



EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Tecnológico Nacional de México

Instituto Tecnológico Superior de Guasave

Tesis

Aislamiento de *Bacillus* spp. y *Trichoderma* spp. como bioestimulante en la producción de tomate (*Solanum Lycopersicum*)”

Presentada por:

Carlos Alberto Chávez Rodríguez

Como requisito para la obtención del grado de
Ingeniero en Innovación Agrícola Sustentable

Director(a) de Tesis

Dr. Adalid Graciano Obeso

Codirector(a) de Tesis

MC. Daniel Alejandro Anaya Castro



Guasave, Sinaloa, México; marzo de 2026.

	LIBERACIÓN DE PROYECTO PARA TITULACIÓN INTEGRAL PLAN 2015	Responsable: Jefatura de División de Ciencias
	Referencia a la Norma ISO 9001:2015 8.1;8.2.1;8.2.2;8.2.3;8.5.1;8.5.2;8.6;8.7.2	Código: ITSG-SIG-AO-PO-19-03
	Referencia a la Norma ISO 21001:2018 8.1;8.1.1;8.1.2;8.2.1;8.2.2;8.2.3;8.3.3;8.3.4;8.6;8.7;9.1.2	Revisión: 5
		Fecha de Emisión: Julio 2025 Página 1 de 1

Guasave, Sinaloa, Fecha: 24 de marzo de 2026

ASUNTO: Liberación de proyecto para titulación integral

ING. LAURA BEATRÍZ INZUNZA RAMÍREZ
COORDINACIÓN DE TITULACIÓN
PRESENTE

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la titulación integral:

Nombre del estudiante y/o egresado(a):	Carlos Alberto Chávez Rodríguez
Carrera:	Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable
Número de control:	2125010211
Nombre del proyecto:	Aislamiento de <i>Bacillus</i> spp. y <i>Trichoderma</i> spp. como bioestimulante en la producción de tomate (<i>Solanum Lycopersicum</i>)
Producto:	Tesis

Solo para la Opción de tesis:

Estudiante y/o egresado(a):

CURP	CARC031215HSLHDRA2
------	--------------------

Asesor(a):

Nombre completo	Dr. Adalid Graciano Obeso
CVU	421431

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros(as) egresados(as).

ATENTAMENTE

M.C. HÉCTOR RAMIRO MENDÍVIL TRUJILLO

Nombre y firma del (de la) Jefe(a) de División de Ciencias Agronómicas

 Dr. Adalid Graciano Obeso Nombre y firma del Asesor(a)	 M.C. Cruz Enrique Beltrán Burboa Nombre y firma del Revisor(a)	 M.C. Daniel Alejandro Anaya Castro Nombre y firma del Revisor(a)
---	---	--

* solo aplica para el caso de tesis y tesina

C. c. p. Expediente

C. c. p. Departamento de Centro de Recurso para el Aprendizaje e Innovación.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad y que me han motivado ya que muchos de mis logros se los debo a ellos, así como a Dios por haberme dado la fuerza y constancia necesaria día con día, así como a todos los docentes que me asesoraron en mi trayecto.

AGRADECIMIENTOS

En este caso quiero agradecer a mis asesores de mi residencia en este caso en el CIIDIR así como mi asesor que me brindo la institución del Tecnológico Julián Galaviz, Daniel Anaya y Adalid Graciano así como los demás compañeros que me brindaron su atención en todo momento y que me dieron la oportunidad de integrarme con ellos así como a mi familia por brindarme siempre su apoyo incondicional para asistir día con día a estas prácticas que serán de gran ayuda en mi vida laboral.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
GLOSARIO	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	2
3. ALCANCES Y LIMITACIONES	5
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
5. JUSTIFICACIÓN.....	7
6. OBJETIVOS.....	8
6.1 Objetivo General	8
6.2 Objetivos Específicos	8
7. HIPÓTESIS.....	9
8. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	10
9. MARCO TEÓRICO	11
Importancia del cultivo de tomate.....	11
Problemática del uso de fertilizantes químicos.....	11
Bioestimulantes.....	11
<i>Trichoderma</i>	13

Bacillus	13
Interacción planta-microorganismo y efecto bioestimulante	15
10. METODOLOGÍA	16
Localización del estudio.....	16
Muestreo de raíces de plantas para el aislamiento de <i>Bacillus</i> y <i>Trichoderma</i>	16
Trabajo de invernadero.....	16
Diseño experimental	17
Variables a evaluar	17
Altura de planta y grosor de tallo:.....	17
Volumen de raíz y peso seco de la planta	17
Análisis nutrimental de la planta:.....	17
Determinación de Nitrógeno Total.	18
Determinación de Fósforo.	19
Determinación de Potasio.....	19
Determinación de Calcio y Magnesio.....	19
Determinación de fierro, manganeso, zinc y cobre.	20
11. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
Aislamiento de cepas de <i>Trichoderma</i> y <i>Bacillus</i>	21
Variables evaluadas de las cepas de <i>Trichoderma</i>	21
Altura de planta y grosor de tallo.....	21
Volumen y peso de raíz	23
Peso seco de follaje.....	23
Análisis nutrimental del follaje	24
Variables evaluadas en las cepas de <i>Bacillus</i>	25
Altura de planta y grosor de tallo.....	25

Volumen y peso seco de raíz.....	26
Peso seco de follaje	27
Análisis nutrimental del follaje	28
12. CONCLUSIONES.....	30
13. RECOMENDACIONES	31
14. BIBLIOGRAFÍA.....	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Descripción de resultados de altura de planta y grosor de tallo en el experimento para evaluar la capacidad bioestimulantes de las cepas de Trichoderma aisladas.....	22
Figura 2. Descripción de resultados de volumen y peso seco de raíz en el experimento para evaluar la capacidad bioestimulantes de las cepas de Trichoderma aisladas.	23
Figura 3. Descripción de resultados de peso seco de follaje en el experimento para evaluar la capacidad bioestimulantes de las cepas de Trichoderma aisladas.....	24
Figura 4. Descripción de resultados de altura de planta y grosor de tallo en el experimento para evaluar la capacidad bioestimulantes de las cepas de Bacillus aisladas.	26
Figura 5. Descripción de resultados de volumen y peso seco de raíz en el experimento para evaluar la capacidad bioestimulantes de las cepas de Bacillus aisladas.	27
Figura 6. Descripción de resultados peso seco de follaje en el experimento para evaluar la capacidad bioestimulantes de las cepas de Bacillus aisladas.....	28

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción de las cepas de Trichoderma y Bacillus aisladas en cultivos del norte de Sinaloa	21
Cuadro 2. Descripción de resultados del análisis nutrimental del follaje en el experimento para evaluar la capacidad bioestimulantes de las cepas de Trichoderma aisladas.	25
Cuadro 3. Descripción de resultados del análisis nutrimental del follaje en el experimento para evaluar la capacidad bioestimulantes de las cepas de Bacillus aisladas	28

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Comparación de un tratamiento con cepa de Bacillus con el testigo agua. ..	34
Anexo 2. Toma de altura de planta al finalizar el bioensayo.	34
Anexo 3. Plantas de tomate en el bioensayo donde se evaluaron las cepas de Trichoderma.	35
Anexo 4. Comparación de un tratamiento con cepa de Trichoderma con el testigo agua.	35

RESUMEN

El tomate (*Solanum lycopersicum*) es uno de los cultivos hortícolas más importantes a nivel mundial. Sin embargo, su producción está constantemente amenazada por factores bióticos y abióticos, en los últimos años los bioestimulantes microbianos han despertado gran curiosidad dado su potencial para potenciar el crecimiento y la eficiencia de las plantas. Con base a lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del aislamiento e incorporación de *Bacillus* spp. y *Trichoderma* spp. como bioestimulantes en el crecimiento de tomate (*Solanum lycopersicum*), con el fin de promover prácticas agrícolas sostenibles y mejorar el rendimiento del cultivo. Para lograrlo, se evaluaron 5 cepas de *Bacillus*, 5 cepas de *Trichoderma*, un testigo con agua y otro con fertilización sintética, se tenían 4 repeticiones por tratamiento, se utilizaron macetas de 3 litros teniendo dos plantas por maceta con suelo como sustrato, la siembra se realizó de manera directa y se aplicaron los tratamientos a los 15, 30 y 45 días después de la siembra. Las variables evaluadas fueron; altura de planta y grosor de tallo, volumen de raíz y peso seco de la planta, análisis nutrimental de la planta, determinación de macro y micronutrientes. Como resultados se tiene que la altura de planta fue mayor en los tratamientos con *Trichoderma* en comparación al control con agua, resaltando la cepa GTT4. Por otro lado, en la mayoría de las cepas de *Trichoderma*, el volumen de raíz aumentó, donde GPT40 obtuvo el valor más alto el cual no tuvo diferencia estadística con las cepas GtilloT18 y los testigos. En cuanto a la absorción de nutrientes, el tratamiento que presentó una mayor concentración de estos fue el testigo nitrógeno teniendo diferencia estadística en la mayoría de los nutrientes con los demás tratamientos. Con base a los resultados obtenidos, se tiene que las cepas de *Bacillus* AhPB40 y GMM2L y las cepas de *Trichoderma* GTT2A y GTP40 lograron aumentar el crecimiento y la captación de nutrientes en las plantas de tomate.

