hubbel, M. H. Gaskins, and F. B. Dazzo. 1980. Association of *Azospirillum* with grass roots. Appl. Environ. Microbiol. 39:219226.

Kapulnik Y., Okon Y., Henis, Y. 1985. Changes in root morphology of wheat caused by *Azospirillum* inoculation. Can. J. Microbiol. 31: 881-887.

Koltai, H. and Kapulnik. Y. 2010. Arbuscular micorrizas: physiology and function.

Second Edition springer, London New York, US. P 323.

Levanony, H., and Y. Bashan. 1991. Active attachment of *Azospirillum brasilense* to root surface of non-cereal plants and to sand particles. Plant Soil 91-97.

Levanony, H., and Y. Bashan. 1998. Enhancement of cell division in wheat root tips and growth of root elongation zone induced by *Azospirillum brasilense* Cd. Can. J. Bot. 67:2213.2216.

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.

**Alonso, E.T 2005.** Microorganismos benéficos con biofertilizantes eficientes para el cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum*, Mill), VII(2) cuba 47-54.

Cardenas, D M., Garrido, M.F& Bonilla, R.R., 2010. Pasto guinea (*Panicum máximum* Jacq) del valle del Cesar Isolation and identification of *Azospirillum* sp in guinea grass(*Panicum maximum* jacq)of the Valle del Cesar.

Infoagro.2008..(En línea)[www.infoagro.com/hortalizas/tomate.asp.2008.](http://www.infoagro.com/hortalizas/tomate.asp.2008.)(12 de Abril 2008)

COVECA. (2010). Comisión veracruzana de comercialización agropecuaria. Monografías de tomate, 2-21.

Cazares, C. (2010). Consejo nacional del sistema producto tomate. Primer foro de agronegocios, centro de estudios de negocios y estratégicos del ITZON., 190.

Alonso, E.T.2005. Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum*, Mill), VII (2). Cuba. pp.47-54.



