

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Producción y calidad de tomate saladette inoculado con microorganismos benéficos
y nutrición química reducida

Por:

Andrea Villegas Esparza

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Torreón, Coahuila, México
Junio 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Producción y calidad de tomate saladette inoculado con microorganismos benéficos y
nutrición química reducida

Por:

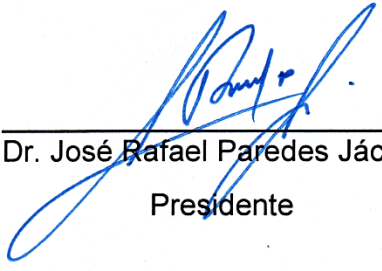
Andrea Villegas Esparza

TESIS

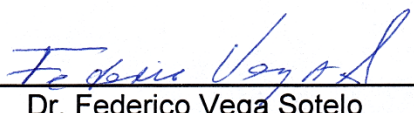
Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para
obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Aprobada por:


Dr. José Rafael Paredes Jácome

Presidente


Dr. Federico Vega Sotelo

Vocal

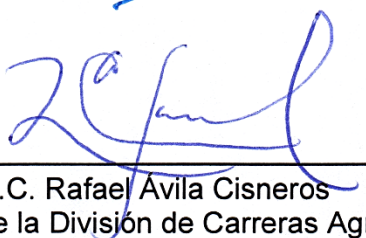

M.E. Víctor Martínez Cueto

Vocal


*Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas*


M.E. Juan Manuel Nava Santos

Vocal Suplente


M.C. Rafael Ávila Cisneros
Coordinador de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México

Junio 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Producción y calidad de tomate saladette inoculado con microorganismos benéficos y
nutrición química reducida

Por:

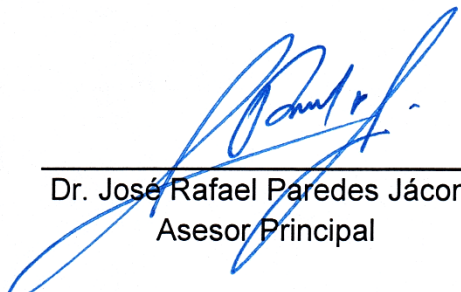
Andrea Villegas Esparza

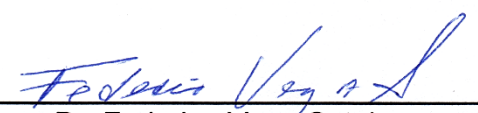
TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Aprobada por el Comité de Asesoría:

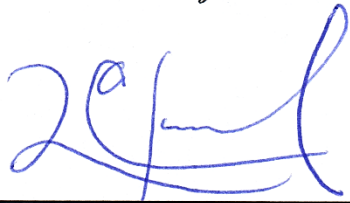

Dr. José Rafael Paredes Jácome
Asesor Principal


Dr. Federico Vega Sotelo
Coasesor


M.E. Víctor Martínez Cueto
Coasesor




M.D. Juan Manuel Nava Santos
Coasesor


M.C. Rafael Ávila Cisneros
Coordinador de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México
Junio 2026

DEDICATORIAS

A mi Madre.

Madre, si hoy escribo esta palabra, es porque tú me diste la mano y la luz para ver el papel. Eres mi ejemplo más grande de coraje. Todo lo que soy y lo que he logrado es el eco de tu esfuerzo por sacar a nuestra familia adelante.

Sé el precio de tu camino en cada desvelo, cada preocupación callada y cada sacrificio que hiciste para que a nosotros no nos faltara nada. Tú construiste nuestro futuro, muchas veces, con casi nada.

Gracias por darme la paz para estudiar y la voluntad para terminar.

Te dedico la vida, y en ella, este trabajo.

Este logro, que por un tiempo pareció más una maratón que un proyecto, Te lo dedico a ti mi fuente de mi energía y mi punto de descanso.

A Mi Padre.

Tú eres el cimiento que soporta el peso y la solidez que no se dobla. No me enseñaste con largos discursos, sino con tu ejemplo diario, que el trabajo duro es la única promesa que se cumple a sí misma.

Gracias por ser el proveedor discreto que aseguró que la mesa estuviera llena y que la preocupación por el sustento no me robara el tiempo de los libros. Tú me entregaste la herramienta más valiosa: la disciplina para terminar lo que se empieza.

A Dios.

Al autor de la misión porque durante las incontables noches en las que estuve a punto de "tirar la toalla" y el cansancio era más fuerte que la cafeína, recordé que el trabajo no sería en vano.

Por ello, hoy descanso en la promesa de:

"No nos cansemos de hacer el bien, porque a su debido tiempo cosecharemos si no nos damos por vencidos." (Gálatas 6:9)

Gracias por la perseverancia, la claridad y por poner las personas correctas en el camino.

A mi Hermana

Mi ancla emocional y la escucha incondicional. Tú fuiste la que me sostuvo en el caos, la voz que me devolvía la calma cuando la presión me asfixiaba. Gracias por ser mi paz en la tormenta y por cuidarme el alma en los momentos en que mi mente estaba completamente agotada. Gracias por cada abrazo, cada palabra de aliento y por ser el refugio seguro donde podía ser vulnerable sin sentirme débil.

A mi Hermano.

Tú que, Desde el inicio, me mostraste, con tu propio camino, que la perseverancia era la única opción viable para obtener lo que quiero. Eres la fuerza que me recuerda la disciplina sin necesidad de palabras. Gracias por ser el estándar de esfuerzo que siempre admiré, por la honestidad brutal que me hizo corregir el rumbo

A mi Círculo Vital.

Hay presencias que no necesitan nombre, porque el alma las reconoce sin esfuerzo. A ustedes, que llegaron en el momento exacto, cuando todo parecía incierto, cuando avanzar dolía y detenerme era tentador...

Gracias por ser refugio sin saberlo, por convertirse en luz en mis días más nublados, por sostenerme incluso cuando no lo pedí. Fueron fuerza en mis silencios, calma en medio del ruido y motivo cuando las ganas faltaban.

Quizá nunca dimensionen lo que significaron en mi camino, pero en cada paso que doy también caminan conmigo. Y aunque no los nombre, hay algo que siempre los va a delatar: el lugar tan profundo que ocupan en mi vida

A mis amadas Mascotas.

Gracias por ser la interrupción perfecta. Por esa necesidad ineludible de un paseo o una caricia que me obligaba a levantarme de la silla y ver la luz del día. Su presencia silenciosa al pie del escritorio fue la mejor terapia antiestrés. Gracias por cuidar mi salud mental con su amor puro y simple

AGRADECIMIENTOS

La culminación de este trabajo es el resultado directo de la guía, el apoyo institucional y la inspiración de grandes profesionales que entienden la vocación de la tierra.

A mi querida universidad

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por ser la plataforma fundamental que me formó. Gracias por la sólida base científica y el espíritu de servicio que se cultiva en sus campos y aulas. Es un honor haber sido parte de esta institución que honra la Agronomía como la ciencia de alimentar al mundo.

A los Maestros de la Pasión

Mi más sincero agradecimiento a todo el Cuerpo Docente de la Narro. En particular, a aquellos profesores que, con su experiencia directa en el campo, lograron impartir sus clases con una pasión palpable por la tierra y los cultivos. A quienes supieron transmitir la importancia de nuestra labor, haciendo que cada concepto de la agronomía no fuera solo teoría, sino una vocación que se debe amar y ejercer con responsabilidad.

Al Líder de Proyecto y director de Tesis

Quiero hacer un reconocimiento fundamental y profundo al

Dr. José Rafael Paredes Jácome

Su paciencia, su conocimiento exhaustivo en su labor, y su dirección firme pero respetuosa fueron el motor que me permitió transformar la idea inicial en un documento concluido. Gracias por enseñarme a mirar el problema desde la perspectiva del productor y por inculcarme la metodología rigurosa que esta profesión exige. Su mentoría es la lección más valiosa de mi formación profesional

Un agradecimiento general

Al comité del departamento de fitomejoramiento para el programa académico de Ingeniero Agrónomo.

