



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**EFEECTO DE RIZOBACTERIAS PROMOTORAS DEL
CRECIMIENTO VEGETAL Y ELICITORES SOBRE EL
DESARROLLO VEGETATIVO E INCIDENCIA DE
POTENCIALES PATÓGENOS EN PLÁNTULAS DE
TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) VARIEDAD SAN
PIERRE EN CONDICIONES DE VIVERO**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Requisito parcial para la obtención del título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

Autor: Bruno Miguel Vera Gabino

LA LIBERTAD, agosto de 2026



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**EFEECTO DE RIZOBACTERIAS PROMOTORAS DEL
CRECIMIENTO VEGETAL Y ELICITORES SOBRE EL
DESARROLLO VEGETATIVO E INCIDENCIA DE
POTENCIALES PATÓGENOS EN PLÁNTULAS DE
TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) VARIEDAD SAN
PIERRE EN CONDICIONES DE VIVERO**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Requisito parcial para la obtención del título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

Autor: Bruno Miguel Vera Gabino

Tutor: Blgo. Javier Oswaldo Soto Valenzuela Ph.D.

TRIBUNAL DE GRADO

Trabajo de Integración Curricular presentado por **BRUNO MIGUEL VERA GABINO** como requisito parcial para la obtención del grado de Ingeniero/a Agropecuario de la Carrera de Agropecuaria.

Trabajo de Integración Curricular **APROBADO** el: 11/08/2026



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**VERONICA CRISTINA
ANDRADE YUCAILLA**

Ing. Verónica Andrade Yucailla, Ph.D.
**DIRECTORA DE CARRERA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**LIGIA ARACELI SOLIS
LUCAS**

Ing. Araceli Solís Lucas, Ph.D.
**PROFESORA ESPECIALISTA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



**Javier Oswaldo
Soto Valenzuela**
Time Stamping
Security Data

Blgo. Javier Soto Valenzuela Ph.D.
**PROFESOR TUTOR
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**NADIA ROSAURA
QUEVEDO PINOS**

Ing. Nadia Quevedo Pinos. Ph.D.
**PROFESORA GUÍA DE LA UIC
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Ing. Washington Perero Vera, Mgtr.
ASISTENTE ADMINISTRATIVO



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**WASHINGTON VIDAL
PERERO VERA**

AGRADECIMIENTOS

Quiero empezar agradeciendo a Dios, ya que es la razón principal por la que he logrado llegar hasta aquí. Agradezco enormemente a la Universidad Estatal Península de Santa Elena por hacer de esta etapa académica hacia la profesionalización un camino agradable y consciente, por brindar el espacio adecuado para desenvolverme y sobre todo, por fomentar en mi carrera, en mi aula, en mi entorno, el respeto mutuo con docentes y estudiantes.

Extiendo mi gratitud al biólogo Javier Oswaldo Soto Valenzuela por darme la oportunidad de finalizar la universidad bajo su tutela, y disponer de lo necesario para completar mi trabajo. Le agradezco también por impartir desde las carreras más básicas el interés por el área biotecnológica, y por tratar de enseñar a los estudiantes a ver un poco más allá de los conocimientos teóricos y de las metas a corto plazo. Así mismo, al ingeniero Anthony Perero por su noble predisposición a ayudarme en el laboratorio, siempre interactuando como un compañero más durante el tiempo que allí estuve.

Agradezco a los compañeros allí presentes en el laboratorio, Marcos, Denisse, José, Jordy, y a cualquiera que me haya dado una mano así sea una vez, ya que sin su aportación no hubiera podido culminar mi experimento. Finalmente, agradezco a mis padres Miguel Vera Rodriguez y Vanessa Gabino Tisalema, por su apoyo incondicional, su guía, principalmente personal, y su sustento.

DEDICATORIA

Estoy frente al final de una larga etapa de mi vida, y a decir verdad, no sé lo que me espera al otro lado, todo va a depender de mí y de mi voluntad para afrontar las cosas, y por momentos, no estoy convencido de poder hacerlo. Así que, quiero dedicar este trabajo, y todo lo que he conseguido, en 22 años de vida, a todas las personas importantes de mi vida. Primero y principal, Dios, por darle sentido a mi vida, que de otra forma, no la tendría.

Mis padres, Miguel Vera Rodriguez y Vanessa Gabino Tisalema, han sido la piedra angular de toda mi educación, y entre aciertos y errores, a ellos debo todo lo bueno, lo virtuoso, lo valioso que he hecho y aprendido, lo malo es mío, lo bueno es de ellos, y no podría estar más agradecido. También quiero dedicar este trabajo a mis hermanos, Boris, Marilú y Mishelle, porque yo aprendo de ellos tanto como ellos aprenden de mí, y me hacen ver lo mucho que aún me falta por mejorar.

Quiero dedicar también este trabajo a mis primos, a mis abuelitas, a toda mi familia en general, porque la experiencia de mi vida con ellos, y mi crianza, hacen punto y aparte aquí. Le dedico este trabajo a mi novia, Doménica Drouet Rodriguez, por ser mi mejor amiga, mi motivación para no tirar la toalla, por subirme siempre el ánimo cuando estoy en mis días más bajos. También a Oreó, Lobito y Oliver, mis perritos.

Gratitud para los buenos profesores que tuve, ya que más allá del conocimiento, para mí resultan más valiosos aquellos capaces de subir la moral desde la comprensión y de fomentar el respeto como la base de todas las interacciones. Así mismo, a todos mis compañeros, por ser siempre respetuosos y cordiales, como mi colega Jose Soriano, que hizo de la experiencia universitaria algo más divertido.

Por último, quiero dedicar un apartado especial a una de las pocas pasiones que tengo en la vida, el cine. En las películas encontré motivación, encontré empuje, encontré razones para pensar mejor las cosas y volver a la carga. Necesité ver Supergirl para terminar esta redacción. Siempre he soñado en brindar eso mismo a otras personas, a través de la gran pantalla, con mis propias historias, pero creo que estoy muy lejos de algo así.

Solo espero, en esta nueva etapa, llegar aunque sea a la mitad de lo que las personas importantes esperan de mí, lo que creen que puedo lograr, de lo que han visto, y que yo no puedo ver. Espero encontrar mi vocación, seguirla y no detenerme jamás, y si no, al menos, tener una buena vida, una vida tranquila.

RESUMEN

Ante el impacto ambiental de los fertilizantes sintéticos en la horticultura, surge la necesidad de evaluar alternativas biológicas que promuevan una producción agrícola sostenible. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la inoculación de *Bacillus subtilis* y los elicitores ácido salicílico (AS) y ácido ascórbico (AsA) sobre el desarrollo vegetativo, así como en la incidencia y severidad de patógenos en plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), variedad San Pierre bajo condiciones de vivero. Se emplearon cinco tratamientos con cuatro repeticiones durante 150 días. El ácido ascórbico (T3) presentó la mejor respuesta vegetativa, alcanzando a los 150 días una longitud media de 1385.68 mm, un diámetro de tallo de 8.77 mm y 65 hojas por planta. También registró el mayor valor numérico del índice SPAD (31.71), aunque sin diferencias significativas entre tratamientos. En el componente fitosanitario se observaron estructuras y síntomas compatibles con *Fusarium* y *Oidium*. El ácido salicílico (T2) mantuvo una incidencia de 0 % hasta los 100 días, retrasando la aparición de síntomas, aunque al finalizar el ensayo alcanzó 38 % de incidencia y severidad de nivel 3. La combinación de *B. subtilis* + ácido salicílico (T4) no mostró ventajas consistentes frente a las aplicaciones individuales. Los resultados evidencian respuestas diferenciadas según el tratamiento, destacando el ácido ascórbico en el desarrollo vegetativo y el ácido salicílico en el retraso inicial de la incidencia de síntomas.

Palabras clave: ácido ascórbico, *Bacillus subtilis*, biotecnología, clorofila, *Fusarium*.

ABSTRACT

Given the environmental impact of synthetic fertilizers in horticulture, the need arises to evaluate biological alternatives that promote sustainable agricultural production. The objective of this research was to evaluate the effect of the inoculation of *Bacillus subtilis* and the elicitors salicylic acid (SA) and ascorbic acid (AsA) on vegetative development, as well as on the incidence and severity of pathogens in tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.) variety San Pierre under nursery conditions. Five treatments with four replications were evaluated over a period of 150 days. Ascorbic acid (T3) showed the best vegetative response, reaching, at 150 days, a mean plant height of 1385.68 mm, a stem diameter of 8.77 mm, and 65 leaves per plant. It also recorded the highest numerical SPAD index value (31.71), although no significant differences were found among treatments. Regarding the phytosanitary component, structures and symptoms compatible with *Fusarium* and *Oidium* were observed. Salicylic acid (T2) maintained 0% disease incidence up to 100 days, delaying the onset of symptoms; however, by the end of the trial, it reached 38% incidence and a severity level of 3. The combination of *B. subtilis* + salicylic acid (T4) did not show consistent advantages over the individual applications. The results demonstrate differentiated responses among treatments, with ascorbic acid standing out for vegetative development and salicylic acid for delaying the initial incidence of symptoms.