Palabras claves: Bioestimulante, tomate, *Trichoderma*, *Bacillus*.

ABSTRACT

The tomato (*Solanum lycopersicum*) is one of the most important horticultural crops worldwide. However, its production is constantly threatened by biotic and abiotic factors. In recent years, microbial biostimulants have generated considerable interest due to their potential to enhance plant growth and efficiency. Based on this, the objective of this study was to evaluate the effect of isolating and incorporating *Bacillus* spp. and *Trichoderma* spp. as biostimulants on tomato (*Solanum lycopersicum*) growth, with the aim of promoting sustainable agricultural practices and improving crop yield. To achieve this, five *Bacillus* strains, five *Trichoderma* strains, a control group with water, and a control group with synthetic fertilizer were evaluated. Four replicates were used per treatment. Three-liter pots were used, with two plants per pot containing soil as a substrate. Sowing was done directly, and treatments were applied 15, 30, and 45 days after planting. The variables evaluated were plant height and stem thickness, root volume, and plant dry weight, as well as plant nutrient analysis and determination of macro- and micronutrients. The results showed that plant height was greater in the *Trichoderma* treatments compared to the water control, with strain GTT4 showing the most significant increase. Furthermore, root volume increased in most *Trichoderma* strains, with GTT40 exhibiting the highest value, which was not statistically significant compared to strains GtilloT18 and the control group. Regarding nutrient uptake, the control treatment (nitrogen) showed the highest concentration of nutrients, with a statistically significant difference in most nutrients compared to the other treatments. Based on the results obtained, the *Bacillus* strains AhPB40 and GMM2L and the *Trichoderma* strains GTT2A and GTP40 increased growth and nutrient uptake in tomato plants.

Keywords: Biostimulant, tomato, *Trichoderma*, *Bacillus*

GLOSARIO

Tomate: Planta herbácea de la familia solanáceas cultivada a nivel mundial por su rico aporte en nutrientes.

***Trichoderma*:** Género de hongos ampliamente utilizado en la agricultura por su capacidad para promover el crecimiento vegetal, mejorar la absorción de nutrientes, mejora la resistencia a enfermedades y actuar como agente de control biológico contra fitopatógenos.

***Bacillus*:** Género de bacterias formadoras de endosporas conocidas por su capacidad para promover el crecimiento vegetal mediante la producción de fitohormonas, solubilización de nutrientes y control biológico de patógenos.

Bioestimulante: Sustancia o microorganismo que aplicado a las plantas o al suelo estimula procesos naturales que mejoran la eficiencia en la absorción de nutrientes, la tolerancia al estrés y el crecimiento y desarrollo vegetal.

Esporas: Estructuras reproductivas especializadas producidas por hongos y algunas bacterias que permiten la dispersión, supervivencia y adaptación a nuevos ambientes.

Fertilización: Práctica agrícola que consiste en la aplicación de nutrientes minerales y orgánicos al suelo o a las plantas, con el objetivo de suplir deficiencias nutrimentales, mejorar la fertilidad del suelo y favorecer el crecimiento y productividad de los cultivos.

Auxinas: Grupo de fitohormonas que regulan procesos fisiológicos en las plantas, tales como la elongación celular, la formación de raíces adventicias, la dominancia apical y el desarrollo vascular, siendo el ácido indolacético (AIA) la principal auxina natural.

Nutrientes: Elementos químicos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, clasificados en macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg y S) y micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo y Cl), los cuales participan en procesos metabólicos, estructurales y fisiológicos.

Invernadero: Estructura cerrada, cubierta con materiales transparentes que permite el control parcial o total de factores ambientales como temperatura, humedad, radiación y ventilación, con el fin de mejorar el crecimiento y rendimiento de los cultivos.

Microorganismos: Organismos de tamaño microscópico, como bacterias, hongos, actinomicetos, protozoarios y microalgas, que habitan en diversos ambientes y desempeñan funciones clave en los ciclos biogeoquímicos, la fertilidad del suelo y la promoción del crecimiento vegetal.

1. INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum*) es uno de los cultivos hortícolas más importantes a nivel mundial, tanto por su valor nutricional como económico. Sin embargo, su producción está constantemente amenazada por factores bióticos y abióticos que afectan negativamente el rendimiento y la calidad del fruto. Frente a estas problemáticas, el uso excesivo de agroquímicos ha sido una práctica común, generando impactos negativos en el ambiente, en la salud humana y en la sostenibilidad agrícola.

Los bioestimulantes microbianos han despertado gran curiosidad dado su potencial para potenciar el crecimiento y la eficiencia de las plantas. Algunos microorganismos provechosos como *Trichoderma* spp. y *Bacillus* spp. han mostrado resultados muy buenos en el desarrollo vegetal, usando mecanismos tales como producir fitohormonas, disolver nutrientes, aumentar el sistema radicular y hacer que las plantas resistan el estrés. Estos bioestimulantes también pueden aumentar la disponibilidad de nutrientes y promover un uso más eficaz de los fertilizantes.

Trichoderma spp. se presenta como un hongo que promueve el crecimiento de las plantas, con la habilidad de fomentar la biomasa aérea y radicular, por otro lado, *Bacillus* spp. resalta por su capacidad para colonizar la rizosfera, crear metabolitos bioactivos y mejorar la estructura del sistema radical, por ello. Incorporar estos microorganismos como bioestimulantes se presenta como una opción prometedora para avanzar hacia sistemas de producción de tomate más sostenibles, eficientes y cuidadosos con el medio ambiente.

Por lo que el objetivo del trabajo de investigación es aislar cepas de *Trichoderma* y *Bacillus* en el norte de Sinaloa para evaluar el crecimiento que estas tienen en el cultivo de tomate.

2. ANTECEDENTES

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas de mayor importancia económica y social a nivel mundial, debido a su amplio consumo y valor nutricional. Este cultivo representa una fuente importante de vitaminas, minerales y compuestos antioxidantes, como el licopeno, el cual ha sido asociado con beneficios para la salud humana. A nivel global, el tomate ocupa uno de los primeros lugares en superficie cultivada dentro de las hortalizas, lo que resalta su relevancia en la seguridad alimentaria.

En México, este cultivo ocupa una posición estratégica dentro del sector hortícola, tanto por el volumen de producción como por su contribución al comercio exterior. En el año 2022, la producción nacional de tomate alcanzó 3 millones 462 mil toneladas, lo que representó un incremento del 5.3% respecto al año previo, consolidando su relevancia dentro de la agricultura nacional. El estado de Sinaloa destacó como el principal productor, al aportar aproximadamente el 18% del total nacional, posicionándose como una región clave para el abasto interno y la exportación (SIAP, 2023). Las condiciones climáticas favorables, la tecnificación del riego y el uso de agricultura protegida han permitido a esta región mantener altos niveles de productividad.

Asimismo, la exportación de tomate mexicano ha mostrado una tendencia creciente durante la última década, con un incremento aproximado del 57% entre 2015 y 2023, lo que refleja la alta demanda internacional y la competitividad del producto en los mercados globales, especialmente en Estados Unidos y Canadá. Sin embargo, este crecimiento productivo ha estado acompañado de un uso intensivo de agroquímicos, particularmente fertilizantes sintéticos y pesticidas.

El uso excesivo de fertilizantes sintéticos ha afectado en la degradación del suelo, contaminación de cuerpos de agua y emisiones de gases de efecto invernadero. Además, el incremento en los costos de estos insumos afecta directamente la rentabilidad del productor.

Por ello, en los últimos años ha surgido un interés creciente por el desarrollo de alternativas sostenibles que permitan mantener la productividad agrícola sin comprometer los recursos naturales.

En este contexto, el uso de bioestimulantes se ha utilizado como una alternativa prometedora dentro de los sistemas de producción agrícola modernos, ya que ayuda a mejorar el crecimiento, la productividad y la tolerancia al estrés en los cultivos, favoreciendo prácticas agrícolas más sostenibles. Estos productos, que pueden incluir sustancias naturales o microorganismos benéficos, tienen la capacidad de mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes, estimular el crecimiento vegetal y aumentar la tolerancia de las plantas a condiciones de estrés abiótico y biótico. Por lo tanto, es necesario investigar más sobre estos insumos y de los microorganismos benéficos que los conforman, tales como *Trichoderma* spp. y *Bacillus* spp., particularmente en cultivos de alta importancia económica como el tomate.

En los últimos años, diversas investigaciones han demostrado que la combinación de microorganismos benéficos puede generar efectos sinérgicos en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Entre los microorganismos más estudiados se encuentran especies del género *Trichoderma*, particularmente *Trichoderma harzianum* y *Trichoderma viride*, que han demostrado capacidad para antagonizar fitopatógenos mediante mecanismos como micoparasitismo, antibiosis, competencia por espacio y nutrientes, y producción de enzimas hidrolíticas. Además de su efecto como agentes de control biológico, algunas cepas de *Trichoderma* pueden estimular el crecimiento vegetal al promover el desarrollo radicular y mejorar la absorción de nutrientes (Harman et al., 2004). Estudios han demostrado que *Trichoderma* spp. pueden inducir resistencia sistémica en plantas, activando rutas de señalización relacionadas con el ácido jasmónico y el etileno (Shoreish, Harman y Mastouri, 2010). Estas asociaciones microbianas pueden colonizar de manera más efectiva la rizósfera, favoreciendo un entorno biológico más estable y competitivo frente a microorganismos patógenos.