ÍNDICE

DEDICATORIAS.....	i
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	viii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO GENERAL	2
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	2
HIPÓTESIS.....	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Origen e historia del tomate	3
2.2 Producción Nacional	3
2.3 Producción Mundial	3
2.4 Descripción taxonómica	4
2.5 Requerimientos edafoclimáticos	4
2.5.1 Temperatura	5
2.5.2 Humedad relativa	5
2.5.3 Luminosidad	5
2.5.4 Suelo.....	5
2.6 Requerimientos nutricionales	6
2.7 Solución nutritiva en la producción de tomate	6
2.8 Relaciones entre aniones y cationes	6
2.9 Biofertilizantes.....	6
2.9.1 Rizobacterias	7
2.9.2 Bacillus spp.....	7
2.9.3 Hongos benéficos.....	7
2.9.4 <i>Trichoderma</i>	8
2.10 Modo de acción de los biofertilizantes	8
3. MATERIALES Y METODOS.....	10
3.1 Ubicación del experimento	10
3.2 Preparación de sustratos.....	10
3.3 Material vegetal.....	10

3.4 Material microbiológico	10
3.5 Sistema de riego y fertilización	11
3.6 Manejo del cultivo	11
3.7 Descripción de los tratamientos	12
3.7 Variables agronómicas evaluadas	13
3.8 Análisis estadístico	14
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
4.1 Peso fresco planta (g)	15
4.4 Peso seco raíz.....	18
4.5 Número de frutos.....	19
4.6 Rendimiento (g).....	20
5. CONCLUSIONES.....	23
6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	25

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Productos fitosanitarios aplicados para el control de plagas y/o enfermedades	12
Tabla 2. Descripción de los tratamientos evaluados	12
Tabla 3. Resultados agronómicos y de calidad en tomate	22

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Peso fresco de planta (g) en tomate bajo la aplicación de biofertilizantes y reducción de fertilización química (F.Q.)	15
Figura 2. Peso seco de planta (g) en tomate bajo la aplicación de biofertilizantes y reducción de fertilización química (F.Q.).	16
Figura 3. Peso fresco de raíz (g) en tomate bajo la aplicación de biofertilizantes y reducción de fertilización química (F.Q.).	17
Figura 4. Peso seco de raíz (g) en tomate bajo diferentes tratamientos de fertilización química y biofertilizantes (Bacillus + Trichoderma).	18
Figura 5. Número de frutos en tomate bajo diferentes tratamientos de fertilización química y biofertilizantes (Bacillus + Trichoderma).	19
Figura 6. Rendimiento obtenido en plantas de tomate con biofertilizantes y reducción de F.Q.	21

RESUMEN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas de mayor importancia económica y alimentaria a nivel mundial debido a su alto consumo, valor nutricional y amplia adaptación a diferentes sistemas de producción. Sin embargo, el uso intensivo de fertilizantes químicos puede generar efectos negativos sobre el suelo y el medio ambiente, por lo que actualmente existe interés en el uso de microorganismos benéficos capaces de promover el crecimiento vegetal y mejorar la eficiencia en el aprovechamiento de los nutrientes. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la inoculación con *Bacillus* spp. y *Trichoderma harzianum* en combinación con diferentes niveles de fertilización química sobre la producción y calidad de tomate saladette. El estudio se realizó bajo condiciones de invernadero utilizando el híbrido Canelo F1. Se evaluaron cuatro tratamientos: T1) fertilización química al 100% (control), T2) fertilización química al 100% + *Bacillus* spp. + *Trichoderma harzianum*, T3) fertilización química al 75% + *Bacillus* spp. + *Trichoderma harzianum* y T4) fertilización química al 50% + *Bacillus* spp. + *Trichoderma harzianum*.

Las variables evaluadas fueron peso fresco de planta, peso seco de planta, peso fresco de raíz, peso seco de raíz, número de frutos y rendimiento por planta. Los resultados mostraron diferencias significativas entre tratamientos. En las variables de crecimiento vegetativo, los mayores valores se obtuvieron en los tratamientos con fertilización química al 100%, mientras que el tratamiento con reducción del 50% presentó los valores más bajos. En cuanto al desarrollo radicular, los tratamientos con *Bacillus* spp. y *Trichoderma harzianum* combinados con fertilización química al 75% y 100% favorecieron la acumulación de biomasa en raíces. El mayor número de frutos y rendimiento se obtuvo con el tratamiento de fertilización química al 75% más *Bacillus* spp. y *Trichoderma harzianum*, alcanzando 7,353g por planta, superando incluso al tratamiento con fertilización química completa. Se concluye que la inoculación con *Bacillus* spp. y *Trichoderma harzianum* permitió reducir en un 25% la fertilización química sin afectar el crecimiento ni el rendimiento del cultivo, constituyendo una alternativa viable para mejorar la eficiencia en el uso de fertilizantes y promover una producción más sostenible de tomate saladette.

Palabras clave: *Bacillus* spp., *Trichoderma harzianum*, Rendimiento agronómico, Absorción nutrimental, Cultivo protegido

1. INTRODUCCIÓN

El tomate es una de las hortalizas de mayor consumo a nivel mundial, debido a su amplia diversidad de variedades y formas de presentación (Córdoba-Novoa et al., 2018; FAO, 2021), así como por su importancia económica y valor nutricional. Este cultivo aporta vitaminas A y C, además de minerales como calcio, fósforo e hierro, y compuestos antioxidantes como el licopeno (Bayomi, 2020). En México, el tomate tiene gran relevancia social y económica, con un consumo promedio aproximado de 14 kg por persona al año (Pérez-Díaz et al., 2020).

La fertilización química es una práctica común en la agricultura moderna, ya que permite suministrar nutrientes esenciales de manera rápida para el desarrollo de los cultivos. Sin embargo, su uso continuo puede generar efectos negativos en el suelo, como acidificación, compactación y pérdida de nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo por escorrentía (Yan et al., 2018; Rauber et al., 2018).

Como alternativa, los biofertilizantes han cobrado interés, ya que contienen microorganismos benéficos capaces de mejorar la disponibilidad de nutrientes y favorecer el crecimiento vegetal. Estos pueden incluir bacterias y hongos, aplicados de forma individual o combinada, contribuyendo a incrementar el rendimiento de los cultivos (Aguado Santacruz, 2012).

Entre los microorganismos más estudiados se encuentra el género *Trichoderma*, reconocido por su capacidad de adaptación, rápido crecimiento y acción antagonista contra patógenos. Además, promueve el desarrollo vegetal mediante la producción de fitohormonas y la mejora en la disponibilidad de nutrientes (Sharma y Gothwal, 2017).

Por otro lado, bacterias como *Bacillus subtilis* se encuentran ampliamente distribuidas en el suelo y la rizosfera. Estas destacan por su capacidad de solubilizar fosfatos, producir compuestos promotores del crecimiento y generar metabolitos con actividad antifúngica, lo que las convierte en agentes importantes en el biocontrol (Kashyap et al., 2019).

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el impacto de la inoculación con microorganismos benéficos y la nutrición química reducida en la producción y calidad de tomate saladette.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Analizar la respuesta en variables agronómicas con la inoculación de microorganismos benéficos y la nutrición química reducida en tomate saladette.
- Determinar la dosis de nutrición química reducida que tenga efecto en rendimiento y calidad del tomate saladette.

HIPÓTESIS

La inoculación con microorganismos benéficos y la nutrición química reducida tendrán efecto en la producción y calidad de tomate saladette.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen e historia del tomate

El tomate (*Solanum lycopersicum*) es originario de América, identificando a Perú y Ecuador como los lugares de origen del tomate, desde donde se dispersó por toda América. En el siglo **XVI**, se introdujo a Europa como planta ornamental, pero no fue hasta el siglo **XVIII** que comenzó a cultivarse para consumo humano. Desde España, se difundió por toda Europa convirtiéndose en una de las hortalizas más importantes debido a su popularidad, versatilidad y contribución significativa al comercio de productos frescos (Choxom, 2016).