Keywords: ascorbic acid, *Bacillus subtilis*, biotechnology, chlorophyll, *Fusarium*.

.

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

El presente Trabajo de Integración Curricular titulado **“EFECTO DE RIZOBACTERIAS PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL Y ELICITORES SOBRE EL DESARROLLO VEGETATIVO E INCIDENCIA DE POTENCIALES PATÓGENOS EN PLÁNTULAS DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) VARIEDAD SAN PIERRE EN CONDICIONES DE VIVERO”** y elaborado por **Bruno Miguel Vera Gabino**, declara que la concepción, análisis y resultados son originales y aportan a la actividad científica educativa agropecuaria.

Transferencia de derechos autorales.

"El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena".



Firmado por:
BRUNO MIGUEL VERA GABINO
03/09/2026 20:28:43 -0500



Firma del estudiante

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
Problema Científico	2
Objetivos	2
Objetivo General:.....	2
Objetivos Específicos:	2
Hipótesis.....	2
CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
1.1 Bases teóricas	3
1.1.1 Clasificación taxonómica	3
1.1.2 Generalidades del cultivo	3
1.1.3 Requerimientos climáticos	4
1.1.4 Características morfológicas	4
1.1.5 Fenología del cultivo	4
1.2 Requerimientos nutricionales del tomate	5
1.3 Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR)	5
1.3.1 <i>Bacillus subtilis</i>	6
1.4 Elicitores	6
1.4.1 Ácido Ascórbico.....	7
1.4.2 Ácido salicílico.....	7
1.5 Especies patógenas.....	8
1.5.1 <i>Fusarium</i>	8
1.5.2 <i>Oidium</i>	9
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
2.1 Caracterización del área	10
2.2 Materiales, equipos y reactivos.....	10
2.2.1 Esterilización de materiales.....	10
2.2.2 Material biológico	10
2.2.3 Material de laboratorio	11
2.2.4 Aplicación de elicitores.....	11
2.2.5 Aplicación de PGPR.....	12
2.2.6 Equipos de laboratorio	12
2.2.7 Reactivos para medios de cultivo	12
2.2.8 Registro de temperatura	12
2.3 Tipo de investigación	12
2.4 Diseño de investigación.....	13
2.4.1 Diseño experimental.....	13
2.5 Parámetros evaluados	14

2.5.1 Morfológicos	14
2.5.2 Bioquímicos	14
2.5.3 Incidencia y severidad	14
2.6 Manejo del experimento.....	15
2.7 Análisis estadístico de los resultados.....	15
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	17
3.1 Efectos en los parámetros morfológicos de tomate en condiciones de vivero.	17
3.1.1 Longitud	17
3.1.2 Diámetro del tallo.....	18
3.1.3 Número de hojas.....	20
3.2 Índice de clorofila	21
3.3 Parámetros fitosanitarios.....	22
3.3.1 Incidencia	22
3.3.2 Severidad.....	27
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	29
Conclusiones	29
Recomendaciones	29
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía del cultivo de tomate.	3
Tabla 2. Tratamientos contemplados para la investigación.	13
Tabla 3. Escala de severidad de síntomas en plantas de tomate.....	14
Tabla 4. Número de hojas promedio en plantas de tomate a lo largo de 150 días.....	20
Tabla 5. Porcentaje de incidencia de enfermedades en el cultivo de tomate desde su aparición.....	26
Tabla 6. Severidad de enfermedades en el cultivo de tomate.	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema morfológico del género de hongos <i>Fusarium</i>	8
Figura 2. Esquema morfológico del género de hongos <i>Oidium</i>	9
Figura 3. Curva de crecimiento en altura de plantas de tomate a lo largo de 150 días.....	17
Figura 4. Medias de diámetro del tallo de plántulas de tomate bajo el efecto de PGPR y elicitores evaluados a los 30, 45, 60 y 75 días después de la emergencia.	18
Figura 5. Medias de diámetro del tallo de plántulas de tomate bajo el efecto de PGPR y elicitores evaluados a los 90, 120 y 150 días después de la emergencia.	19
Figura 6. Medias del índice SPAD del cultivo de tomate bajo el efecto de PGPR y elicitores a los 150 días después de la emergencia.	21
Figura 7. Registro de humedad relativa del aire en Santa Elena durante el mes de diciembre. Fuente: INAMHI.....	22
Figura 8. Registro de temperatura en Santa Elena durante el mes de diciembre. Fuente: INAMHI.	23
Figura 9. Registro de humedad relativa del aire en Santa Elena durante el mes de enero. Fuente: INAMHI.....	23
Figura 10. Registro de temperatura del aire en Santa Elena durante el mes de enero. Fuente: INAMHI.....	23
Figura 11. Caracterización microscópica de hongos patógenos compatibles con <i>Fusarium</i> (izquierda) y <i>Oidium</i> (derecha). Microscopio óptico Boeco BM-120, objetivo x10.....	24
Figura 12. Planta sana (izquierda) y planta con indicios de infección por <i>Fusarium</i> (derecha).	25
Figura 13. Clorosis en las hojas basales de la planta propia de infección por <i>Fusarium</i>	25
Figura 14. Manchas redondeadas con esporulación en hojas de tomate.	26

ÍNDICE DE ANEXOS

- Figura 1A. Absorbancia de *Bacillus subtilis* medida por espectrofotometría.
Figura 2A. Siembra de semillas de tomate inoculadas con *Bacillus subtilis*.
Figura 3A. Elicitores utilizados para formulación de soluciones.
Figura 4A. Sustrato esterilizado para el trasplante de las plántulas de tomate.
Figura 5A. Herramientas de medición para largo y diámetro del tallo.
Figura 6A. Inoculación de *Bacillus subtilis* conforme al periodo de 30 días.
Figura 7A. Medios de cultivo esterilizados para siembra de *Bacillus subtilis*.
Figura 8A. Medio LMA recién inoculado con *Bacillus subtilis*.
Figura 9A. Sustrato esterilizado en autoclave.
Figura 10A. ANOVA longitud de plantas de tomate a los 30 días.
Figura 11A. ANOVA longitud de plantas de tomate a los 45 días.
Figura 12A. ANOVA longitud de plantas de tomate a los 60 días.
Figura 13A. ANOVA longitud de plantas de tomate a los 75 días.
Figura 14A. ANOVA longitud de plantas de tomate a los 90 días.
Figura 15A. ANOVA longitud de plantas de tomate a los 120 días.
Figura 16A. ANOVA longitud de plantas de tomate a los 150 días.
Figura 17A. ANOVA grosor de plantas de tomate 30, 45, 75, 90, 120 y 150 días.
Figura 18A. ANOVA SPAD plantas de tomate a los 150 días.

INTRODUCCIÓN

El tomate (*S. lycopersicum* L.) es una de las hortalizas con mayor nivel de producción a nivel global, debido a la gran demanda que presenta su fruto tanto para el consumo directo como para su transformación industrial (Chiquito *et al.*, 2018). Este alimento es una importante fuente de antioxidantes, vitaminas A, C y E, así como de carotenoides, flavonoides, licopeno y compuestos fenólicos (González *et al.*, 2018).

Estas características confieren al tomate un elevado valor comercial, posicionándolo como uno de los cultivos hortícolas más importantes a nivel mundial, siendo responsable de más del 30 % del total de la producción hortícola en el mundo (Zamora *et al.*, 2020), alcanzando un volumen de 110 513 591 toneladas en el año 1999. En 2019 solo la producción en China, a la cabeza en cuanto a rendimiento de tomate se refiere, superó la cifra mundial de aquel año, con 135 millones de toneladas (Cervantes *et al.*, 2024).

En el caso de Ecuador, actualmente se cultivan tomates en una superficie aproximada de 1 691 hectáreas, lo cual representa el 0.2 % del área destinada a cultivos de ciclo corto. Esto se traduce en una cosecha superior a las 55 000 toneladas a nivel nacional, donde la provincia de Chimborazo destaca como la de mayor potencial productivo, concentrando un 40 % del total. Esta producción se lleva a cabo principalmente en Unidades de Producción Agropecuarias (UPAs) con áreas menores a una hectárea, representando el 96 % del total nacional, y se concentran mayormente en las provincias andinas (Guzmán, 2022).