Por otro lado, bacterias del género *Bacillus*, como *Bacillus subtilis* y *Bacillus amyloliquefaciens*, han sido estudiadas por su capacidad para formar endosporas, característica que les confiere alta resistencia a condiciones ambientales adversas. Estas bacterias pueden actuar como rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR), produciendo fitohormonas como el ácido indolacético, solubilizando fosfatos y sintetizando sideróforos que facilitan la captación de hierro (Kloepper et al., 2004). Asimismo, secretan metabolitos con actividad antimicrobiana, tales como lipopeptidos (iturinas, surfactinas y fengicinas), que inhiben el desarrollo de diversos fitopatógenos.

Además, el uso de consorcios microbianos ha mostrado resultados positivos en la mejora de parámetros agronómicos como altura de planta, biomasa, rendimiento y calidad del fruto en cultivos hortícolas. En el caso específico del tomate, se ha observado que la inoculación con estos microorganismos puede incrementar la tolerancia a estrés abiótico, como salinidad y déficit hídrico, condiciones que son frecuentes en regiones agrícolas intensivas.

Por otra parte, la tendencia actual en la agricultura está orientada hacia el desarrollo de bioinsumos formulados a partir de cepas nativas, lo que permite una mayor adaptación a las condiciones locales y una mejor respuesta en campo. En este sentido, el aislamiento y evaluación de microorganismos provenientes de suelos agrícolas de regiones productoras, como Sinaloa, representa una estrategia clave para el diseño de tecnologías sustentables que contribuyan a la reducción del uso de fertilizantes químicos sin afectar el rendimiento del cultivo.

El aislamiento de cepas adaptadas permite seleccionar microorganismos con mayor capacidad de colonización y resistencia en el suelo, así como mejor desempeño frente a patógenos presentes en la región. Por lo tanto, el aislamiento y evaluación de cepas de *Trichoderma* spp. y *Bacillus* spp. en el cultivo de tomate es una línea de investigación importante para fortalecer la producción sostenible. Investigar sobre microorganismos benéficos locales puede contribuir al desarrollo de alternativas biotecnológicas que reduzcan la dependencia de agroquímicos sintéticos, mejoren la salud del suelo y mantengan la competitividad del cultivo en mercados nacionales e internacionales.

3. ALCANCES Y LIMITACIONES

Alcances

- Este estudio se enfoca en el aislamiento, identificación y caracterización preliminar de cepas de *Bacillus* spp. y *Trichoderma* spp. a partir de muestras de suelo agrícola.
- Se evaluó el potencial bioestimulante de estas cepas en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*), observando parámetros como el crecimiento vegetal, desarrollo radicular y vigor de las plantas en condiciones controladas (invernadero).
- El trabajo busca generar información científica básica que contribuya al desarrollo de bioinsumos agrícolas sostenibles, promoviendo prácticas agroecológicas.
- Se contempla la posibilidad de identificar cepas con doble función: bioestimulante y biocontroladora, lo que amplía su aplicabilidad en sistemas agrícolas integrados.
- El estudio podría sentar las bases para futuras investigaciones a escala de campo, desarrollo de formulaciones comerciales o implementación en programas de manejo sostenible de cultivos.

Limitaciones

- El estudio se limita a un número reducido de muestras de suelo, por lo que la diversidad microbiana aislada no representa necesariamente todas las posibles cepas presentes en diferentes regiones o condiciones edafoclimáticas.
- Las pruebas se realizarán en condiciones controladas de laboratorio o invernadero, lo que puede no reflejar completamente el comportamiento de los microorganismos en condiciones reales de campo.
- No se evaluará la interacción a largo plazo de los bioestimulantes con el microbioma nativo del suelo ni su impacto sobre la biodiversidad microbiana del agroecosistema.
- El efecto de los microorganismos se estudiará en una única variedad de tomate, por lo tanto, los resultados podrían variar al aplicarse en otras variedades o cultivares.
- El aislamiento e identificación se realizará utilizando técnicas microbiológicas convencionales, sin incluir métodos moleculares avanzados como secuenciación genética, lo que podría limitar la precisión en la clasificación taxonómica de las cepas.

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La producción de tomate (*Solanum lycopersicum*) enfrenta múltiples desafíos agronómicos, entre los que destacan el agotamiento del suelo, el uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas químicos, así como la incidencia de enfermedades fúngicas y bacterianas. Estas prácticas convencionales, aunque efectivas a corto plazo, generan consecuencias negativas como la contaminación ambiental, pérdida de biodiversidad microbiana del suelo, resistencia de patógenos y altos costos de producción.

En respuesta a esta problemática, la agricultura sostenible ha promovido el uso de microorganismos benéficos como alternativa biológica para mejorar el rendimiento de los cultivos y reducir la dependencia de agroquímicos. Entre estos microorganismos, *Bacillus* spp. y *Trichoderma* spp. han demostrado ser promotores del crecimiento vegetal y agentes de biocontrol, gracias a su capacidad para estimular la absorción de nutrientes, inducir respuestas de defensa en las plantas y competir eficazmente con patógenos del suelo.

Por otro lado, la eficacia de estos microorganismos puede variar significativamente según factores como el tipo de suelo, las condiciones climáticas, las prácticas de manejo y la interacción con la microbiota nativa. Muchas formulaciones comerciales emplean cepas desarrolladas en condiciones distintas a las locales, lo que puede limitar su adaptación, colonización y desempeño en campo. Además, en varias regiones productoras de tomate hay poca información sobre la diversidad y el potencial funcional de cepas nativas de *Trichoderma* y *Bacillus* presentes en suelos agrícolas. La identificación y evaluación de microorganismos con potencial bioestimulante permitiría fortalecer la productividad del cultivo, disminuir el impacto ambiental y contribuir a la transición hacia sistemas agrícolas más sostenibles y resilientes.

5. JUSTIFICACIÓN

El cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) es de gran importancia económica y nutricional a nivel mundial. Sin embargo, su producción enfrenta diversos desafíos como enfermedades, estrés abiótico y altos costos de producción. Por ello, el aislamiento e implementación de cepas eficientes de *Bacillus* spp. y *Trichoderma* spp. representa una alternativa viable para incrementar su rendimiento de manera ecológica.

La utilización de bioestimulantes emergen como una alternativa prometedora para mejorar el crecimiento y la resistencia de las plantas de tomate sin recurrir exclusivamente a productos químicos sintéticos, por otro lado, la creciente demanda de alimentos, junto con la necesidad de prácticas agrícolas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente, ha impulsado la búsqueda de alternativas al uso excesivo de fertilizantes y agroquímicos. En este contexto, el uso de microorganismos benéficos como *Bacillus* spp. y *Trichoderma* spp. se ha destacado como una estrategia prometedora para mejorar el crecimiento y la productividad de los cultivos mediante mecanismos naturales.

Estos microorganismos poseen propiedades bioestimulantes, como la promoción del crecimiento vegetal, la mejora de la absorción de nutrientes, y la inducción de resistencia sistémica frente a patógenos. Además, su aplicación contribuye a la salud del suelo y reduce la dependencia de insumos químicos, lo cual es esencial para una agricultura más sostenible, debido a lo anterior, en este estudio se busca contribuir al desarrollo de tecnologías agrícolas sostenibles, ofreciendo una opción efectiva, económica y amigable con el ambiente para los productores de tomate, especialmente en regiones donde el acceso a insumos comerciales es limitado.

6. OBJETIVOS

6.1 Objetivo General

Evaluar el efecto del aislamiento e incorporación de *Bacillus* spp. y *Trichoderma* spp. como bioestimulantes en el crecimiento de tomate (*Solanum lycopersicum*), con el fin de promover prácticas agrícolas sostenibles y mejorar el rendimiento del cultivo.

6.2 Objetivos Específicos

1. Aislar cepas nativas de *Bacillus* spp. y *Trichoderma* spp. y evaluar su efecto bioestimulante en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) bajo condiciones controladas.
2. Determinar la influencia de las cepas de *Bacillus* y *Trichoderma* en la absorción de nutrientes y el estado nutricional del cultivo.
3. Comparar los resultados obtenidos entre las diferentes cepas de *Bacillus* y *Trichoderma*.

7. HIPÓTESIS

La utilización de cepas de *Bacillus* spp. y *Trichoderma* spp. aisladas de solanáceas en el norte de Sinaloa estimulará el crecimiento en plantas de tomate.

8. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿En qué porcentaje estimulará el crecimiento de las plantas de tomate las cepas aisladas de *Bacillus* spp? y *Trichoderma* spp.?

9. MARCO TEÓRICO

Importancia del cultivo de tomate

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es uno de los cultivos hortícolas más importantes a nivel mundial debido a su alta demanda en fresco y en la industria. Su producción está ampliamente distribuida en diversas regiones climáticas, lo que ha permitido el desarrollo de tecnologías de cultivo tanto en campo abierto como en agricultura protegida.

Desde el punto de vista nutricional, el tomate es una fuente importante de vitaminas A, C y E, así como de compuestos antioxidantes como el licopeno, flavonoides y carotenoides. Estos compuestos contribuyen a la prevención de enfermedades crónicas, lo que incrementa su valor en la dieta humana.