2.2 Producción Nacional

El tomate rojo, también conocido como jitomate, es una de las hortalizas más importantes a nivel mundial. En México, se cultivan diversas variedades, entre las que destacan el saladette, bola, Cherry, cóctel y uva. De acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, en 2023 la producción nacional superó los 3.6 millones de toneladas, consolidándose como uno de los principales cultivos hortícolas del país. Asimismo, para 2024 se estima que la producción alcance cerca de 4 millones de toneladas, lo que refleja una tendencia de crecimiento sostenido en el sector (SIAP, 2024).

2.3 Producción Mundial

La producción mundial del tomate alcanza las 262,532,639.9 toneladas, China lidera con 70,214,666.86 toneladas (26.74%), seguida de China Continental con 70,119,693.64 toneladas, (26.7%) del total, e India se ubica en el tercer lugar con 20,425,000 toneladas, (7.77%), México ocupa el octavo lugar con 4,394,806.98 toneladas, lo que equivalente al 1.67% de la producción total mundial. (FAOSTAT, 2023).

2.4 Descripción taxonómica

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una especie dicotiledónea perteneciente a la familia Solanaceae, la cual agrupa a más de 3,000 especies, incluyendo otros cultivos de relevancia económica global como la papa (*Solanum tuberosum*) y el chile (*Capsicum annuum*). De acuerdo con Knapp (2021), su clasificación taxonómica oficial se establece de la siguiente manera:

Reino: Plantae (Plantas)

Subreino: Tracheobionta (Plantas vasculares)

División: Magnoliophyta (Plantas con flores)

Clase: Magnoliopsida (Dicotiledóneas)

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae (Solanáceas)

Género: *Solanum*

Especie: *Solanum lycopersicum*

2.5 Requerimientos edafoclimáticos

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) requiere un manejo preciso de las variables ambientales para optimizar su productividad. Su desarrollo óptimo ocurre bajo un régimen térmico de 22 a 28 °C durante el día y de 15 a 18 °C por la noche, junto con una humedad relativa del 60% al 80%. Valores fuera de estos rangos provocan aborto floral, deficiencias en la síntesis de licopeno y desórdenes fisiológicos que devalúan la calidad comercial del fruto.

En cuanto al sustrato, demanda suelos profundos de textura franca con un pH entre 5.8 y 6.8 para asegurar la disponibilidad de nutrientes. Debido a su sensibilidad a la salinidad, la conductividad eléctrica no debe exceder los 2.5 dS/m para evitar mermas en el rendimiento. Respecto a su nutrición, García-Gutiérrez et al. (2024) señalan que la extracción por cada tonelada de fruto producido es de 0.78 kg de N, 0.12 kg de P y 1.74 kg de K, destacando la importancia del potasio en la firmeza y calidad del Saladette.

2.5.1 Temperatura

El tomate requiere condiciones térmicas específicas para potenciar su desarrollo óptimo. Se han reportado rangos ideales de 22-26 °C durante el día y 13-16 °C durante la noche (Castilla, N. 2004). Temperaturas superiores a 35 °C pueden afectar la fecundación y desarrollo del fruto, mientras que temperaturas menores a 12° C reducen la formación de flores (Castro, B. et al., 2014).

2.5.2 Humedad relativa

El rango óptimo de humedad relativa para el cultivo del tomate debe estar entre 60 y 80%. Valores superiores de humedad favorecen el desarrollo de enfermedades fungosas y bacterianas, además de afectar con la polinización y provocar agrietamiento de frutos. (INTAGRI, 2018).

2.5.3 Luminosidad

El tomate requiere alta radiación solar para su desarrollo adecuado. La falta de luz afecta procesos como floración, fructificación y desarrollo vegetativo. Se ha reportado una necesidad mínima de radiación para el cuajado de frutos (Castro, B, et al., 2014).

2.5.4 Suelo

El cultivo del tomate requiere suelos bien drenados, con alto materia orgánica y una profundidad de 40-60 cm para permitir el crecimiento de raíces. Además, el pH del suelo debe estar entre 6 y 6.5 lo cual favorece la disponibilidad de nutrientes en el suelo (INTAGRI, 2018).

2.6 Requerimientos nutricionales

Las plantas requieren 16 elementos (estándar) esenciales para su desarrollo, divididos en macronutrientes y micronutrientes. Los macronutrientes incluyen nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre, mientras que los micronutrientes incluyen hierro, zinc, manganeso y cobre (Cooper y Abi-Ghanem, 2017).

2.7 Solución nutritiva en la producción de tomate

La solución nutritiva es una mezcla de agua y nutrientes en forma iónica que permite cubrir los requerimientos de las plantas en sistemas hidropónicos (Juárez et al., 2006). En el caso del tomate, Steiner (1984) propuso una solución nutritiva basada en el equilibrio entre cationes (K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+}) y aniones (NO_3^- , $H_2PO_4^-$ y SO_4^{2-}), además de considerar la presión osmótica y el pH.

Para el cultivo de tomate, se recomienda una conductividad eléctrica entre 2.0 y 3.5 dS/m y un pH entre 5.5 y 6.5, lo que permite una adecuada absorción de nutrientes.

2.8 Relaciones entre aniones y cationes

Steiner desarrolló el concepto de interrelación entre aniones (NO_3^- , $H_2PO_4^-$ y SO_4^{2-}) y cationes (K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+}), enfatizando que una solución nutritiva equilibrada requiere la regulación de macronutrientes tanto en forma de cationes como de aniones. Un desbalance puede generar deficiencias o toxicidades que afectan el crecimiento y rendimiento del cultivo (Villegas et al., 2005).

2.9 Biofertilizantes

Los biofertilizantes son productos que contienen microorganismos benéficos capaces de mejorar la disponibilidad de nutrientes y promover el crecimiento vegetal

(Bhattacharyya y Jha, 2012; Verzeaux et al., 2017). Su aplicación contribuye a incrementar la fertilidad del suelo y a reducir la dependencia de fertilizantes químicos

2.9.1 Rizobacterias

Las rizobacterias son microorganismos presentes en la rizosfera que interactúan con las plantas, favoreciendo su crecimiento y ayudando a controlar patógenos (Malik y Sindhu, 2011; Samar et al., 2019). Estas bacterias, conocidas como rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV), actúan mediante mecanismos directos e indirectos.

Los mecanismos directos incluyen la producción de fitohormonas como auxinas, citoquininas y giberelinas, así como la fijación de nitrógeno y la solubilización de fosfatos (Ahemad y Kibret, 2013). Por otro lado, los mecanismos indirectos consisten en la inhibición de microorganismos fitopatógenos mediante la producción de antibióticos y sideróforos (Vessey, 2003; Ortiz-Castro et al., 2014).

2.9.2 *Bacillus* spp.

Las bacterias del género *Bacillus* son microorganismos comunes en el suelo que desempeñan un papel importante en la agricultura. Son Gram-positivas, pueden desarrollarse en condiciones aerobias o anaerobias facultativas, y tienen la capacidad de formar endosporas, lo que les permite resistir condiciones ambientales adversas (Samaniego-Gómez et al., 2017).

Algunas especies de *Bacillus* actúan como promotoras del crecimiento vegetal, ya que favorecen la absorción de nutrientes y activan mecanismos de defensa de la planta frente a patógenos. Asimismo, pueden inhibir el desarrollo de microorganismos dañinos, lo que las convierte en una alternativa viable dentro de la agricultura sostenible (Khan et al., 2022).

2.9.3 Hongos benéficos

Los hongos que se utilizan como agentes de control biológico desempeñan un papel fundamental en el suelo, donde participan en diversos procesos que fomentan la salud de los ecosistemas.

Estos procesos incluyen el ciclaje de nutrientes, la formación del suelo, la protección contra patógeno y plagas, la inducción de resistencia sistémica, la promoción del crecimiento, la biorremediación y la tolerancia a estreses abióticos como la sequía, temperaturas extremas y salinidad.

Como parte del microbioma del suelo, estos microorganismos contribuyen a la salud de las plantas e influyen en su fisiología y desarrollo. Su versatilidad bioquímica, que se traduce en una amplia gama de enzimas y metabolitos, les permite actuar sobre la materia orgánica del suelo y facilitar la solubilización, transporte y absorción de nutrientes, además, ayudan a mantener la humedad del suelo (Barrera, 2023).