Al igual que muchas otras especies agrícolas, el tomate requiere una nutrición mineral adecuada para expresar su máximo potencial genético. En contraste, una deficiencia en los nutrientes puede tener efectos negativos en la calidad y cantidad del producto cosechado, e incluso llegar a retrasar el ciclo de producción (Alarcon *et al.*, 2020).

Debido al alto nivel de consumo de alimentos por parte de la población mundial, se ha expandido la frontera agrícola, junto con el uso de fertilizantes químicos. Sin embargo, estos insumos además de costosos, causan daños profundos en el ambiente, reflejado en la degradación del suelo, la disminución de la calidad de los alimentos e impactos negativos sobre la salud humana (Chiquito *et al.*, 2018).

Por ello, esta investigación cobra relevancia al proponer alternativas biológicas sostenibles, con la capacidad de mejorar la productividad del cultivo de tomate sin comprometer la salud del suelo ni el ambiente. A mediano plazo, la transferencia de los

resultados a los productores podría favorecer la adopción de prácticas agrícolas más eficientes, sostenibles y ambientalmente responsables.

Problema Científico

¿Cuál es el efecto de la inoculación de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) y elicitores sobre el desarrollo vegetativo, así como en la incidencia y severidad de patógenos en plántulas de tomate variedad San Pierre en condiciones de vivero?

Objetivos

Objetivo General:

- ❖ Evaluar el efecto de la inoculación de rizobacterias (PGPR) y elicitores sobre el desarrollo vegetativo, así como en la incidencia y severidad de patógenos en plántulas de tomate variedad San Pierre en condiciones de vivero.

Objetivos Específicos:

1. Caracterizar los parámetros morfológicos del cultivo bajo la aplicación de PGPR y elicitor.
2. Determinar la incidencia y severidad de patógenos en las plántulas de tomate tratadas con rizobacterias y elicitores en vivero.
3. Comparar el efecto individual y combinado de rizobacterias y elicitores en la reducción de patógenos y en el desarrollo de plantas de tomate.

Hipótesis

H0: No existen diferencias significativas entre los tratamientos sobre las variables morfológicas y fitosanitarias evaluadas.

H1: Existen diferencias significativas entre los tratamientos sobre las variables morfológicas y fitosanitarias evaluadas.

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Bases teóricas

1.1.1 Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica con los principales niveles jerárquicos del cultivo de tomate se describe a continuación, en la Tabla 1.

Tabla 1. Taxonomía del cultivo de tomate.

Taxón	Denominación
Reino	Plantae
Phylum	Streptophyta
División	Tracheophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Género	<i>Solanum</i>
Nombre científico	<i>Solanum lycopersicum</i> L.

Schoch *et al.* (2020)

1.1.2 Generalidades del cultivo

El tomate en sí, es una especie perteneciente a la familia de las solanáceas, y presenta una gran variedad, ya sea por su tamaño, color, entre otras propiedades organolépticas. En cuanto a su hábito de crecimiento, puede presentarse como un arbusto erecto cuyo límite de crecimiento es determinado, o bien, como una planta cuyo crecimiento es indefinido, y necesita de un tutor. Estas últimas se utilizan para obtener mayores rendimientos, por encima de 200 t ha⁻¹, incluso si las condiciones del lugar no son propicias (Torres, 2017).

El tomate se conoce como una especie rústica, capaz de adaptarse al sustrato disponible, con la importante condición de poseer un buen drenaje. El pH sugerido por Torres (2017) va de 6 a 6.5. Cabe recalcar que valores más cercanos a neutro, o bien,

ligeramente alcalinos, pueden proveer condiciones superiores de biomasa y elongación radicular respecto a valores con menor pH, según Astija (2020).

1.1.3 Requerimientos climáticos

Otro aspecto peculiar de este cultivo, es su predilección al manejo en invernaderos, en zonas donde las temperaturas se elevan por encima de 35 °C o por debajo de 10 °C, con el propósito de cuidar la coloración del fruto, fuertemente influenciada por este parámetro (Garza *et al.*, 2020). Torres (2017) establece un intervalo que oscila entre 18 y 30 °C. En Ecuador, el clima predilecto va de cálido a templado, temperaturas entre 23 y 26 °C, y una humedad relativa mínima de 50 % y máxima de 60 % (Gabriel *et al.*, 2022).

1.1.4 Características morfológicas

El tomate tiene un tallo leñoso, peludo y grueso, con crecimiento vertical primario, que por el peso de las ramas se vuelve decumbente. Las hojas se disponen imparipinnadamente, con dos a seis pares de hojas opuestas y una hoja terminal, todas cubiertas de tricomas glandulares. Las inflorescencia del tomate es tipo cimosa escorpioide o circinada, con 6 a 12 flores (Flores *et al.*, 2024).

Los frutos son carnosos, globosos u ovoides y genéricamente biloculares en las especies silvestres o multiloculares en las variedades cultivadas. Los frutos suelen contener entre 50 y 200 semillas por lóculo, que están cubiertas de una sustancia gelatinosa para evitar su germinación inmediata. El color rojo del fruto se debe a la acumulación del licopeno durante la maduración, mientras que algunas variedades y especies silvestres van de amarillo a púrpura debido a la presencia de carotenoides o antocianina (Flores *et al.*, 2024).

1.1.5 Fenología del cultivo

La floración bajo condiciones adecuadas inicia al cabo de 30 días después del trasplante, y al día 35 cerca del 50 % de la plantación ha florecido. La fructificación se manifiesta a los 40.2 días y alcanza su madurez luego de al menos 80 días desde el trasplante. Estos valores pueden cambiar en caso de existir estrés hídrico en alguna de las fases fenológicas del cultivo (Ogidan *et al.*, 2024). Tal fenología se enmarca dentro de lo reportado por (Suazo *et al.*, 2023), que considera un intervalo estándar entre 72 y 80 días para obtener cosecha.

1.2 Requerimientos nutricionales del tomate

La cantidad necesaria para cumplir con los requerimientos del cultivo, que se traduce en dosis de fertilización ya sea química u orgánica, depende de los resultados obtenidos de un análisis de sustrato, para poder aplicar las fórmulas de fertilidad (Torres, 2017). En condiciones de vivero, los requerimientos pueden garantizarse desde el primer momento.

1.3 Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR)

Existen hoy en día formulaciones microbianas que actúan como fertilizadores, ya sea por el estímulo a la actividad microbiológica como por la reducción de los efectos desfavorables de los agroquímicos, las cuales se engloban dentro de un grupo específico, las PGPR.

Existen distintos géneros que no necesariamente son *Rhizobium* y que presentan efectos positivos, como son los *Bacillus*, *Azobacter*, *Azotobacter*, *Burkholderia*, *Pseudomonas* y *Rhodococcus*, con capacidad para catalizar el crecimiento vegetal tanto en condiciones normales como atípicas (Velarde *et al.*, 2021).

Estas bacterias actúan mediante mecanismos directos que facilitan la adquisición de nutrientes esenciales, tales como la fijación biológica de nitrógeno, y modulan los niveles de fitohormonas esenciales para estimular el crecimiento vegetal, o bien emplean vías indirectas de biocontrol mediante la producción de compuestos volátiles, antibióticos y enzimas líticas que reducen drásticamente el impacto de patógenos (Cochard *et al.*, 2022).

Se han estudiado estos microorganismos en distintos cultivos como el garbanzo, al cual provee mayor absorción y solubilización de nutrientes, formación de quelatos, así como efecto antagonico contra *Fusarium* (López *et al.*, 2021). En tomate, Daza *et al.* (2022) califica a la especie *Arthrobacter pokkalii* como potencial biofertilizante, con incidencia en el crecimiento vegetal y concentración nutricional, respecto a otras cepas estudiadas.

En árboles de pistacho silvestre (*Pistacia atlantica* L.), se ha demostrado que cepas endófitas de *Stenotrophomonas maltophilia* promueven el crecimiento de la planta y producen sideróforos. De igual manera, en el cultivo de banano, la cepa *S. maltophilia* BE-25 es capaz de sintetizar ácido indolacético (IAA), mientras otras cepas de esta misma especie sirven como agentes de control biológico efectivo contra el hongo *Colletotrichum musae*.