Problemática del uso de fertilizantes químicos

El modelo agrícola convencional ha dependido en gran medida del uso de fertilizantes sintéticos para maximizar los rendimientos. Sin embargo, el uso excesivo de estos insumos ha generado problemas como la degradación del suelo, disminución de la biodiversidad microbiana y contaminación ambiental.

En cultivos como el tomate, los requerimientos nutricionales son elevados, especialmente de nitrógeno, fósforo y potasio. Esto ha llevado a una aplicación intensiva de fertilizantes, muchas veces sin considerar la eficiencia en su uso, lo que provoca pérdidas por lixiviación y volatilización.

Bioestimulantes

Los bioestimulantes son productos que se obtienen de microorganismos y compuestos naturales, los cuales se utilizan en las plantas con el fin de aumentar su crecimiento, rendimiento y resistencia a estreses abióticos. Las especies de *Bacillus*, *Trichoderma* son algunos de los bioestimulantes que se han estudiado y empleado con mayor frecuencia. Cada uno proporciona ventajas exclusivas para la agricultura sostenible (Jardin, 2015).

Los bioestimulantes se han posicionado como una alternativa viable para incrementar la eficiencia productiva y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Estos insumos, compuestos por sustancias y microorganismos, pueden aplicarse a plantas, suelos o semillas para favorecer el rendimiento de los cultivos, mejorar la calidad de los productos, aumentar la tolerancia frente a estreses bióticos y abióticos, y optimizar el aprovechamiento de nutrientes. A diferencia de los fertilizantes convencionales, los beneficios de los bioestimulantes no están asociados a su aporte nutricional, sino a su capacidad para regular procesos metabólicos en las plantas (Rouphael et al., 2020).

En los últimos años, el concepto de bioestimulante establece que son productos actúan independientemente de su contenido de nutrientes, estimulando procesos fisiológicos como la absorción de nutrimentos, la eficiencia en el uso del nitrógeno, la tolerancia al estrés abiótico y la calidad del cultivo (Rouphael & Colla, 2020). Esta definición ha permitido diferenciar claramente los bioestimulantes de los fertilizantes y plaguicidas, posicionándolos como herramientas complementarias en los esquemas de manejo integrado.

Entre los bioestimulantes están los hongos del género *Trichoderma* y bacterias rizosféricas como *Bacillus* que son promotoras del crecimiento vegetal (PGPM, por sus siglas en inglés). Estos microorganismos establecen interacciones benéficas con las raíces, generando efectos positivos directos e indirectos. Los efectos directos incluyen la producción de fitohormonas, la fijación biológica de nitrógeno y la solubilización de fosfatos, mientras que los efectos indirectos comprenden la inhibición de fitopatógenos y la inducción de resistencia sistémica (Backer et al., 2018).

Trichoderma

Uno de los principales mecanismos mediante los cuales *Trichoderma* promueve el crecimiento vegetal es la producción de fitohormonas, particularmente auxinas como el ácido indolacético (IAA). Este compuesto puede ser sintetizado por *Trichoderma* a partir de precursores como el triptófano, a través de rutas biosintéticas similares a las presentes en las plantas. Además del IAA, se han identificado otros metabolitos con actividad auxínica, como el indol-3-acetaldehído (IAAld) y el indol-3-etanol (IEt). La presencia de estas auxinas en la rizosfera influye directamente en la morfología radicular, promoviendo el incremento en la longitud de la raíz, el número de raíces laterales y la densidad de pelos radicales.

El IAA producido por *Trichoderma* actúa como una señal molecular clave que induce modificaciones en la arquitectura del sistema radicular (RSA), incluyendo una mayor ramificación, formación de raíces adventicias, elongación de la raíz principal y aumento en la densidad de pelos radicales. No obstante, los beneficios de *Trichoderma* no se limitan al desarrollo radicular, ya que también se ha reportado un incremento en la eficiencia fotosintética y la activación de mecanismos de defensa sistémica en las plantas, mediante la inducción de hormonas como el ácido jasmónico, el ácido salicílico y el etileno (Gupta, 2021).

En el cultivo de tomate, la inoculación con cepas de *Trichoderma* ha mostrado incrementos significativos en la biomasa aérea y radical, así como una reducción en la incidencia de enfermedades como la marchitez vascular causada por *Fusarium oxysporum*. Estos efectos combinados demuestran que este no solo actúa como antagonista de patógenos, sino también como modulador del metabolismo vegetal, favoreciendo la productividad del cultivo (Hermosa et al., 2012).

Bacillus

El *bacillus* es un tipo de bacteria que ayuda a las plantas a crecer. Esta bacteria influye de manera positiva en el desarrollo de las plantas de varias maneras. Una de las cosas que hace es producir sustancias que ayudan a las plantas a crecer, como las auxinas. Las auxinas son como hormonas para las plantas. Una de las auxinas más importantes es el ácido indolacético, que se abrevia como IAA. El *bacillus* hace el ácido indolacético a partir de otras sustancias, como el triptófano. Las señales de los microbios pueden cambiar la forma de la raíz. Esto sucede porque estas señales estimulan el crecimiento de la raíz principal, aumentan el número de raíces pequeñas que salen de la raíz principal y hacen que haya más pelos en la raíz. Esto ayuda a que la planta explore mejor el suelo (Vacheron et al., 2013).

Además de hacer que las plantas produzcan IAA, las bacterias del tipo *Bacillus* pueden producir otras sustancias que ayudan a regular el crecimiento de las plantas. Estas sustancias ayudan a que las raíces funcionen mejor y absorban más agua y nutrientes del suelo.

Las bacterias *Bacillus* spp. ayudan a las plantas a crecer de varias maneras. Una de ellas es mejorando la nutrición de las plantas. Estas bacterias pueden hacer que el fósforo sea más fácil de absorber para las plantas. También pueden convertir el nitrógeno en una forma que las plantas puedan utilizar. Además, producen sustancias que ayudan a las plantas a absorber el hierro que necesitan. Y producen enzimas y compuestos que evitan que los patógenos del suelo dañen a las plantas. Asimismo, *Bacillus* spp. es capaz de activar respuestas de resistencia sistémica en las plantas mediante la inducción de rutas hormonales como las del ácido jasmónico, ácido salicílico y etileno, fortaleciendo su tolerancia ante estreses bióticos y abióticos. Estos mecanismos combinados posicionan a *Bacillus* como un bioestimulante eficaz para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los cultivos (Kloepper et al., 2004).ç

En tomate, la aplicación de cepas de *Bacillus* ha mostrado reducciones significativas en enfermedades radiculares y aumentos en parámetros productivos como altura de planta, peso seco y rendimiento de fruto, evidenciando su potencial como componente clave en programas de manejo integrado de cultivos (Ongena & Jacques, 2008).

Interacción planta-microorganismo y efecto bioestimulante

La interacción entre las plantas y los microorganismos benéficos presentes en la rizósfera constituye un proceso complejo que involucra señales químicas, intercambio de nutrientes y activación de respuestas fisiológicas. Los microorganismos como *Trichoderma* spp. y *Bacillus* spp. pueden establecer relaciones simbióticas o asociativas con las raíces, promoviendo cambios en la arquitectura radicular que favorecen una mayor exploración del suelo.

Uno de los principales mecanismos mediante los cuales estos microorganismos ejercen su efecto bioestimulante es la producción de metabolitos secundarios, incluyendo fitohormonas como auxinas, giberelinas y citoquininas. Estas sustancias regulan procesos clave en el desarrollo vegetal, como la elongación celular, la división celular y la formación de raíces laterales.

Asimismo, estos microorganismos pueden activar respuestas de defensa en las plantas a través de la inducción de resistencia sistémica, lo que permite a las plantas responder de manera más eficiente ante la presencia de patógenos. Este fenómeno no solo mejora la sanidad del cultivo, sino que también contribuye indirectamente al crecimiento al reducir el daño causado por enfermedades.

Otro aspecto relevante es la capacidad de estos microorganismos para mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes, ya sea mediante la solubilización de compuestos minerales o la mineralización de materia orgánica. Esto resulta en una mayor disponibilidad de nutrientes esenciales para la planta, lo que se traduce en un mejor crecimiento y desarrollo.

10. METODOLOGÍA

Localización del estudio

El trabajo se llevó a cabo en condiciones de laboratorio e invernadero en el centro e investigación para el desarrollo integral regional de Sinaloa (CIIDIR SINALOA) ubicado en Guasave, Sinaloa.

Muestreo de raíces de plantas para el aislamiento de *Bacillus* y *Trichoderma*

Se realizaron muestreos en el municipio de Guasave obteniendo muestras de suelo para el aislamiento, estas muestras fueron de la rizosfera de Solanáceas, tomate, tomatillo, chile, papa y cebolla, una vez colectadas las muestras de embolsaron y etiquetaron para posteriormente llevarse al laboratorio de nutrición vegetal del CIIDIR-Sinaloa donde fueron secadas bajo la sombra a temperatura ambiente.