2.9.4 *Trichoderma*

El género *Trichoderma* se encuentra ampliamente distribuido en el suelo y es reconocido por su uso en la agricultura sostenible como agente de biocontrol y promotor del crecimiento vegetal (Martínez et al., 2013).

Su principal mecanismo de acción es el antagonismo contra hongos fitopatógenos, mediante competencia por espacio y nutrientes, producción de metabolitos antifúngicos y micoparasitismo, proceso en el cual degrada las estructuras del patógeno a través de enzimas como quitinasas y glucanasas (Pineda et al., 2017).

Además, *Trichoderma* favorece el crecimiento de las plantas al estimular el desarrollo radicular, mejorar la absorción de nutrientes y producir fitohormonas como auxinas y giberelinas, lo que contribuye a un mayor vigor vegetal (Guzmán-Guzmán et al., 2019).

2.10 Modo de acción de los biofertilizantes

Los biofertilizantes actúan mediante mecanismos directos e indirectos que favorecen el crecimiento vegetal.

Los mecanismos directos incluyen la fijación de nitrógeno, la solubilización de fósforo y la producción de fitohormonas, lo que mejora la disponibilidad de nutrientes. Por otro lado, los mecanismos indirectos consisten en la producción de sustancias como antibióticos, enzimas y sideróforos, que inhiben el desarrollo de patógenos. En conjunto, estos procesos contribuyen a mejorar la nutrición, sanidad y productividad de los cultivos, favoreciendo sistemas agrícolas más sostenibles (Benjumeda, 2017; Mishra et al., 2019).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Ubicación del experimento

El experimento se llevó a cabo en las instalaciones de la U.A.A.A.N. Unidad Laguna, específicamente en el invernadero No. 1 y en el laboratorio de Fotosíntesis del Departamento de Horticultura, localizado en la colonia Valle Verde de Torreón, Coahuila, en las coordenadas 25.55707° N y 103.37451° O.

3.2 Preparación de sustratos

Para llevar a cabo el trasplante de las plantas de tomate se utilizó:

- 30% de sustrato de perlita.
- 40% de sustrato de Peat moss
- 10% de sustrato de arena

3.3 Material vegetal

Como material vegetal se utilizaron semillas de tomate Canelo F1 de Hazera, el cual es un híbrido tipo saladette (Roma indeterminado) de alto rendimiento, con frutos firmes y rojos intensos, diseñado para cultivo protegido (malla sombra e invernadero) y con un amplio paquete de resistencias, incluyendo tolerancia intermedia al virus rugoso del tomate (ToBRFV).

3.4 Material microbiológico

Las Rizobacterias del género *Bacillus spp.* son reconocidas por su capacidad de estimular el crecimiento vegetal y actuar como agentes de biocontrol. En este estudio se aplicó un concentrado a razón de 3.16 ml por litro de agua, suministrando 25 ml por planta para inocular eficazmente la rizosfera. El material biológico, proporcionado por el laboratorio de microbiología del Departamento de Horticultura de la UAAAN Unidad Saltillo, fue aislado en suelos áridos del estado de Coahuila.

Como *Trichoderma* se utilizó el producto Armiten, clasificado como un fungicida, y el cual contiene *Trichoderma harzianum*, se aplicó a una dosis de 10 mL por cada litro

de agua, se realizaron 3 aplicaciones cada 15 días, la primera se realizó a los 15 días después del trasplante.

3.5 Sistema de riego y fertilización

La aplicación controlada de agua mediante sistemas por goteo diariamente para evitar estrés hídrico, y la fertilización química se realizó mediante la solución nutritiva de Steiner, considerando las respectivas reducciones de acuerdo a los tratamientos, y la etapa fenológica del cultivo.

3.6 Manejo del cultivo

Tutorado

Se colocaron tutores de rafia para sostener el tallo principal y los racimos, orientando el crecimiento en forma vertical y facilitando las labores de cosecha.

Poda

Se efectuó la eliminación controlada de hojas basales, brotes laterales y racimos excedentes, con el fin de equilibrar el vigor vegetativo y asegurar frutos de mejor calidad.

Desbrote y Deshojado

Se retiraron manualmente chupones axilares y hojas envejecidas, lo que favoreció la ventilación, la penetración de luz y la disminución de enfermedades fúngicas.

Para corregir las deficiencias nutricionales de las plantas se aplicaron concentrados específicos:

Bio-Calcio: insumo orgánico elaborado con compuestos naturales, cuyo principal elemento es el calcio. Además de aportar este nutriente esencial, contribuye a mejorar la fertilidad y estructura del suelo.

Enerfer-Bio: fertilizante líquido formulado principalmente con fósforo y complementado con nitrógeno y potasio. Su función es estimular el desarrollo radicular, potenciar la fotosíntesis y favorecer la división celular, lo que se traduce en un crecimiento integral del cultivo y en frutos de mayor calidad.

Control fitosanitario

De acuerdo al monitoreo se realizó la aplicación de tratamientos químicos (Tabla 1) contra mosquita blanca, pulgones, priorizando el MIP (manejo integrado de plagas).

Tabla 1. Productos fitosanitarios aplicados para el control de plagas y/o enfermedades

Función	Ingrediente activo	Nombre comercial	Dosis
Insecticida/acaricida	Dimetoato	Deltapyr 40 C. E	2.5 ml/L
Insecticida	Imidacloprid	Confidel 350 SC	2 ml/L

3.7 Descripción de los tratamientos

Los tratamientos evaluados en las plantas de tomate se describen en (Tabla 2);

Tabla 2. Descripción de los tratamientos evaluados

Tratamiento:	Descripción:
T1	Control F.Q. 100%
T2	<i>Bacillus</i> + <i>Trichoderma</i> F.Q. 100%
T3	<i>Bacillus</i> + <i>Trichoderma</i> F.Q. 75%
T4	<i>Bacillus</i> + <i>Trichoderma</i> F.Q. 50%

F.Q. = Fertilización Química

3.7 Variables agronómicas evaluadas

Biomasa fresca de la planta

Se determinó el peso fresco total de la parte aérea del tomate al finalizar la cosecha, indicador de la acumulación de materia orgánica bajo condiciones óptimas de temperatura y fertirrigación en invernadero.

Biomasa seca de la planta

Corresponde al peso obtenido tras el secado del material vegetal, reflejando la distribución de asimilados en el cultivo. Este parámetro se relaciona con la sostenibilidad del rendimiento en sistemas hidropónicos, donde una elevada biomasa seca puede respaldar producciones de hasta 20.6 kg de fruto por planta, evidenciando la eficiencia nutricional en sistemas de alta tecnología.

Peso fresco de raíz

Se determinó la masa fresca de las raíces extraídas, indicador del vigor subterráneo en tomate cultivado en invernadero. Este parámetro refleja la capacidad de soporte foliar y de absorción de nutrientes en sustratos limitados, siendo especialmente relevante en sistemas hidropónicos donde el desarrollo radical influye directamente en el rendimiento. El pesaje se realizó tras un lavado cuidadoso de las raíces.

Peso seco de raíz

Corresponde al peso de las raíces luego del proceso de secado, lo que evidencia la adaptación y distribución de biomasa en tomate bajo invernadero. Una elevada acumulación de materia seca radical favorece la productividad en ciclos prolongados y bajo fertirrigación integrada, constituyendo un indicador clave de eficiencia en sistemas de alta tecnología.

Número de frutos por planta

Se contabilizaron los frutos maduros por planta, indicador directamente relacionado con el rendimiento. En sistemas hidropónicos, el manejo preciso de riego y temperatura favorece el cuajado floral y aumenta significativamente la cantidad de frutos.

Rendimiento (g/planta)

En tomate bajo invernadero, el rendimiento se cuantifica como el peso total de frutos cosechados por planta, expresado en gramos. Esta variable integra tanto el número de frutos como su tamaño.