Ensayos experimentales demostraron que cepas endófitas aisladas de raíces de tomate, como *Pseudomonas palleroniana* B10 y *Bacillus subtilis* B25, resultan sumamente

eficientes para promover el vigor general de los brotes (Cochard *et al.*, 2022). Por otra parte, el uso de PGPR nativas procedentes de otros entornos agrícolas, como la rizosfera del aguacate, también ofrece una alternativa biotecnológica viable y sostenible para mejorar la calidad de las plántulas antes de su trasplante al campo (Velasco *et al.*, 2024).

La inoculación de estas bacterias en semillas de tomate estimula directamente cambios estructurales profundos en la arquitectura interna de la raíz y proveen un suministro hormonal constante que optimiza el enraizamiento inicial, disminuyendo potencialmente la dependencia de insumos químicos sintéticos y reduciendo las tasas de mortalidad en campo (Velasco *et al.*, 2024).

1.3.1 *Bacillus subtilis*

Esta bacteria ha sido catalogada como un promotor de crecimiento vital, cuya cepa IS1 fue capaz de aumentar parámetros morfológicos como la longitud del brote, de raíz y la biomasa por encima de 40, 100 y 60 puntos porcentuales respectivamente, esto en condiciones de invernadero como estrés salino. Además, se perfila como un potente supresor de la marchitez por *Fusarium*, bajando su impacto en un 63.7 % (Akram *et al.*, 2024).

Chen *et al.* (2026) han demostrado que la cepa *B. subtilis* promueve el desarrollo en longitud de plantas de tomate, ya sea bajo aplicación a nivel de semillas como raíces, con aumentos del 20.31 % hasta 57.81 % respecto a tratamientos control en los primeros días de desarrollo. A partir del día 14, se evidencian valores aún superiores para *Bacillus*, pero no distan significativamente. Tales valores son atribuidos a una mayor superficie de colonización rizosférica y la producción de AIA (ácido indolacético).

Esta cepa además es capaz de solubilizar el fosfato edáfico, y aumentar la biomasa vegetal respecto a controles sin inoculación, capacidad reflejada en el peso fresco y seco de los brotes bajo la influencia de esta bacteria, y a nivel radicular (Cochard *et al.*, 2022).

Se ha probado en conjunto con *Pseudomonas*, reduciendo la incidencia de *F. oxysporum* entre 12 % a 25 %, así como una inhibición de su crecimiento. Además, en combinación, estos microorganismos tienen la capacidad de mejorar el crecimiento de la planta por sobre la aplicación individual de los mismos (Sundaramoorthy and Balabaskar, 2013).

1.4 Elicitores

Las plantas habitualmente son afectadas por enfermedades de carácter fúngico, siendo 8 000 especies las que se han identificado como patógenas. Como respuesta, las

plantas han desarrollado un sistema de protección inmunitaria innato, compuesto de barreras físicas y químicas, que le confieren la habilidad de detectar biomoléculas extrañas en su interior y generar cambios estructurales o compuestos repelentes o tóxicos para la inhibición del patógeno (Guo y Cheng, 2022; Morales y Sánchez, 2022).

Estas moléculas despiertan atención en el tratamiento de las enfermedades, y reciben el nombre de elicitors, que pueden provenir de fuentes bióticas PAMP (patrones moleculares asociados a microbios) que activan receptores específicos en las plantas. Un ejemplo de ello es la quitina, que representa una señal de peligro por infección fúngica. Estos elicitors a su vez, se clasifican de acuerdo a su composición en proteicos y sacáridos (Guo and Cheng, 2022).

A nivel de elicitors, el campo de exploración de alternativas biosostenibles es amplio, ya que para sustancias tales como el ácido ascórbico y salicílico se describen mayoritariamente mejoras en materia de tolerancia a condiciones extremas tanto de temperatura como salinidad (Chen *et al.*, 2026; Elkelish *et al.*, 2020)

Generalmente, existen concentraciones definidas de estas moléculas en la planta, y los estudios parten de inducir un aumento de los índices por otras vías, en lugar de una aplicación directa (Chen *et al.*, 2026).

1.4.1 Ácido Ascórbico

Rahman *et al.* (2022) determinan el efecto del ácido ascórbico en plantas de tomate a través de la conservación de los niveles de clorofila en hojas, siendo estos superiores significativamente (no así entre dosis) tanto a los 30 como a los 60 días después del trasplante (DDT) respecto al control, que presentó signos severos de degradación. También reportaron valores superiores de longitud de hoja en dosis de 4.0 mM, respecto a dosis inferiores y el control.

A su vez, el ácido ascórbico se ha utilizado en combinación con *Trichoderma* y *Ocrobactrum* para combatir *F. oxysporum* a través del “biopriming”, que conlleva inocular semillas. También se ha empleado junto con extracto de albahaca en este mismo hongo, como controlador de procesos de degradación fisiológicos (Singh *et al.*, 2020).

1.4.2 Ácido salicílico

El ácido salicílico, según Esmailzadeh *et al.* (2008) induce respuestas de defensa contra *Alternaria*, cuya absorción endógena a nivel foliar reduce la incidencia hasta un 77 %, sin que la planta se haga resistente con la dosis aplicada. Por su parte, Shah *et al.* (2019)

atribuyen a esta fitohormona un rol fundamental en la tolerancia a altas temperaturas en lugar de proveer resistencia a patógenos, bajando en un 27.84 % la severidad del daño térmico, esto debido a la estimulación de la actividad fotosintética.

En especies como la papaya o la fresa, el ácido salicílico ha demostrado, a concentraciones de 1 mM, efectuar una promoción del crecimiento en altura y grosor de tallo, así como en el número de hojas, y variables productivas posteriores al desarrollo vegetativo (Anchondo, 2011; Martin, 2012).

1.5 Especies patógenas

1.5.1 *Fusarium*

El hongo del suelo *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*, es una amenaza seria para la producción de tomate a nivel mundial. Identificada por primera vez en Japón en 1974, se ha extendido a más de 30 países, afectando especialmente los cultivos bajo invernadero y aquellos sometidos a siembras continuas, donde las pérdidas pueden ser significativas.

Los síntomas incluyen lesiones marrón oscuro en la base del tallo, pardeamiento vascular, marchitez en etapas tempranas, retraso del crecimiento y decoloración en plantas adultas (Portal, 2017; Yang *et al.*, 2024). La susceptibilidad va de la mano con temperaturas de 25°C a 30°C, suelos entre 5.5 y 7.0 de pH, así como encharcamiento en el suelo, propicio para la propagación de esporas y colonización con mayor rapidez el sistema vascular de la planta (Sreedevi, 2022).

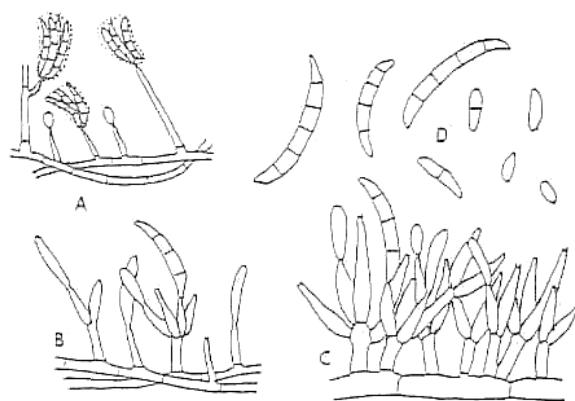


Figura 1. Esquema morfológico del género de hongos *Fusarium*.

1.5.2 *Oidium*

También conocido como oídio o cenicilla, es una enfermedad de agente patógeno biotrófico, común en cultivos de tomate, cuya aparición depende en gran medida de condiciones ambientales adversas, como una humedad relativa elevada, producto de una distribución demasiado próxima entre plantas que perturban el tránsito del aire (Aghayev et al., 2022; Qasim *et al.*, 2022).

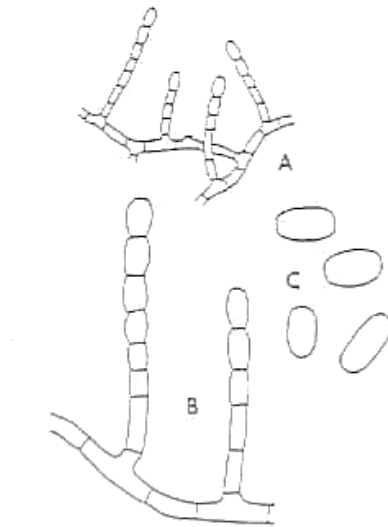


Figura 2. Esquema morfológico del género de hongos *Oidium*.