El aislamiento de *Bacillus* spp. se realizó mediante la técnica descrita por Ohba y Aizawa (1986) y para los aislados de *Trichoderma* spp. se obtuvieron mediante la técnica de Papavizas y Davey (1959), una vez obtenidas las muestras se reprodujeron en el laboratorio de nutrición vegetal, para *Bacillus* se hizo en medio LB en agitación por 24hr y para *Trichoderma* se reprodujeron en sustrato arroz estéril.

Trabajo de invernadero

El trabajo experimental se realizó en un invernadero cerrado de medidas 13 x 13 metros cubierto con malla sombra antiafido ubicado en el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) Unidad Sinaloa y el riego se realizó utilizando agua de un pozo del mismo centro.

Una vez aisladas las cepas de *Bacillus* y *Trichoderma* se llevó a cabo un experimento con una duración de 55 días para conocer su efectividad como promotoras de crecimiento utilizando el híbrido comercial SV8579TE de Bayer®.

Diseño experimental

Se evaluaron 5 cepas de *Bacillus*, 5 cepas de *Trichoderma*, un testigo con agua y otro con fertilización sintética, se tenían 4 repeticiones por tratamiento, se utilizaron macetas de 3 litros teniendo dos plantas por maceta con suelo como sustrato, la siembra se realizó de manera directa y se aplicaron los tratamientos a los 15, 30 y 45 días después de la siembra.

Variables a evaluar

Las variables evaluadas fueron: altura de planta, grosor de tallo, volumen de raíz y peso seco de la planta y concentración nutrimental.

Altura de planta y grosor de tallo: La altura de planta se realizó con una regla graduada tomando todo el largo de la planta estirada y el grosor de tallo con calibrador vernier.

Volumen de raíz y peso seco de la planta: Se recolectó el follaje tomando las muestras en bolsas de papel, las raíces fueron lavadas con agua hasta eliminar todo el sustrato de la maceta y se limpiaron individualmente para tomar su volumen por diferencia de volumen con una probeta graduada con agua, una vez tomado su volumen las muestras de raíces y follaje se secaron en un horno a 72°C por 72 horas, una vez secas se pesaron en una balanza granataria digital marca Ohaus.

Análisis nutrimental de la planta: Para conocer la asimilación de nutrientes de los diferentes tratamientos se hará un análisis de la parte foliar y raíz, se tomaron las muestras y se midieron

las concentraciones de nutrientes como el Nitrógeno total, Fosforo total, Potasio, Hierro, Zinc, Calcio, Zinc, Cobre y Magnesio.

Determinación de Nitrógeno Total.

El primer paso para la determinación de Nitrógeno fue hacer una digestión húmeda en las muestras y se realizó la determinación por el Método Kjeldahl. La digestión húmeda para este nutrimento consiste en pesar 0.1 g de muestra de hoja seca y molida; el material se colocó en un matraz Kjeldahl y luego se adiciono 1.5 mL de la mezcla de ácidos sulfúrico-salicílico. Se mezclaron los reactivos junto con la muestra, para homogenizar el material a digerir y se dejó reposar por 24 h. Después se adiciono 0.2 g de la mezcla de sulfatos (Na_2SO_4 , selenio metálico y CuSO_4) y se colocó en el digestor, se calentó ligeramente a una temperatura controlada por 5 min; posteriormente, se aumentó la temperatura hasta observar el vire de color en la muestra de negro a verde oscuro (temperatura no mayor a 360°C). Una vez que la solución tenga una coloración verde clara (aspecto acuoso); se continuó calentando por 1 h más hasta obtener un volumen aproximado de 3 mL. Al finalizar la digestión se dejó enfriar las muestras digeridas y se agregaran 10 mL de agua destilada.

La solución digerida, se pasó al equipo de destilación, se adicionarán 10 mL de NaOH al 50% y se empezó el calentamiento. Al destilado se le agregaron 20 mL de solución de ácido bórico al 4% más 0.2 mL (3-5 gotas) del indicador verde de bromocresol-rojo de metilo, hasta alcanzar un volumen aproximado de 50 mL a la salida del refrigerante. Posteriormente se tituló cada muestra con la solución de H_2SO_4 al 0.05 N, hasta que se tuvo un vire de color a levemente rosado. Al mismo tiempo se realizó una titulación a una muestra blanco, anotando los mL gastados en cada muestra para realizar los cálculos correspondientes. Por último, para calcular el porcentaje se utilizó la siguiente formula:

$$\%N_{total} = (mL \text{ H}_2\text{SO}_4)(N \text{ H}_2\text{SO}_4) \left(\frac{1.4}{0.1g \text{ de muestra}} \right) \quad N \text{ H}_2\text{SO}_4 = \text{Normalidad H}_2\text{SO}_4$$

Determinación de Fósforo.

Se pasó a una alícuota de 1.0 mL del filtrado a un matraz volumétrico de 25 mL, mediante el método de Vanadato-Molibdato amarillo. Posteriormente se agregaron 0.5 mL de ácido nítrico (1:2 de agua destilada), 0.5 mL de solución de vanadato de amonio y 0.5 mL de solución de molibdato de amonio. Una vez agregados los reactivos a la solución de filtrado, se aforó con agua destilada a la marca de 25 mL, se agitó y se dejó reposar por 30 min. Al transcurrir ese tiempo, la solución se pasó a tubos de colorímetro y se tomó la absorbancia en el espectrofotómetro de luz UV visible a 470 nm.

Determinación de Potasio.

Los materiales filtrados obtenidos mediante la digestión húmeda para fósforo, también se utilizó para la determinación de potasio. Para ello, se tomó 1 mL de la solución a matraces volumétricos de 50 mL y fueron aforados con agua destilada. De esta solución se tomó directamente la lectura de las muestras en porcentaje de transmitancia.

Se utilizó el método de emisión de llama-flamometría. Previo a la lectura el equipo de flamometría se ajustó con las curvas de calibración 5, 15, 20, 25 y 30 ppm con longitudes de onda de 766.5 nm. Los cálculos se hicieron en base a la curva de calibración obtenida tomando en cuenta la siguiente fórmula:

$$\% K = \frac{(Lectura\ de\ transmitancia)(Vol.\ Digestion)(Vol.\ Dilusion)(100)}{(Pendiente)(Peso\ de\ la\ muestra\ (g))(Alícuota)}$$

Determinación de Calcio y Magnesio

A partir de la solución obtenida después de la digestión para fósforo, se colocaron alícuotas de 1 mL en matraces volumétricos de 25 mL y para diluirse fueron aforados con agua destilada. De esta misma, se realizó una segunda dilución, la cual consiste en colocar alícuotas de 1 mL en matraces volumétricos de 10 mL, a los cuales se le agregó 1 mL del reactivo óxido de lantano y se llevó al volumen final con agua destilada. Serán bien mezcladas y después se hicieron los ajustes correspondientes al espectrofotómetro de absorción atómica (Spectr AA, 50B, marca Varian) tomando en cuenta la escala de absorbancia. Los cálculos se hicieron mediante la siguiente fórmula:

$$\% Ca, Mg = \frac{(Absorbancia)(Vol. Digestion)(Vol. Dilucion)(100)}{(Pendiente)(Peso de la muestra(gr))(Alícuota)}$$

Determinación de fierro, manganeso, zinc y cobre.

De la solución anterior también, proveniente de la digestión húmeda realizada para la determinación del fósforo, ya filtrada se tomó directamente (sin realizar diluciones), las lecturas en el espectrofotómetro de absorción atómica, previamente se utilizó una curva de calibración con las concentraciones siguientes: para Fierro (Fe) se utilizó de 1-10 ppm, Manganeso (Mn) 1-10 ppm, Cobre (Cu) 1-5 ppm y para Zinc (Zn) se usó la concentración de 0.1-1.3 ppm. Los cálculos se hicieron mediante las curvas de calibración, utilizando un factor obtenido de la pendiente, considerando siempre las diluciones hechas durante la determinación de cada micronutriente, y se obtuvieron los resultados en base a la siguiente fórmula:

$$\% Fe, Mn, Cu y Zn = \frac{(Absorbancia)(Vol. digestion)(100)}{(Pendiente)(Peso de la muestra(gr))(Alícuota)}$$

11. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aislamiento de cepas de *Trichoderma* y *Bacillus*

Se obtuvieron 5 cepas de *Trichoderma* y 4 de *Bacillus* en suelos de cultivos de tomate, tomatillo, chile, papa y cebolla de los muestreos realizados. Donde se evaluó una cepa de *Bacillus* de la colección del laboratorio de nutrición vegetal del CIIDIR-Sinaloa las cuales se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Descripción de las cepas de *Trichoderma* y *Bacillus* aisladas en cultivos del norte de Sinaloa

Cepas <i>Trichoderma</i>	Cultivo de aislamiento	Cepas <i>Bacillus</i>	Cultivo de aislamiento
GTT2A	Tomate	GMM2L	Maiz
EfTT2F	Tomate	AhPB36	Papa
GTT44	Tomate	GCB26	Cebolla
GPT40	Tomate	AhPB40	Papa
GTilloT18	Tomatillo	GTB1	Tomate