3.8 Análisis estadístico

Se empleó un diseño experimental con bloques completamente al azar con cuatro tratamientos, cuatro repeticiones y cuatro bloques, en cada bloque se llevaron 16 plantas, con un total de 64 plantas en este diseño. El programa estadístico utilizado para realizar el análisis de varianza (ANVA) fue SAS 9.1 y se realizó la prueba de comparación de medias Tukey ($p \leq 0.05$).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Peso fresco planta (g)

De acuerdo con los resultados obtenidos en la variable peso fresco de planta (g), se observaron diferencias significativas entre tratamientos (Fig. 1).

El tratamiento Control F.Q. 100% presentó el mayor peso fresco con 627.25 g. Los tratamientos F.Q. 100% + *Bacillus* + *Trichoderma* y F.Q. 75% + *Bacillus* + *Trichoderma* no mostraron diferencias estadísticas entre sí, mientras que el tratamiento F.Q. 50% + *Bacillus* + *Trichoderma* presentó el valor más bajo con 488 g.

Esto indica que una reducción excesiva de fertilización química puede afectar el desarrollo de la planta aun con la aplicación de microorganismos benéficos.

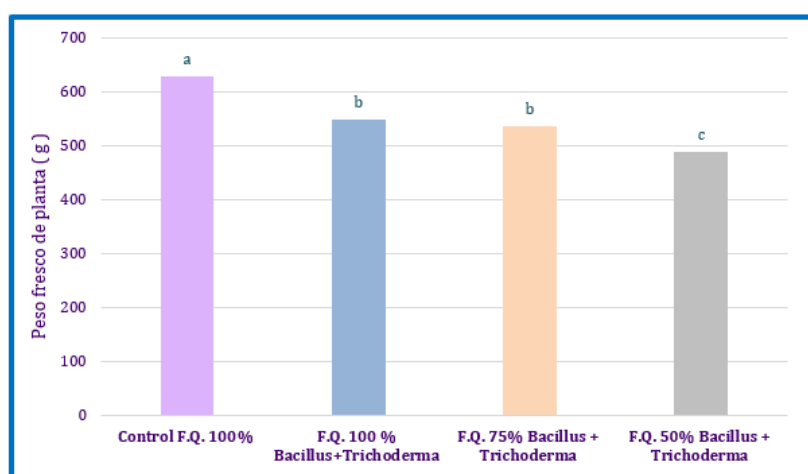


Figura 1. Peso fresco de planta (g) en tomate bajo la aplicación de biofertilizantes y reducción de fertilización química (F.Q.)

El comportamiento observado en esta variable indica que la disponibilidad adecuada de nutrientes continúa siendo un factor determinante para el crecimiento vegetal, aun cuando se emplean microorganismos promotores del crecimiento. Una tendencia similar fue reportada por Gonilha et al. (2024), quienes evaluaron la aplicación de *Bacillus subtilis* y *Trichoderma harzianum* en maíz con diferentes niveles de fertilización fosfatada. Los autores encontraron que los microorganismos favorecieron el crecimiento de las plantas; sin embargo, los mayores valores se obtuvieron cuando se mantuvieron niveles adecuados de fertilización, mientras que reducciones excesivas del fertilizante limitaron la respuesta productiva.

De manera semejante, Zhao et al. (2020) reportaron que la aplicación de biofertilizantes a base de *Trichoderma* incrementó significativamente el peso fresco y el rendimiento de col china en comparación con el testigo. Los autores observaron aumentos de hasta 41.7% en peso fresco debido a una mejor absorción de nutrientes y estimulación del crecimiento vegetal. Lo anterior respalda la importancia de complementar la acción de los microorganismos benéficos con una nutrición adecuada para maximizar el desarrollo de las plantas.

4.2 Peso seco planta (g)

De acuerdo con los resultados obtenidos en la variable peso seco de planta (g), se observaron diferencias significativas entre tratamientos (Fig. 2).

El tratamiento control F.Q. 100% y F.Q. 100% + *Bacillus* + *Trichoderma* presentaron los valores más altos con 148 y 145 g, respectivamente, sin diferencias estadísticas entre ellos. El tratamiento F.Q. 75% + *Bacillus* + *Trichoderma* mostró un comportamiento intermedio, mientras que F.Q. 50% + *Bacillus* + *Trichoderma* presentó el valor más bajo con 112.5 g.

Esto indica que una reducción moderada de fertilización química puede mantener el desarrollo de la planta, pero reducciones mayores afectan la acumulación de biomasa seca.

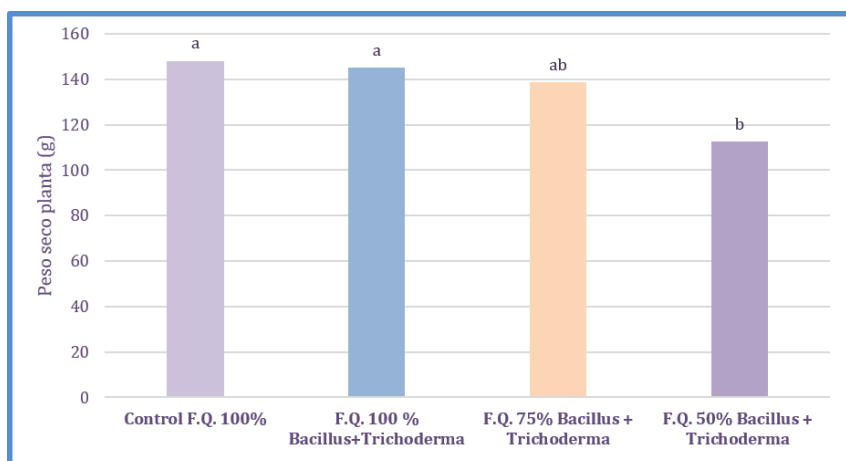


Figura 2. Peso seco de planta (g) en tomate bajo la aplicación de biofertilizantes y reducción de fertilización química (F.Q.).

Los valores registrados en el presente estudio evidencian que la inoculación con *Bacillus* spp. y *Trichoderma harzianum* favoreció la acumulación de biomasa cuando

existió una disponibilidad suficiente de nutrientes. Este comportamiento coincide con lo reportado por Yadav et al. (2022), quienes encontraron que la aplicación conjunta de *Bacillus* spp. y *Trichoderma* spp. incrementó significativamente la biomasa aérea y el peso seco de las plantas debido a una mayor disponibilidad de nutrientes y a la producción de fitohormonas promotoras del crecimiento.

Por otra parte, la disminución observada en el tratamiento con 50% de fertilización química confirma que los microorganismos benéficos no siempre compensan reducciones severas en la fertilización mineral. Resultados similares fueron descritos por Poveda et al. (2021), quienes señalaron que *Trichoderma* mejora la eficiencia en el uso de nutrientes y estimula el crecimiento vegetal; sin embargo, las mayores acumulaciones de materia seca se obtienen cuando se combina con programas de fertilización balanceados.

4.3 Peso fresco raíz (g)

De acuerdo con los resultados obtenidos en la variable peso fresco de raíz (g), se observaron diferencias significativas entre tratamientos (Fig. 3). Los tratamientos Control F.Q. 100%, F.Q. 100% + *Bacillus* + *Trichoderma* y F.Q. 75% + *Bacillus* + *Trichoderma* no presentaron diferencias estadísticas entre sí, con valores de 113.5, 117 y 114 g, respectivamente. Por otra parte, el tratamiento F.Q. 50% + *Bacillus* + *Trichoderma* mostró el menor peso fresco de raíz con 105 g. Esto indica que una reducción moderada de fertilización química junto con microorganismos benéficos puede mantener el desarrollo radicular del cultivo.