El oídio del tomate se presenta y progresa de manera favorable bajo un rango de temperatura de 15 a 30 °C y con niveles de humedad relativa de entre el 60 y el 90%. con un progreso máximo por debajo de los 30 °C. En contraste, las temperaturas bajas o muy elevadas, humedad relativa por encima de 90 y por debajo de 40% afectan negativamente la severidad de la enfermedad (Jacob *et al.*, 2008).

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Caracterización del área

La investigación se desarrolló en los laboratorios del Centro de Investigaciones Biotecnológicas (CEB), de la Universidad Península de Santa Elena (UPSE), ubicada en la provincia de Santa Elena, Ecuador ($-2.23333, -80.90833$), iniciando en el mes de octubre del 2025 y culminando a mediados de abril del 2026.

La cabecera cantonal de Santa Elena presenta un clima cálido-seco característico de la región costera del Ecuador, con temperaturas medias anuales que rondan los 27.3°C de máxima y 20.7°C de mínima, así como una velocidad promedio anual de 7 km h^{-1} . La distribución térmica muestra ligeras variaciones estacionales, siendo los meses de enero a abril los más cálidos, en correspondencia con la mayor incidencia de precipitaciones (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2017).

La humedad relativa se mantiene elevada durante todo el año, con valores medios que fluctúan entre 78 % y 88 %, alcanzando máximos durante los meses de mayor nubosidad. En cuanto al régimen pluviométrico, las lluvias se concentran principalmente entre enero y marzo, alcanzando un total anual cercano a 265 mm, mientras que el resto del año se caracteriza por condiciones marcadamente secas, con un valor de 1456.2 mm evaporados anualmente (INAMHI, 2017).

2.2 Materiales, equipos y reactivos

2.2.1 Esterilización de materiales

Todos los instrumentos y medios de cultivo empleados fueron sometidos a esterilización en autoclave bajo 1 atm, a una temperatura de 121°C por 15 minutos. Las semillas de tomate fueron desinfectadas tras cinco minutos en hipoclorito de sodio al 2 % y en alcohol al 70 %, pasa luego ser lavadas con agua destilada estéril.

2.2.2 Material biológico

Previo a la siembra en macetas, se realizó una prueba de germinación in vitro para determinar la viabilidad de las semillas. Para ello, se colocaron 10 semillas de tomate variedad “San Pierre” en placas Petri con medio de cultivo Murashige & Skoog, incubadas a $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Una vez comprobada la viabilidad de las semillas, se repitió el mismo procedimiento, esta vez las semillas sobre papel filtro hidratado con agua destilada. Se evaluó el porcentaje de germinación a los 7 días posteriores a la siembra, y se seleccionaron tres plántulas germinadas con mayor desarrollo radicular, para su establecimiento en un sustrato fértil a base de turba y arena, en proporción 1:1.

La cepa de *Bacillus subtilis* (BS) fue reactivada de la colección de cepas del CEB-UPSE. Cuya identificación molecular se estableció previamente por amplificación y secuenciación del gen ARN ribosomal 16S ARNr y luego sometidas a un análisis de similitud mediante BLASTn (Basic Local Alignment Search Tool for nucleotides) del National Center for Biotechnology Information (NCBI), utilizando las bases de datos de secuencias de nucleótidos, incluyendo GenBank (Soto *et al.*, 2026).

La identificación taxonómica se estableció con base en el porcentaje de identidad, cobertura de la secuencia y valor de E (E-value) obtenidos en los alineamientos con secuencias de referencia (Nº accesoión al Gen Bank MH598974.1). La cual fue escogida por su potencial in vitro en investigaciones previas en el CEB-UPSE (Soto *et al.*, 2026).

2.2.3 Material de laboratorio

Se utilizaron cajas de Petri estériles para el cultivo de microorganismos, tubos de ensayo para la preparación de diluciones y reactivos, así como portaobjetos y cubreobjetos para observaciones microscópicas.

También se emplearon pipetas graduadas con sus respectivas puntas estériles para dosificación precisa de líquidos. Adicionalmente, se hizo uso de papel filtro, frascos de vidrio, gradillas para tubos y otros consumibles como cinta Parafilm, todos ellos fundamentales para llevar a cabo las técnicas de aislamiento, siembra y caracterización de rizobacterias, hongos y demás microorganismos de interés.

2.2.4 Aplicación de elicitores

Se aplicó cada 15 días 1 mM de ácido salicílico en una dosis de 0.138 g L⁻¹. También 1.42 mM de ácido ascórbico en una dosis de 0.25 g L⁻¹. Ambas aplicaciones en el cuello de la raíz. En total se realizaron 10 aplicaciones durante el experimento.

2.2.5 Aplicación de PGPR

Previamente a su aplicación, la concentración de cada suspensión fue estandarizada a aproximadamente 1×10^8 UFC mL⁻¹, mediante una combinación de medición de densidad óptica y conteo viable en placa.

Para la estandarización por espectrofotometría, se determinó la densidad óptica a 600 nm (OD₆₀₀), empleando como blanco el medio de cultivo estéril.

La cepa de *B. subtilis* fue inoculada cinco veces en total, aplicando directo al cuello de la raíz, en horas de la tarde (18:00), cada 30 días en dosis de 10 µL, acorde a Oyoque *et al.* (2025), con absorbancia por espectrofotometría de 0.613.

2.2.6 Equipos de laboratorio

Uno de los equipos esenciales fue la cabina de flujo laminar, para la siembra de microorganismos con mínimo riesgo de contaminación externa. Se utilizó un autoclave marca All American para esterilizar medios de cultivo y materiales reutilizables. También, un microscopio Boeco, modelo BM 120 para observación e identificación de microorganismos, y un espectrofotómetro Boeco modelo S-220 para determinación de concentraciones; así como una incubadora marca Memmert.

2.2.7 Reactivos para medios de cultivo

Para reactivar la bacteria se empleó el medio Levadura Manitol Agar (LMA) y LMC (Caldo). Mientras que, para los hongos se empleó el medio Potato Dextrosa Agar (PDA). Se emplea una cápsula de claritromicina de 250 g triturada en 150 mL de agua destilada, para prevenir contaminación bacteriana accidental (Soto *et al.*, 2024).

2.2.8 Registro de temperatura

Con base a los datos registrados por estación meteorológica Santa Elena, ubicada dentro de las instalaciones de la UPSE, de los parámetros climáticos relevantes para el vivero, como son la temperatura y la humedad relativa, y así determinar su influencia en la aparición de posibles enfermedades.

2.3 Tipo de investigación

Este trabajo corresponde a una investigación en laboratorio y vivero, ya que combina la observación y manipulación directa del cultivo de tomate con inoculación y análisis microbiológicos en condiciones controladas. Además, se clasifica como una investigación

aplicada, al estar orientado a resolver un problema práctico mediante alternativas biológicas sostenibles, basándose en teorías existentes y generando soluciones concretas a partir de resultados experimentales (Gonzales y Covinos, 2021).

2.4 Diseño de investigación

La investigación se enmarca dentro de un diseño de investigación experimental, dado que busca evaluar el efecto de una intervención específica, como es el uso de rizobacterias y elicitores, sobre el desarrollo e incidencia de enfermedades en el cultivo de tomate en condiciones de vivero (Gonzales y Covinos, 2021).

2.4.1 Diseño experimental

El componente in vitro de este trabajo es un diseño completamente al azar (DCA), y cuenta con un total de 20 unidades experimentales (cinco tratamientos, cuatro repeticiones), cada una de ellas conformada por 10 plántulas de tomate. De manera paralela, la fase en vivero bajo el mismo diseño, con cinco tratamientos, descritos en la Tabla 2, y cuatro repeticiones (cada una con tres plantas de tomate, como submuestras).

Tabla 2. Tratamientos contemplados para la investigación.

Tratamientos	Inóculo	Contenido
T1	PGPR	<i>Bacillus subtilis</i> (BS)
T2	Elicitor 1	Ácido salicílico (SA)
T3	Elicitor 2	Ácido ascórbico (AsA)
T4	Combinación	<i>Bacillus subtilis</i> + ácido salicílico
T5	Control	Ninguno

El modelo estadístico correspondiente al DCA se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

donde Y_{ij} representa el valor observado de la variable respuesta correspondiente al tratamiento i en la repetición j ; μ corresponde a la media general del experimento; τ_i al efecto del tratamiento i ; y ε_{ij} al error experimental.