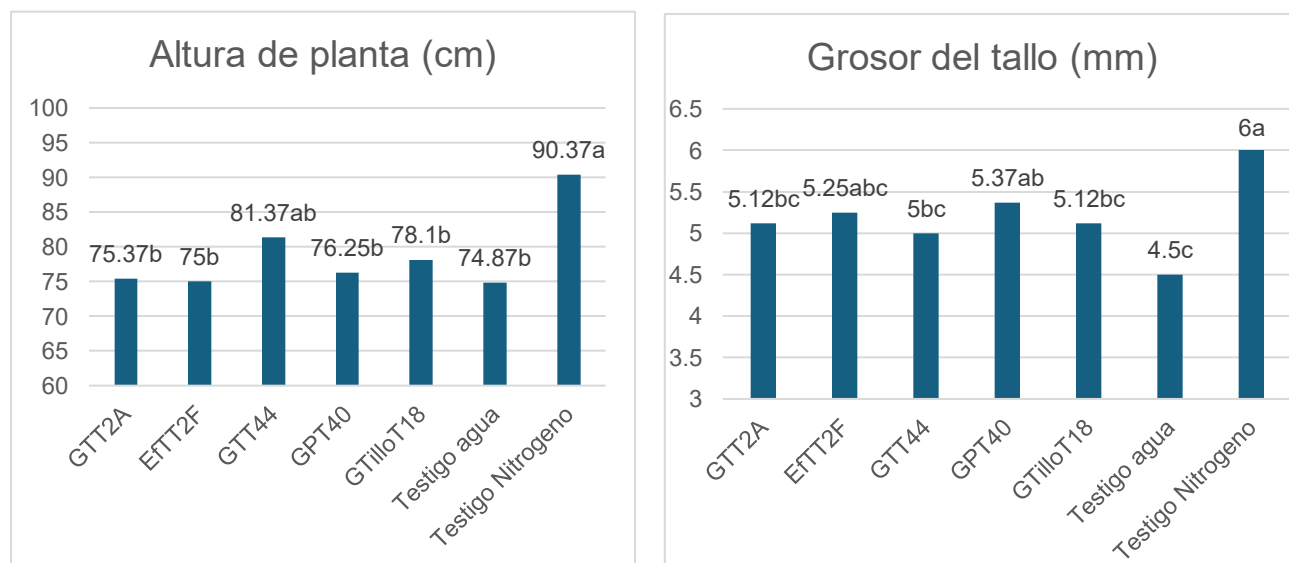
Variables evaluadas de las cepas de *Trichoderma*

Altura de planta y grosor de tallo

La altura de planta fue mayor en los tratamientos con *Trichoderma* en comparación al control con agua, resaltando la cepa GTT4. Esto nos indica un efecto positivo sobre la altura de planta. Aun así, el tratamiento que presentó una mayor altura fue el control con fertilización sintética el cual mostró diferencia estadística con todas las cepas a excepción de la GTT44.

Se vieron unos pequeños aumentos en el grosor del tallo al usar *Trichoderma*, comparado con el testigo agua.

Los incrementos obtenidos en la altura de planta y grosor de tallo en los tratamientos con *Trichoderma* concuerdan con lo reportado por Contreras et al. (2009), quienes también obtuvieron incrementos significativos en estas variables, debido a la producción de fitohormonas como auxinas.



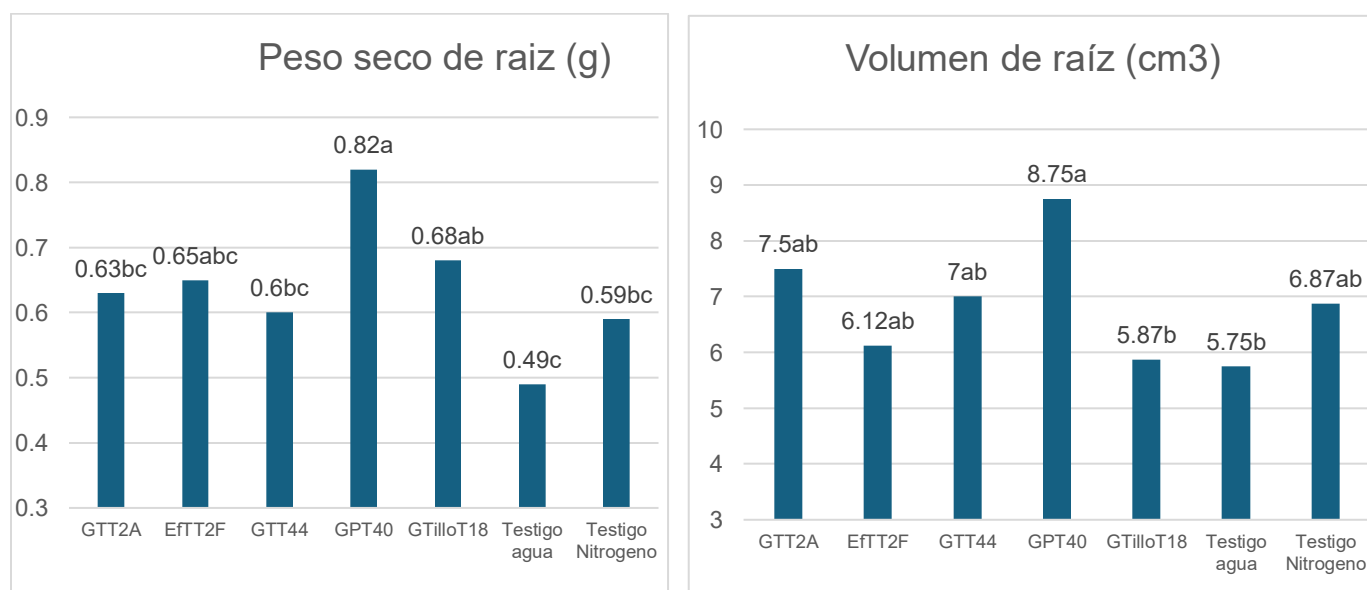
Medias con letras iguales en cada columna no presentan diferencia estadística significativa, según Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

Figura 1. Descripción de resultados de altura de planta y grosor de tallo en el experimento para evaluar la capacidad bioestimulantes de las cepas de *Trichoderma* aisladas.

Volumen y peso de raíz

La inoculación con *Trichoderma* aumento el peso seco de la raíz, con la cepa GPT40 fue la que tuvo un mayor desarrollo presentando diferencia estadística con los demás tratamientos a excepción de la cepa EfTT2 y GtilloT18, superando ambos controles. Lo que sugiere una estimulación en el desarrollo de las raíces. Las demás cepas también tuvieron aumentos, pero no se compararon con la cepa GPT40.

En casi todas las cepas de *Trichoderma*, el volumen de raíz aumento, donde GPT40 obtuvo el valor más alto el cual no tuvo diferencia estadística con las cepas GtilloT18 y los testigos. Este aumento nos indica que tiene una mayor exploración radicular lo que aumenta el crecimiento. Por otro lado, todas las cepas superaron al control con fertilizantes sintéticos.

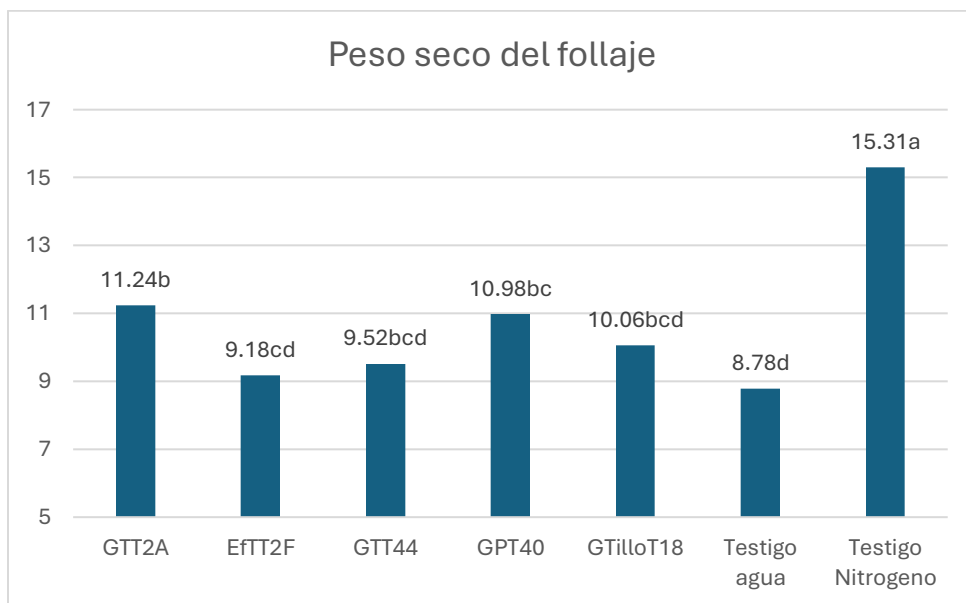


Medias con letras iguales en cada columna no presentan diferencia estadística significativa, según Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

Figura 2. Descripción de resultados de volumen y peso seco de raíz en el experimento para evaluar la capacidad bioestimulantes de las cepas de *Trichoderma* aisladas.

Peso seco de follaje

Las cepas de *Trichoderma*, aumentaron el peso seco de las plantas comparado con el control agua, donde el tratamiento con mayor desarrollo fue el testigo nitrógeno mostrando diferencia estadística con los demás tratamientos, las cepas GTT2A y GPT40 mostraron diferencia estadística con las demás cepas. Estos resultados nos indican un efecto beneficioso en el crecimiento foliar de las plantas, el control con fertilización sintética tuvo el peso seco total más elevado esto debido a que contenía los nutrientes necesarios.