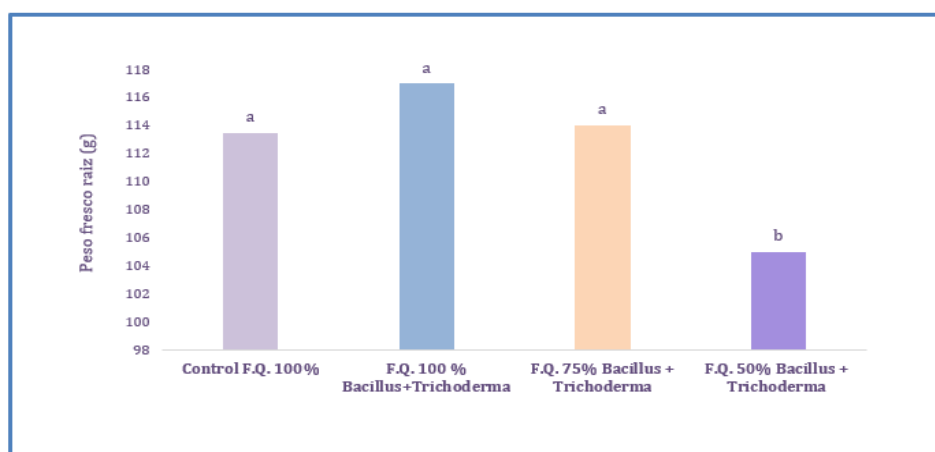


Figura 3. Peso fresco de raíz (g) en tomate bajo la aplicación de biofertilizantes y reducción de fertilización química (F.Q.).

El desarrollo radicular mostrado por los tratamientos inoculados sugiere que la combinación de microorganismos benéficos con una reducción moderada de fertilización química puede mantener un adecuado crecimiento de las raíces. Hallazgos similares fueron reportados por Rouphael et al. (2020), quienes señalaron que la inoculación con microorganismos benéficos, incluyendo especies de *Bacillus* y *Trichoderma*, favorece el desarrollo del sistema radical al mejorar la absorción de nutrientes y estimular diversos procesos fisiológicos relacionados con el crecimiento vegetal.

Asimismo, la reducción observada en el tratamiento con 50% de fertilización química coincide con las observaciones realizadas por Mastouri et al. (2010). Estos autores encontraron que *Trichoderma harzianum* promovió el crecimiento radicular y la acumulación de biomasa; sin embargo, los mayores beneficios se presentaron cuando las plantas contaban con una adecuada disponibilidad de nutrientes. De acuerdo con dichos autores, la respuesta positiva de *Trichoderma* puede verse limitada cuando existen restricciones nutricionales importantes.

4.4 Peso seco raíz

Los tratamientos con biofertilizantes en combinación con fertilización química al 100% y 75% promovieron un mayor desarrollo radicular, con diferencias significativas respecto al control y al 50%.

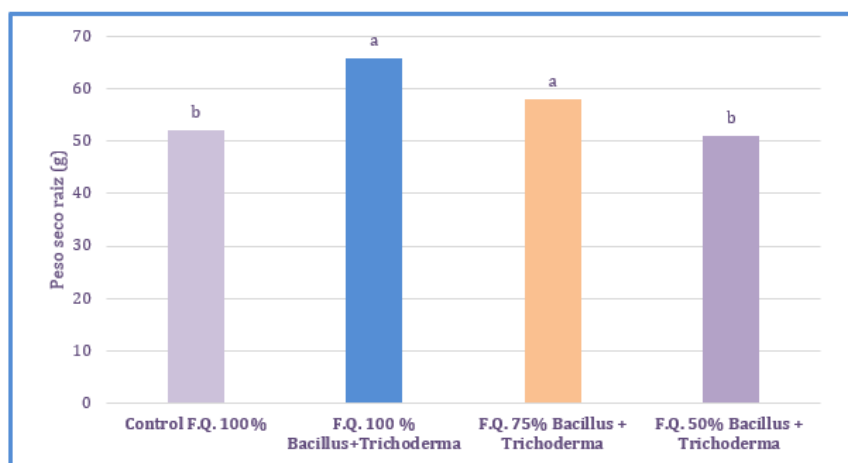


Figura 4. Peso seco de raíz (g) en tomate bajo diferentes tratamientos de fertilización química y biofertilizantes (*Bacillus* + *Trichoderma*).

La mayor acumulación de materia seca en raíces observada en los tratamientos inoculados refleja una respuesta favorable del cultivo a la presencia de microorganismos promotores del crecimiento vegetal. En concordancia con estos resultados, Stewart y Hill (2014) observaron que la inoculación con especies de *Trichoderma* promovió un mayor crecimiento radicular y acumulación de biomasa debido a la estimulación de raíces laterales y a una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes.

De igual forma, Olanrewaju et al. (2017) señalaron que las bacterias promotoras del crecimiento vegetal del género *Bacillus* incrementan significativamente el desarrollo del sistema radical mediante la producción de fitohormonas, principalmente ácido indolacético (AIA). Los autores destacan que estos efectos son más evidentes cuando los microorganismos son complementados con niveles adecuados de fertilización mineral, situación que coincide con los resultados observados en esta investigación.

4.5 Número de frutos

El tratamiento con 75% F.Q. + *Bacillus* + *Trichoderma* presentó el mayor número de frutos, superando incluso al control con 100% fertilización química. En contraste, el tratamiento con 50% mostró una reducción significativa en la producción de frutos.

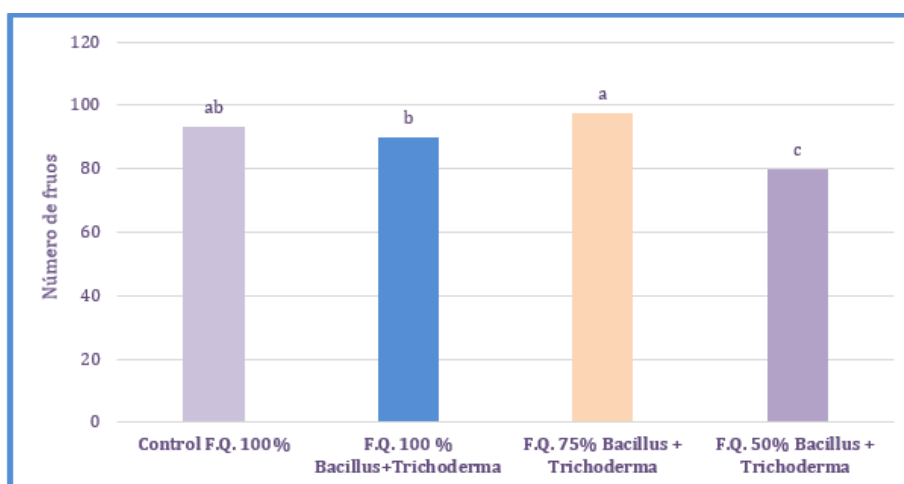


Figura 5. Número de frutos en tomate bajo diferentes tratamientos de fertilización química y biofertilizantes (*Bacillus* + *Trichoderma*).

El incremento en el número de frutos registrado en el tratamiento con 75% de fertilización química más *Bacillus* spp. y *Trichoderma harzianum* evidencia una respuesta positiva del cultivo a la inoculación microbiana. Esta respuesta ha sido documentada previamente por Chagas et al. (2017), quienes encontraron que la aplicación de *Trichoderma* spp. promovió el crecimiento y aumentó la productividad de diversos cultivos hortícolas. Los autores atribuyeron estos efectos a una mejor absorción de nutrientes y a una mayor eficiencia fisiológica de las plantas.

Por el contrario, la disminución observada en el tratamiento con 50% de fertilización química sugiere que existe un límite en la capacidad de los microorganismos para compensar la reducción de nutrientes minerales. De manera similar, Sani et al. (2022) reportaron que la inoculación con cepas de *Bacillus* y hongos benéficos favorece la floración y el amarre de frutos; sin embargo, los mayores rendimientos se obtienen cuando existe una adecuada disponibilidad de nutrientes provenientes de la fertilización mineral.

4.6 Rendimiento (g)

Los resultados obtenidos en la variable rendimiento (g) por planta, se observaron diferencias significativas (Fig. 6). El tratamiento con 75% F.Q. + *Bacillus* + *Trichoderma* destacó con el mayor rendimiento (7,353 g), demostrando que es posible disminuir la cantidad de fertilizante químico sin afectar la productividad. Esto sugiere un manejo más sostenible, reduciendo costos y el impacto ambiental.