2.5 Parámetros evaluados

2.5.1 Morfológicos

La altura de la planta se determinó con cinta métrica, ubicando el punto cero de la medición en la base de la planta, extendiendo hasta la yema apical. Esta medición se realiza en cada unidad experimental. El diámetro del tallo se determinó mediante un pie de rey digital, colocando el instrumento alrededor del tallo para registrar directamente su grosor. Ambos parámetros se expresan en milímetros.

El número de hojas se determinó mediante conteo visual directo de las hojas verdaderas presentes en cada planta. Esta operación se llevó a cabo en cada repetición, y se calculó el promedio por tratamiento.

2.5.2 Bioquímicos

Como variable bioquímica se determinó el índice relativo de clorofila, utilizando un medidor portátil SPAD modelo GYJ-D. Las lecturas se realizaron directamente sobre el tejido foliar de las plantas correspondientes a cada unidad experimental y los valores obtenidos se expresaron en unidades SPAD.

2.5.3 Incidencia y severidad

La incidencia se determina de forma empírica-descriptiva en base a la sintomatología observable en las plantas afectadas, según la siguiente fórmula, acorde a Pérez y Villafaña (2025), donde N_a es el número de hojas afectadas y N_t es el número total de hojas evaluadas:

$$I(\%) = \frac{N_a}{N_t} \times 100$$

La severidad por otra parte, se categoriza de acuerdo con el estado de afectación por niveles (0-5), según se expone en la Tabla 3.

Tabla 3. Escala de severidad de síntomas en plantas de tomate.

Índice	Criterio de severidad
0	Ausencia de síntomas visibles.
1	Aparición inicial de clorosis en las hojas inferiores acompañada de reducción de turgencia.

Índice	Criterio de severidad
2	Avance de la clorosis desde el follaje basal hasta aproximadamente la zona media de la planta.
3	Presencia de lesiones tempranas en folíolos y necrosis leve en tallo.
4	Necrosis avanzada del tallo, daño foliar intenso y clorosis extendida en la planta.
5	Secamiento completo y muerte de la planta.

Pérez y Villafaña (2025)

Para la identificación de los agentes fúngicos asociados a los síntomas observados, se realizó una evaluación microscópica de las estructuras fúngicas presentes en las muestras vegetales, así como la correspondencia entre estas y los síntomas presentes en las plantas.

La identificación se efectuó mediante comparación morfológica con los patrones descritos en claves taxonómicas compatibles con los géneros *Fusarium* y *Oidium*. No obstante, la observación morfológica por sí sola no permite establecer con certeza la especie, la cual debe confirmarse con análisis molecular.

2.6 Manejo del experimento

A lo largo de los 150 días de duración del ensayo se realizó el mantenimiento de las plantas bajo condiciones de vivero, con riego cada dos días para evitar saturación del sustrato, y se efectuó el seguimiento periódico de las variables morfológicas y fitosanitarias.

Paralelamente, se registraron las condiciones de temperatura y humedad relativa y se realizó la observación de síntomas asociados con la aparición de enfermedades. Las evaluaciones se efectuaron de acuerdo con los periodos establecidos para cada variable hasta la finalización del experimento.

2.7 Análisis estadístico de los resultados

Los resultados obtenidos en la fase de vivero se recopilaron en una base de datos, para el análisis estadístico en el programa InfoStat, y el análisis de la varianza (ANOVA de medidas repetidas).

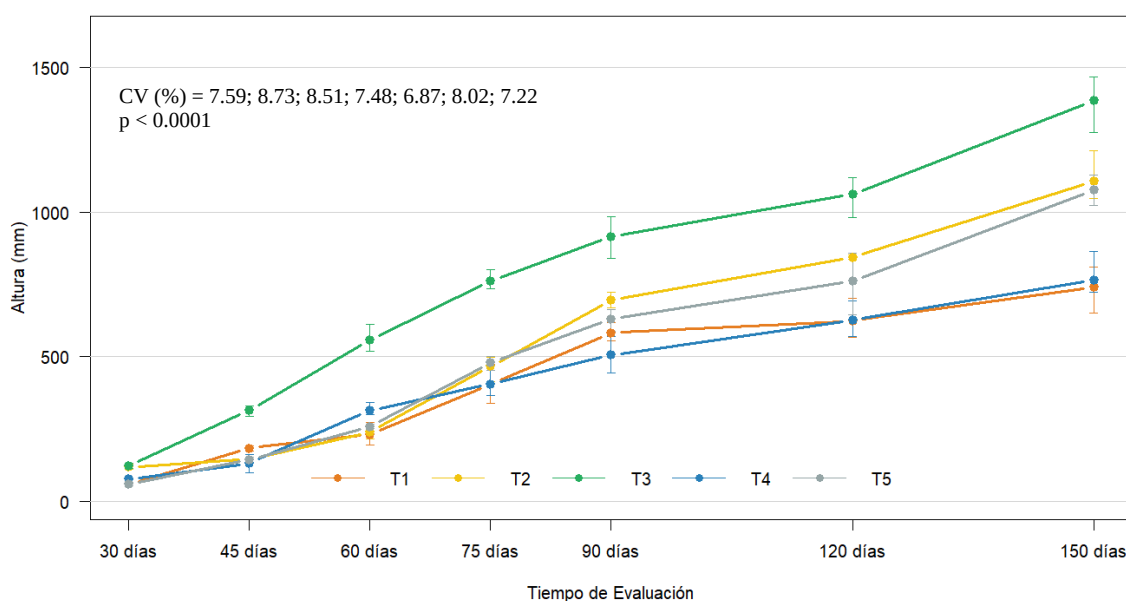
Previamente se verificaron los supuestos de normalidad de los residuos mediante la prueba de Shapiro-Wilk y de homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene, considerando el cumplimiento de los supuestos cuando $p > 0,05$. Se aplicó un test de Duncan para comparación de medias con un nivel de significancia $p < 0,05$. En el caso de las variables cuantitativas discretas (exceptuando número de hojas, que se transformó logarítmicamente) se limitó a su descripción para el análisis.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Efectos en los parámetros morfológicos de tomate en condiciones de vivero.

3.1.1 Longitud

La Figura 3 muestra los valores medios correspondientes a longitud del tallo, siendo superior para las plantas del tratamiento T3 (AsA) durante el periodo de 150 días. El tratamiento T1 (BS) alcanzó una media de 231.2 mm (23.12 cm) de longitud en la investigación presente a los 60 días.



T1 (*B. subtilis*), T2 (ácido salicílico), T3 (ácido ascórbico), T4 (*B. subtilis* + ácido salicílico), T5 (control).

Figura 3. Curva de crecimiento en altura de plantas de tomate a lo largo de 150 días.

Esta tendencia coincide con los resultados de Khazaei *et al.* (2020) quienes hallaron efectos positivos para longitud de tallo en concentración similar (1 mM) de ácido ascórbico en cultivo de pimiento (*Capsicum annuum*).

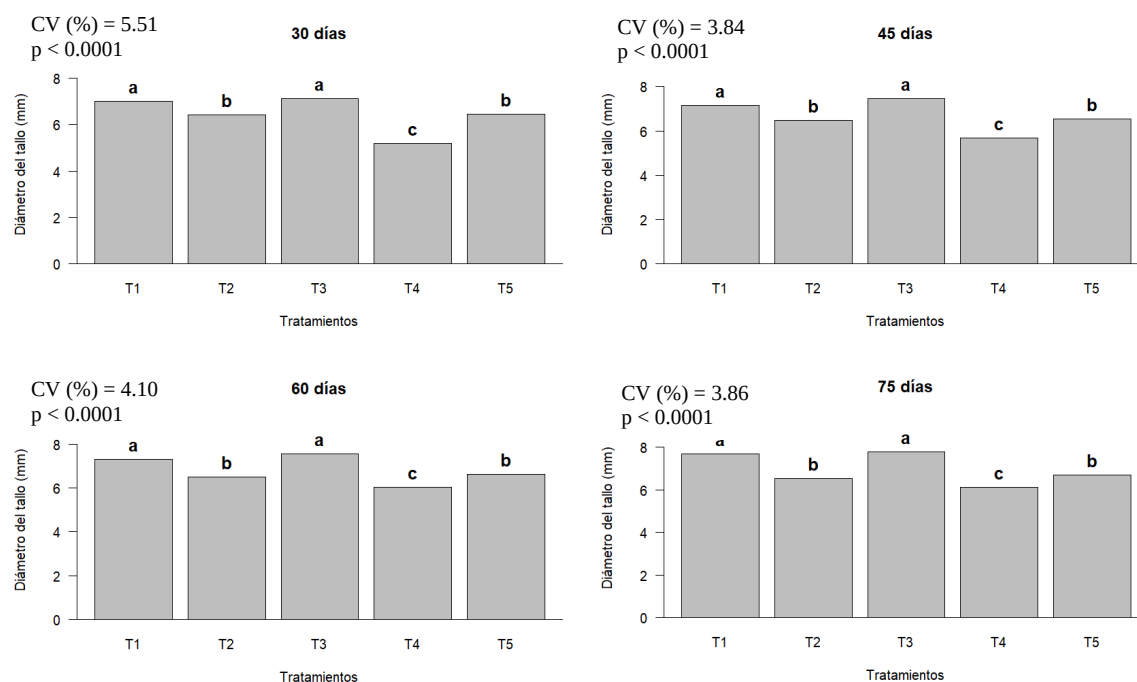
Por otra parte, los resultados se alejan de los obtenidos por Oyoque *et al.* (2025), quien obtuvo para *B. subtilis* a los 60 días plantas de poco menos de 45 cm, siendo su diferencia significativa respecto al testigo el único paralelismo, que no se dio de forma continua durante todo el periodo de estudio. El efecto positivo observado con el ácido ascórbico podría estar vinculado a su capacidad de incrementarse en el tejido vegetal de forma exógena (Chen *et al.*, 2024), aumentando la biomasa vegetal.