Medias con letras iguales en cada columna no presentan diferencia estadística significativa, según Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

Figura 3. Descripción de resultados de peso seco de follaje en el experimento para evaluar la capacidad bioestimulantes de las cepas de *Trichoderma* aisladas.

Análisis nutrimental del follaje

En la absorción de nutrientes el tratamiento que presento una mayor concentración de estos fue el testigo nitrógeno teniendo diferencia estadística en la mayoría de los nutrientes con los demás tratamientos, las cepas GTT2A y EFTT2F mostraron un aumento en la absorción nutrimental comparado con el testigo agua lo que nos indica que la inoculación de estas cepas estimula la captación nutrimental. El incremento en la concentración de nutrientes en el follaje como N, P, K, Fe y Zn concuerda con lo reportado por Altomare et al. (1999) y Zhang et al.

(2015), quienes demostraron la capacidad de *Trichoderma* para solubilizar nutrientes minerales y mejorar su disponibilidad para la planta.

Cuadro 2. Descripción de resultados del análisis nutrimental del follaje en el experimento para evaluar la capacidad bioestimulantes de las cepas de *Trichoderma* aisladas.

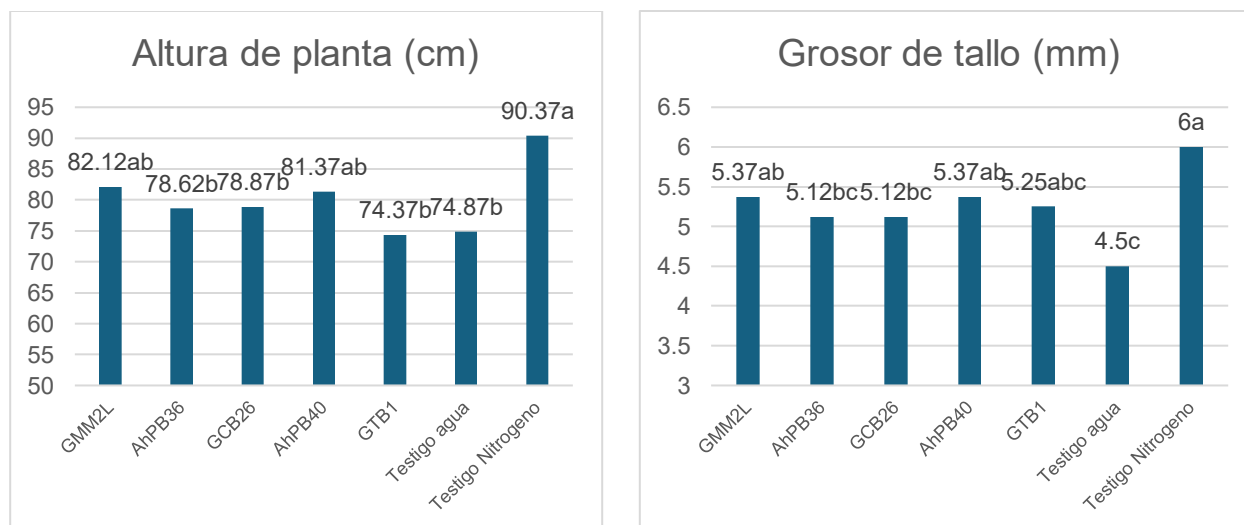
Trat.	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm
GTT2A	3.16b	0.69ab	2.44b	1.80b	0.26b	49.18b	40.20cd	50.69bc	63.22b
EfTT2F	3.23b	0.65ab	2.20b	1.66b	0.26b	46.61bc	56.05abc	48.88c	49.78b
GTT44	2.20d	0.67ab	2.12b	1.62b	0.24b	35.34d	70.51a	47.43c	67.58b
GPT40	2.27d	0.50b	2.52b	1.75b	0.27b	48.15bc	44.13bcd	53.95b	69.76b
GTilloT18	2.34cd	0.63ab	2.17b	1.58b	0.27b	46.10bc	61.38ab	43.09c	55.23b
Testigo agua	2.90bc	0.54b	2.06b	1.79b	0.31b	38.42bcd	38.43d	55.04b	62.13b
Testigo Nit.	4.79a	0.82a	3.23a	2.25a	0.51a	61.99a	61.76a	86.54a	151.16a

Medias con letras iguales en cada columna no presentan diferencia estadística significativa, según Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

Variables evaluadas en las cepas de *Bacillus*

Altura de planta y grosor de tallo

Las cepas de *Bacillus* lograron un incremento en la altura de la planta, notándose B1 y B4 como las mejores, se notó un desarrollo mayor. Aun así, el tratamiento con fertilización sintética demostró tener la mayor altura de planta.



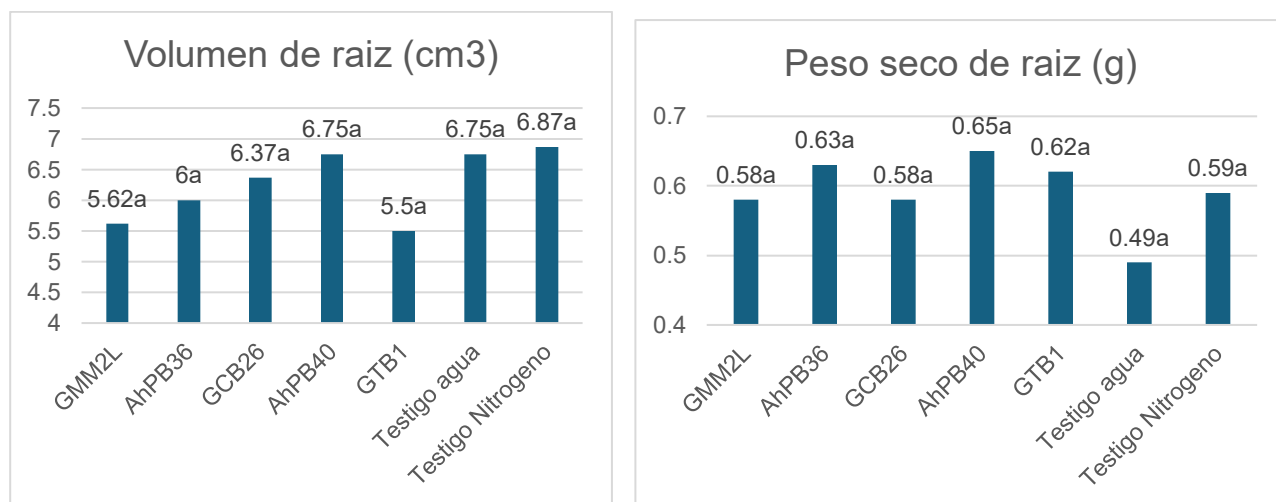
Medias con letras iguales en cada columna no presentan diferencia estadística significativa, según Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

Figura 4. Descripción de resultados de altura de planta y grosor de tallo en el experimento para evaluar la capacidad bioestimulantes de las cepas de *Bacillus* aisladas.

Volumen y peso seco de raíz

Las cepas *Bacillus* presentaron valores de peso seco de raíz bastantes parecidos. La cepa AhPB40 tuvo el valor más alto, pero no hubo diferencia estadística entre ninguna de las cepas. Esto señala un impacto leve, pero beneficioso sobre la biomasa de las raíces.

En *Bacillus*, la cepa AhPB40 presento el mayor volumen de raíz, seguida de GCB26, pero no hubo diferencia estadística entre ninguna de las cepas ni los testigos. En conjunto, los tratamientos mostraron valores por arriba del control con agua, aunque cerca del control con fertilizantes sintéticos. Esto nos indica un leve aumento del desarrollo de la raíz. Wagi y Ahmed (2019) analizaron la capacidad de dos cepas de *Bacillus*, *B. cereus* (So3II) y *B. subtilis* (Mt3b), para sintetizar ácido indolacético (AIA), obteniendo concentraciones de 35.8 y 36.6 $\mu\text{g mL}^{-1}$, respectivamente, lo que evidencia la producción de esta fitohormona, directamente relacionada con el crecimiento y desarrollo del sistema radicular.

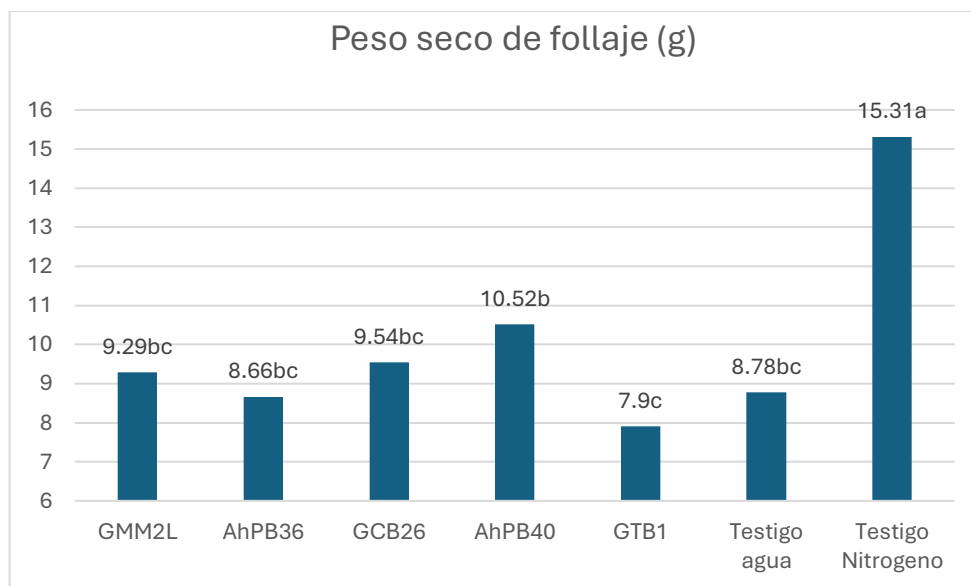


Medias con letras iguales en cada columna no presentan diferencia estadística significativa, según Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

Figura 5. Descripción de resultados de volumen y peso seco de raíz en el experimento para evaluar la capacidad bioestimulantes de las cepas de *Bacillus* aisladas.