Por otro lado, el tratamiento con 50% F.Q. + *Bacillus* + *Trichoderma* mostró una caída significativa en el rendimiento (6,059.75 g), lo que indica que, aunque los microorganismos ayudan, existe un umbral mínimo de fertilización química necesario para mantener altos niveles de producción.

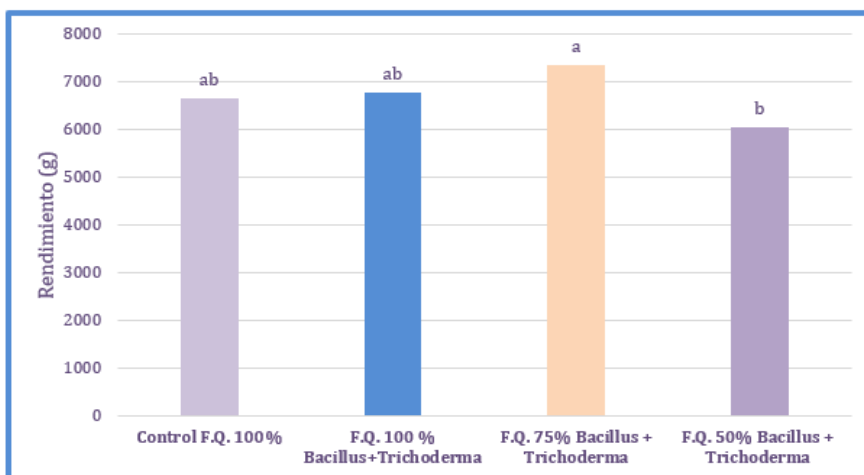


Figura 6. Rendimiento obtenido en plantas de tomate con biofertilizantes y reducción de F.Q.

El rendimiento alcanzado en el presente estudio demuestra el potencial de *Bacillus* spp. y *Trichoderma harzianum* como complemento de los programas convencionales de fertilización. La superioridad del tratamiento con 75% de fertilización química sugiere una mejora en la eficiencia del uso de nutrientes, permitiendo mantener e incluso incrementar la productividad del cultivo con una menor cantidad de fertilizante. De forma similar, Castillo-Ferrer et al. (2022) reportaron incrementos en la producción de tomate tras la aplicación de lixiviados microbianos, atribuyendo dichos resultados al efecto sinérgico de los microorganismos sobre la disponibilidad de nutrientes y el desarrollo vegetal.

Asimismo, Hernández-Montiel et al. (2021) encontraron que la inoculación con *Trichoderma* combinada con una reducción parcial de la fertilización química incrementó el rendimiento de tomate en condiciones protegidas. Estos autores concluyeron que la interacción entre microorganismos promotores del crecimiento y una fertilización mineral adecuada mejora la eficiencia nutrimental y favorece la productividad del cultivo. Los resultados obtenidos en la presente investigación respaldan esta afirmación, ya que el tratamiento con 75% de fertilización química más *Bacillus* spp. y *Trichoderma harzianum* presentó el mayor rendimiento por planta.

4.7 Variables agronómicas y de calidad

El resultado obtenido en las variables agronómicas y de calidad (Tabla 3), mostró que la altura de planta osciló entre 2.79 y 3.22 m, sin diferencias estadísticas significativas

entre ellos. El diámetro de tallo se mantuvo estable en un rango de 11.11 a 11.82 mm, indicando que la reducción de fertilización química combinada con inoculación microbiana no afectó el vigor estructural.

En cuanto al diámetro de fruto, los valores fluctuaron entre 7.67 y 8.15 cm, siendo el tratamiento control (F.Q. 100%) el que presentó el mayor promedio. Los sólidos solubles totales (°Brix) variaron de 4.50 a 5.15, con el valor más alto en el control, mientras que los tratamientos con *Bacillus* + *Trichoderma* mostraron una ligera disminución. La firmeza del fruto se mantuvo en un rango estrecho de 0.93 a 0.96 kg, sin diferencias significativas entre tratamientos.

Los resultados sugieren que la reducción parcial de fertilización química (hasta 50%) complementada con *Bacillus* y *Trichoderma* no afectó de manera negativa parámetros de crecimiento como altura y diámetro de tallo, lo que evidencia la capacidad de los microorganismos para sostener el vigor vegetal. Sin embargo, en variables de calidad como diámetro de fruto y sólidos solubles, el tratamiento control mantuvo valores ligeramente superiores, lo que indica que la sustitución parcial de fertilización química aún requiere ajustes para alcanzar el mismo nivel de calidad comercial.

Tabla 3. Resultados agronómicos y de calidad en frutos tomate

Tratamiento	Altura de planta (m)	Diámetro de tallo (mm)	Diámetro de fruto (cm)	Sólidos solubles Totales (°Brix)	Firmeza (Kg)
Control F.Q. 100%	3.22 a	11.82 a	8.15 a	5.15 a	0.94 a
F.Q. 100% <i>Bacillus</i> + <i>Trichoderma</i>	3.16 a	11.11 a	7.67 a	4.95 a	0.93 a
F.Q. 75% <i>Bacillus</i> + <i>Trichoderma</i>	3.02 a	11.57 a	8.10 a	4.55 a	0.94 a
F.Q. 50% <i>Bacillus</i> + <i>Trichoderma</i>	2.79 a	11.58 a	7.94 a	4.50 a	0.96 a

5. CONCLUSIONES

La inoculación con microorganismos benéficos del género *Bacillus* spp. y *Trichoderma harzianum* influyó positivamente en el crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate saladette, dependiendo del nivel de fertilización química suministrado. La respuesta del cultivo evidenció que la interacción entre los microorganismos promotores del crecimiento vegetal y una adecuada disponibilidad de nutrientes favorece el desarrollo de las plantas y la productividad del sistema.

En las variables relacionadas con el crecimiento vegetativo, como peso fresco y peso seco de planta, los tratamientos con fertilización química al 100% presentaron los mayores valores, lo que confirma la importancia de una adecuada nutrición mineral para la acumulación de biomasa. Sin embargo, la inoculación con *Bacillus* spp. y *Trichoderma harzianum* permitió mantener valores estadísticamente similares al tratamiento control cuando se utilizó el 75% de fertilización química, lo que demuestra la capacidad de estos microorganismos para mejorar la eficiencia en la absorción y aprovechamiento de nutrientes.

De igual manera, las variables relacionadas con el sistema radical mostraron una respuesta favorable a la inoculación microbiana. Los tratamientos con fertilización química al 100% y al 75% complementados con *Bacillus* spp. y *Trichoderma harzianum* presentaron los mejores resultados en peso fresco y peso seco de raíz, evidenciando una mayor capacidad de exploración del sustrato y absorción de agua y nutrientes. Esto confirma que los microorganismos benéficos contribuyen al fortalecimiento del sistema radical, aspecto fundamental para sostener el crecimiento y la productividad del cultivo.

Respecto a las variables productivas, el tratamiento integrado por *Bacillus* spp., *Trichoderma harzianum* y 75% de fertilización química registró el mayor número de frutos y el mayor rendimiento por planta, superando incluso al tratamiento con fertilización química completa. Estos resultados indican que la acción conjunta de ambos microorganismos favoreció procesos fisiológicos relacionados con la absorción nutrimental, el desarrollo vegetal y la formación de frutos, permitiendo optimizar el uso de fertilizantes químicos sin afectar la producción.

Por otra parte, la reducción de la fertilización química al 50% ocasionó disminuciones significativas en la mayoría de las variables evaluadas, lo que indica que, aunque los microorganismos benéficos contribuyen al crecimiento y desarrollo de las plantas, existe un nivel mínimo de nutrientes que debe mantenerse para expresar adecuadamente el potencial productivo del cultivo.