3.1.2 Diámetro del tallo

A lo largo del periodo de estudio, los tratamientos T1 (BS) y T3 (AsA) reflejaron un mayor engrosamiento en sus tallos (7.16 y 7.37 mm, respectivamente) en el periodo comprendido entre 30 y 60 días compilado en la *Figura 4*, respecto al resto de tratamientos, incluido el control. Tendencia sostenida a los 75 días (7.70 y 7.78 mm) compilada en la *Figura 4*, hasta el final del periodo de registro de datos, como se observa en la *Figura 5*.

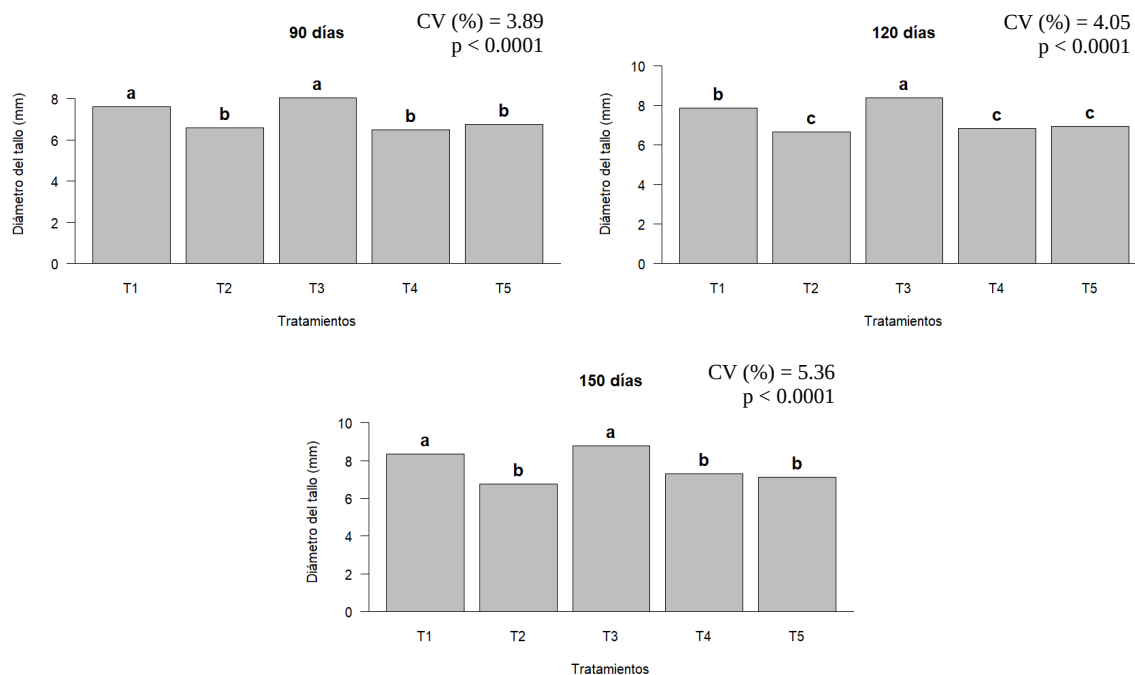
A su vez, el nivel de engrosamiento tuvo valores superiores respecto al promedio indicado por Abbas *et al.* (2024) para tomate en invernadero (4.31 mm). En cuanto al tratamiento T1, su capacidad para incrementar el diámetro del tallo por encima del control es consistente con las observaciones de Oyoque *et al.* (2025) y Akram *et al.* (2024).

En otra investigación, Qadir *et al.* (2019) obtuvieron bajo diferentes regímenes de riego, que el ácido salicílico (SA) situó el grosor del tallo en tomate cherry en un rango entre 15 y 12 mm a una concentración de 2.5 mM, medidos a los 75 días, lo cual le coloca por encima de los valores de este experimento.



T1 (*B. subtilis*), T2 (ácido salicílico), T3 (ácido ascórbico), T4 (*B. subtilis* + ácido salicílico), T5 (control). Las barras representadas con letras minúsculas diferentes son significativamente diferentes según la prueba de Duncan.

Figura 4. Medias de diámetro del tallo de plántulas de tomate bajo el efecto de PGPR y elicitors evaluados a los 30, 45, 60 y 75 días después de la emergencia.



T1 (*B. subtilis*), T2 (ácido salicílico), T3 (ácido ascórbico), T4 (*B. subtilis* + ácido salicílico), T5 (control). Las barras representadas con letras minúsculas diferentes son significativamente diferentes según la prueba de Duncan.

Figura 5. Medias de diámetro del tallo de plántulas de tomate bajo el efecto de PGPR y elicitors evaluados a los 90, 120 y 150 días después de la emergencia.

La superioridad del ácido ascórbico en el engrosamiento del tallo podría explicarse por su papel multifuncional en el metabolismo primario de la planta. Chen *et al.* (2024) y Elkelish *et al.* (2020) indican en sus estudios que su aplicación exógena regula la síntesis de giberelinas y la homeostasis de prolina, promoviendo la expansión celular.

En cuanto al *B. subtilis*, podría estar relacionado con mecanismos de promoción del crecimiento descritos por Cochard *et al.* (2022), como la secreción activa de fitohormonas que alteran la arquitectura de la raíz, capaces de aumentar el área superficial de absorción de agua y sales minerales, lo que consecuentemente daría lugar a un incremento en la turgencia celular y la deposición de celulosa en el tallo de la plántula, aumentando su biomasa.

Por el contrario, el tratamiento T2 (SA), finalizó por debajo del control. Este fenómeno podría estar asociado con la concentración y frecuencia de aplicación del ácido salicílico, ya que la literatura reporta que dosis elevadas o continuas pueden afectar negativamente ciertos procesos de crecimiento (Butselaar y Ackerveken, 2020; Oussou *et al.*, 2026).

En este trabajo no se evaluaron indicadores directos de toxicidad fisiológica, por lo que el resultado se interpreta únicamente como una inhibición del engrosamiento del tallo.

3.1.3 Número de hojas

Desde las etapas tempranas a los 30 días, las plantas bajo el tratamiento 3 (AsA) ya mostraban una mayor emisión foliar, registrando entre 8 y 9 hojas en comparación con el resto. Esta ventaja se mantuvo progresivamente hasta el final del ciclo, alcanzando un máximo de entre 61 y 69 hojas por planta a los 150 días, tal como se muestra en la Tabla 4.

En contraste, los tratamientos 4, 1, 5 y 2 exhibieron un comportamiento bastante homogéneo entre sí, iniciando con un promedio general de 3 a 7 hojas a los 30 días y finalizando el periodo con un rango de 47 a 57 hojas, lo que demuestra un ritmo de diferenciación foliar más lento en comparación con el T3.

Tabla 4. Número de hojas promedio en plantas de tomate a lo largo de 150 días.