Peso seco de follaje

En las cepas *Bacillus*, el tratamiento que presento mayor peso seco de follaje fue el testigo nitrógeno teniendo diferencia estadística con todas las cepas, a su vez las cepas AhPB40 mostro un aumento en el peso seco de follaje comparado con el testigo agua, por otro lado la cepa GTB1 mostro una inhibición en el crecimiento de la planta dando valores por debajo del control, los resultados coinciden con lo evaluado por Azarmi et al. (2011) que probaron el efecto de la inoculación de semillas de tomate con tres cepas de *Trichoderma* sobre el crecimiento de plántulas, observando que dos de ellas, *T. harzianum* T969 y *T. harzianum* 447, promovieron un incremento aproximado del 20% en el peso seco de la planta. Estos resultados son coincidentes con el crecimiento obtenido en el experimento.



Medias con letras iguales en cada columna no presentan diferencia estadística significativa, según Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

Figura 6. Descripción de resultados peso seco de follaje en el experimento para evaluar la capacidad bioestimulantes de las cepas de *Bacillus* aisladas.

Análisis nutrimental del follaje

En la absorción de nutrientes el tratamiento que presento una mayor concentración de estos fue el testigo nitrógeno teniendo diferencia estadística en la mayoría de los nutrientes con los demás tratamientos, por otro lado las cepas GMM2L y AhPB36 mostraron un aumento en la absorción nutrimental principalmente en Nitrógeno y Fosforo comparado con el testigo agua mostrando un aumento significativo en la captación de nutrientes comparado con el testigo agua.

Cuadro 3. Descripción de resultados del análisis nutrimental del follaje en el experimento para evaluar la capacidad bioestimulantes de las cepas de *Bacillus* aisladas

Cepa	N%	P %	K %	Ca %	Mg %	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm

GMM2L	3.71b	0.51b	2.28bc	1.91a	0.39a	27.66d	68.10a	47.43cd	68.67b
AhPB36	3.43bc	0.69bc	2.69b	1.87a	0.38a	39.95b	58.72a	42.72cd	63.22b
GCB26	2.94c	0.69bc	2.28bc	1.98a	0.34a	30.74cd	65.06a	68.07b	75.58b
AhPB40	3.11bc	0.66bc	2.25bc	1.87a	0.33a	30.74cd	53.90ab	45.98cd	59.23b
GTB1	3.23bc	0.72bc	2.52bc	1.95a	0.35a	34.32bcd	55.55ab	55.04c	54.87b
Testigo agua	2.90c	0.54b	2.06c	1.79a	0.31a	38.42bc	38.43b	38.38d	72.31b
Testigo Nitrógeno	4.79a	0.8a	3.23a	2.04a	0.51a	61.99a	61.76a	86.54a	151.16a

Medias con letras iguales en cada columna no presentan diferencia estadística significativa, según Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

12. CONCLUSIONES

- Las cepas de *Trichoderma* y *Bacillus* aisladas lograron aumentar el crecimiento en plantas de tomate, aunque no se compararon con la fertilización sintética son una buena opción como complemento a los cultivos.
- Las cepas de *Bacillus* AhPB40 y GMM2L y las cepas de *Trichoderma* GTT2A y GTP40 lograron aumentar el crecimiento y la captación de nutrientes en las plantas de tomate, aunque no se compararon con la fertilización sintética son una buena opción como complemento en el cultivo de tomate.
- La cepa GTB1 inhibió el desarrollo de las plantas de tomate lo que nos indica que no todas las cepas tienen la capacidad de estimular el crecimiento en las plantas y se requieren evaluar antes de su uso agrícola.

13. RECOMENDACIONES

- Con resultados obtenidos, se encontraron cepas bastante prometedoras de *Trichoderma* (GTT2A y GTP40) y *Bacillus* (AhPB40 y GMM2L) con potencial bioestimulante en el crecimiento de tomate en invernadero por lo que es necesario realizar evaluaciones de interacción entre estas dos cepas en invernadero y posteriormente en campo, con el fin de mirar como se comportan en condiciones reales, también se recomienda identificar molecularmente y analizar la producción de metabolitos asociados con la promoción de crecimiento, también para trabajos futuros seria bueno evaluarlo contra patógenos para conocer si tienen la capacidad de antagonistas.

14. BIBLIOGRAFÍA

- Altomare, C., Norvell, W. A., Björkman, T. H. O. M. A. S., & Harman, G. (1999). Solubilization of phosphates and micronutrients by the plant-growth-promoting and biocontrol fungus *Trichoderma harzianum* Rifai 1295-22. *Applied and environmental microbiology*, 65(7), 2926-2933.
- Azarmi, R., Hajieghrari, B., & Giglou, A. (2011). Effect of *Trichoderma* isolates on tomato seedling growth response and nutrient uptake. *African journal of Biotechnology*, 10(31), 5850-5855.
- Backer, R., Rokem, J. S., Ilangumaran, G., Lamont, J., Praslickova, D., Ricci, E., Subramanian, S., & Smith, D. L. (2018). Plant growth-promoting rhizobacteria: Context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1473. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01473>
- Contreras-Cornejo, H. A., Macías-Rodríguez, L., Cortés-Penagos, C., & López-Bucio, J. (2009). *Trichoderma virens*, a plant beneficial fungus, enhances biomass production and promotes lateral root growth through an auxin-dependent mechanism in *Arabidopsis*. *Plant physiology*, 149(3), 1579-1592.
- du Jardin, P. (2015) Plants Biostimulants: Definition, Concept, Main Categories and Regulations. *Scientia Horticultura*, 196, 3-14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- Gupta, N. (2021). *Trichoderma* as Biostimulant: Factors Responsible for Plant Growth Promotion. In *Trichoderma: Agricultural Applications and Beyond* (pp. 287-309). Cham: Springer International Publishing.
- Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I., & Lorito, M. (2004). *Trichoderma* species—Opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, 2, 43–56.
- Hermosa, R., Viterbo, A., Chet, I., & Monte, E. (2012). Plant-beneficial effects of *Trichoderma* and of its genes. *Microbiology*, 158(1), 17–25. <https://doi.org/10.1099/mic.0.052274-0>

- Kloepper, J. W., Ryu, C. M., & Zhang, S. (2004). Induced systemic resistance and promotion of plant growth by *Bacillus* spp. *Phytopathology*, 94(11), 1259-1266.
- Li, R. X., Cai, F., Pang, G., Shen, Q. R., Li, R., & Chen, W. (2015). Solubilisation of phosphate and micronutrients by *Trichoderma harzianum* and its relationship with the promotion of tomato plant growth. *PloS one*, 10(6), e0130081.
- Ohba, M., & Aizawa, K. (1986). Insect toxicity of *Bacillus thuringiensis* isolated from soils of Japan. *Journal of Invertebrate Pathology*, 47(1), 12-20.
- Ongena, M., & Jacques, P. (2008). *Bacillus* lipopeptides: Versatile weapons for plant disease biocontrol. *Trends in Microbiology*, 16(3), 115–125.
- Papavizas G., y Davey C. 1959. Evaluation of various media and antimicrobial agents for isolation of soil fungi. *Soil Science* 88: 112-117
- Rouphael Y and Colla G (2020) Editorial: Biostimulants in Agriculture. *Front. Plant Sci.* 11:40. doi: 10.3389/fpls.2020.00040
- Shores, M., Harman, G. E., & Mastouri, F. (2010). Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. *Annual Review of Phytopathology*, 48, 21–43.
- SIAP. (2023). Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Panorama agroalimentario.
- Vacheron, J., Desbrosses, G., Bouffaud, M. L., Touraine, B., Moënné-Loccoz, Y., Muller, D., ... & Prigent-Combaret, C. (2013). Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. *Frontiers in plant science*, 4, 356.
- Wagi S, Ahmed A. 2019 . *Bacillus* spp .: potentes microfactorias de IAA bacteriana .PeerJ 7 : e7258 <https://doi.org/10.7717/peerj.7258>

15. ANEXOS

Anexo 1. Comparación de un tratamiento con cepa de *Bacillus* con el testigo agua.



Anexo 2. Toma de altura de planta al finalizar el bioensayo.



Anexo 3. Plantas de tomate en el bioensayo donde se evaluaron las cepas de *Trichoderma*.



Anexo 4. Comparación de un tratamiento con cepa de *Trichoderma* con el testigo agua.