La fertilización química convencional mediante el uso de estos microorganismos benéficos sin afectar el rendimiento del cultivo, representando una alternativa viable para disminuir costos de producción, mejorar la eficiencia en el uso de fertilizantes y contribuir al desarrollo de sistemas agrícolas más sostenibles y amigables con el medio ambiente.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguado Santacruz, G. A. (2012). Introducción al uso y manejo de los biofertilizantes en la agricultura. INIFAP/SAGARPA.
- Ahemad, M., & Kibret, M. (2013). Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria. *Journal of King Saud University – Science*, 26(1), 1–20.
- Barrera, G. P. (2023). Multifuncionalidad de los hongos biocontroladores y su aporte a la agricultura. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 25(2), 3–5.
- Bayomi, K. (2020). Performance of some tomato genotypes under greenhouse conditions. *Egyptian Journal of Desert Research*, 70(1), 1–10. <https://doi.org/10.21608/ejdr.2019.16947.1041>
- Benjumeda Muñoz, D. (2017). Bacterias promotoras del crecimiento vegetal: mecanismos y aplicaciones [Tesis de grado]. Universidad de Sevilla.
- Bhattacharyya, P., & Jha, D. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria: Emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28, 1327–1350. <https://doi.org/10.1007/s11274-011-0979-9>
- Bononi, L., Chiaramonte, J. B., Pansa, C. C., Moitinho, M. A., & Melo, I. S. (2020). Phosphorus-solubilizing *Trichoderma* spp. from Amazon soils improve soybean plant growth. *Scientific Reports*, 10, 2858. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59793-8>
- Castilla, N. (2004). Invernaderos de plástico: tecnología y manejo (2.^a ed.). Mundi-Prensa.
- Castillo-Ferrer, J., Fornaris-Sánchez, A. A., & Echavarría-Hurtado, J. (2022). Efecto de dosis foliar y edáfica del lixiviado microbiano en la producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Ciencia en su PC*, 1(3), 88–101.
- Castro-Brindis, R., Galvis-Spinola, B. J., Sánchez-García, P., Peña-Lomelí, A., Sandoval-Villa, M., & Alcántar-González, G. (2014). Demanda de nitrógeno, fósforo y potasio en jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) tipo saladette bajo condiciones hidropónicas. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 20(1), 101-117.
- Chagas, L. F. B., Martins, A. L. L., Carvalho Filho, M. R., Miller, L. O., & Chagas

- Junior, A. F. (2017). Trichoderma na promoção do crescimento vegetal. *Revista de Agricultura Neotropical*, 4(3), 97–102.
- Choxom Tayun, J. J. (2016). Evaluación del rendimiento de cinco híbridos de Guatemala. *Castro*.
- Cooper, L., & Abi-Ghanem, R. (2016). Micronutrients are the key to better yields. *United Prairie*.
- Cordoba-Novoa, H. A., Gómez, S. V., & Núñez, C. E. (2018). Evaluación del rendimiento y fenología del tomate cherry. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(1), 113–125. <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i1.7348>
- FAO. (2021). Noticias: el anuario estadístico de la FAO. <https://www.fao.org/news/story/es/item/1316478/icode/>
- FAOSTAT. (2023). Cultivos y productos de ganadería. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/TCL>
- García-Gutiérrez, A., Castellanos, J. Z., Sánchez-García, P., Martínez-Gutiérrez, G. A., & Villaseñor-Perea, C. A. (2024). Requerimiento Nutricional de Tomate Tipo Saladette Cosechado a dos Racimos. *Terra Latinoamericana*, 42, 1-12.
- Gonilha, D. B. L., Santos, C. H. B., Frezarín, E. T., Siqueira, J. S., & Rigobelo, E. C. (2024). Biological Strategies to Minimize Fertilizer Use in Maize: Efficacy of *Trichoderma harzianum* and *Bacillus subtilis*. *Microbiology Research*, 15(4), 2261–2273.
- Guzmán-Guzmán, P., Porras-Troncoso, M. D., Olmedo-Monfil, V., & Herrera-Estrella, A. (2019). Trichoderma species: Versatile plant symbionts. *Phytopathology*, 109, 6–16. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-07-18-0218-RVW>
- INTAGRI. (2018). El cultivo del tomate. *Serie Hortalizas*, (14).
- Juárez, M. J., Baca, G. A., Navarro, L. A., García, P., Torres, J. L., & Castellanos, J. S. (2006). Propuestas para la formulación de soluciones nutritivas. *Interciencia*, 31, 246–253.
- Kashyap, B., Solanki, M., Pandey, A., Prabha, S., Kumar, P., & Kumari, B. (2019).

- Bacillus as plant growth promoting rhizobacteria. ResearchGate, 219–236.
- Kashyap, P. L., Rai, P., Srivastava, A. K., & Kumar, S. (2017). Trichoderma for climate resilient agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 33, 155. <https://doi.org/10.1007/s11274-017-2319-1>
- Khan, A. R., Mustafa, A., Hyder, S., et al. (2022). Bacillus spp. as bioagents. *Biology*, 11(12), 1763.
- Knapp, S. (2021). Taxonomy of Wild and Cultivated Tomatoes. En *Specialized Metabolism in The Solanaceae Family*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819812-4.00001-5>
- Malik, D. K., & Sindhu, S. S. (2011). Indole acetic acid production by *Pseudomonas* sp. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 17, 25–32.
- Martínez, B., Infante, D., & Reyes, Y. (2013). Trichoderma spp. y su función en el control de plagas. *Revista Protección Vegetal*, 28(1), 1–11.
- Mastouri, F., Björkman, T., & Harman, G. E. (2010). Seed treatment with *Trichoderma harzianum* alleviates biotic, abiotic, and physiological stresses in germinating seeds and seedlings. *Phytopathology*, 100(11), 1213–1221.
- Olanrewaju, O. S., Glick, B. R., & Babalola, O. O. (2017). Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 33(11), 197.
- Pineda, J. A., et al. (2017). Producción de preparados de Trichoderma. *ICIDCA*, 51(1), 47–52.
- Poveda, J., Abril-Urias, P., & Escobar, C. (2021). Biological control and plant growth promotion by Trichoderma species: Current perspectives and future challenges. *Biological Control*, 152, 104429.
- Rauber, L., et al. (2018). Soil physical indicators. *Scientia Agricola*, 75(4), 354–359.
- Rouphael, Y., Colla, G., Giordano, M., El-Nakhel, C., Kyriacou, M. C., & De Pascale, S. (2020). Biostimulants in agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 11, 40.
- Samaniego-Gámez, B. Y., et al. (2017). Bacillus spp. rizobacterias. *Revista de*

Protección Vegetal, 32(1), 10–22.

Sani, M. N. H., Hasan, M., Uddain, J., & Subramaniam, S. (2022). Impact of application of plant growth-promoting rhizobacteria on growth and yield of horticultural crops: A review. *Sustainability*, 14(3), 1448.

Sharma, P. K., & Gothwal, R. (2017). *Trichoderma biocontrol*. Springer.

SIAP. (2024). *Panorama agroalimentario 2018–2024*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.

Steiner, A. A. (1961). A universal method for nutrient solutions. *Plant and Soil*, 15, 134–154.

Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient solution. En *Proceedings of the 6th International Congress on Soilless Culture*.

Stewart, A., & Hill, R. (2014). Applications of *Trichoderma* in plant growth promotion. *Biotechnology and Biology of Trichoderma*, 415–428.

Vessey, K. J. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria. *Plant and Soil*, 255, 571–586.

Villegas, T. O. G., et al. (2005). Crecimiento y estado nutrimental del tomate. *Terra Latinoamericana*, 23, 49–56.

Yadav, A. N., Verma, P., Kumar, V., Sangwan, P., Mishra, S., Panjiar, N., Gupta, V. K., Saxena, A. K., & Dhaliwal, H. S. (2022). Plant growth promoting fungi and bacteria: Impact on biomass production and nutrient uptake in crops. *Microbiological Research*, 257, 126972.

Yan, P., Shen, C., Fan, L., et al. (2018). Soil acidification effects. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 254, 20–25.

Zhao, L., Sun, C., Liu, Y., Lai, J., Zeng, G., Cheng, M., Li, X., & Wang, H. (2020). The effect of *Trichoderma* biofertilizer on the quality of flowering Chinese cabbage and the soil environment. *Scientia Horticulturae*, 262, 109069.