Días desde la siembra	Tratamientos						p
	T1	T2	T3	T4	T5	CV (%)	
30 días	5.51b	4.25c	8.42a	4.75bc	4.50bc	8.47	<0.0001
45 días	11.34b	10.91b	14.97a	11.07b	10.66b	4.52	0.0029
60 días	21.32ab	20.21b	25.59a	20.98b	18.64b	4.28	0.0380
75 días	26.65ab	25.46b	30.84a	26.23b	23.89b	3.14	0.0335
90 días	31.97ab	30.71b	36.09a	31.48b	29.14b	2.45	0.0307
120 días	42.62ab	41.21b	46.59a	41.98b	39.64b	1.68	0.0277
150 días	53.27ab	54.17b	65.00a	52.48b	51.57b	1.46	0.0003

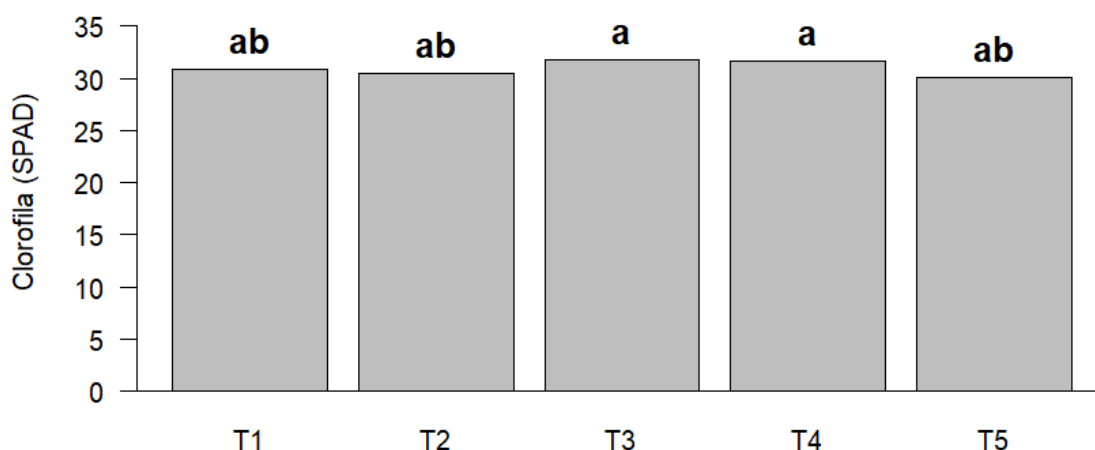
T1 (*B. subtilis*), T2 (ácido salicílico), T3 (ácido ascórbico), T4 (*B. subtilis* + ácido salicílico), T5 (control). Letras minúsculas diferentes son significativamente diferentes según la prueba de Duncan.

Los datos obtenidos por Oyoque *et al.* (2025) cuya investigación evaluó *B. subtilis* no tuvo diferencias significativas en emisión foliar frente al tratamiento testigo, similar resultado que Ibrahim, El-Batran y Hassan (2022), cuyas aplicaciones de únicamente ácido ascórbico en plantas del cultivar Kasel Rock expuestas a un suelo salino, solo provocaron

incrementos sin significancia en el número de hojas de la planta, registrando variaciones marginales que pasaron de un valor de 50.5 a 51.3 hojas en la primera temporada, y de 50.0 a 51.6 hojas en la segunda.

Las diferencias podrían atribuirse al sustrato, ya que suelos orgánicamente nutridos, tienen mayor capacidad de intercambio catiónico, restringiendo la absorción de iones de sodio, facilitando la asimilación selectiva de nitrógeno, fósforo y potasio en el sistema radicular, y así, la aplicación de ácido ascórbico pasa a ser significativamente diferente, al estimular la división celular en las yemas axilares, traduciéndose en una tasa significativamente más alta de emisión foliar (Ibrahim *et al.*, 2022).

3.2 Índice de clorofila



T1 (*B. subtilis*), T2 (ácido salicílico), T3 (ácido ascórbico), T4 (*B. subtilis* + ácido salicílico), T5 (control). Las barras representadas con letras minúsculas diferentes son significativamente diferentes según la prueba de Duncan.

Figura 6. Medias del índice SPAD del cultivo de tomate bajo el efecto de PGPR y elicitors a los 150 días después de la emergencia.

El SPAD es un método no destructivo para medir la clorofila en los folíolos vegetales, cuyos valores obtenidos según la *Figura 6* son comparables con los de una producción de tomate suministrada con productos de biodigestión, según registra Barzee *et al.* (2019), con un rango entre 22.8 y 31.1.

Esto correlaciona directamente con el elevado índice de clorofila (SPAD de 31.71) registrado al final del ensayo en T3, donde tal manifestación podría estar asociada con una mayor capacidad fotosintética neta, lo que facilitaría la translocación de carbohidratos hacia los tejidos vasculares laterales del tallo.

A su vez, estos valores contrastan con los valores obtenidos por Chen *et al.* (2026), que obtuvo mediciones de SPAD por encima de 40 durante los 21 días primeros desde el establecimiento del cultivo, esto quizás por la juventud de los brotes en esa etapa.

Oyoque *et al.* (2025) por su parte, no encontró diferencias significativas entre *B. subtilis* y el control, resultado compartido con la investigación presente. Mientras que, Loayza *et al.* (2022), para plantas de *Solanum tuberosum* determinaron valores de SPAD entre 30 y 34 que refieren índices relativos de clorofila de 2.826 mg g⁻¹.

3.3 Parámetros fitosanitarios

3.3.1 Incidencia

Los patógenos incidieron en el cultivo de tomate llegado el mes de enero 2026, temporada en que las temperaturas se elevan en las condiciones del litoral ecuatoriano, y más determinante, la humedad relativa, que propicia la aparición de hongos.

Mediante observación microscópica y con base en patrones esquemáticos de morfología fúngica, se identificaron estructuras compatibles con los géneros *Fusarium* y *Oidium*, dos patógenos de relevancia agrícola por su alto poder destructivo, cuya presencia coincidió con la sintomatología observada en las plantas (Flores *et al.*, 2012).

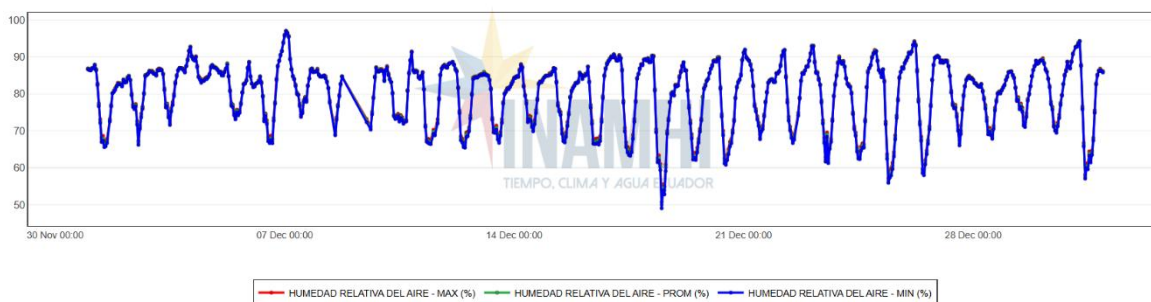


Figura 7. Registro de humedad relativa del aire en Santa Elena durante el mes de diciembre. Fuente: INAMHI.

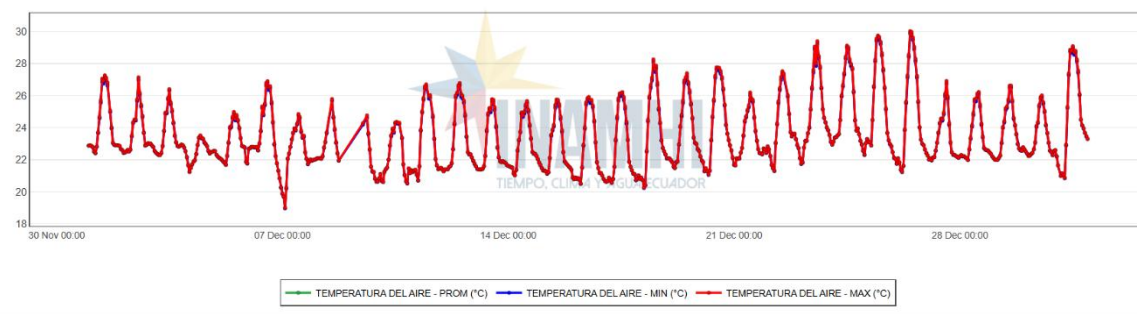


Figura 8. Registro de temperatura en Santa Elena durante el mes de diciembre. Fuente: INAMHI.

Durante diciembre 2025, como se aprecia en la *Figura 7*, la humedad relativa presentó picos donde superó el 90% durante las primeras horas del día, y valles que bajaron de 60 %. Así mismo, el techo de temperatura fue de 30 °C durante el mediodía, mientras las temperaturas nocturnas se mantuvieron cerca de la línea de los 22 °C, según la *Figura 8*.

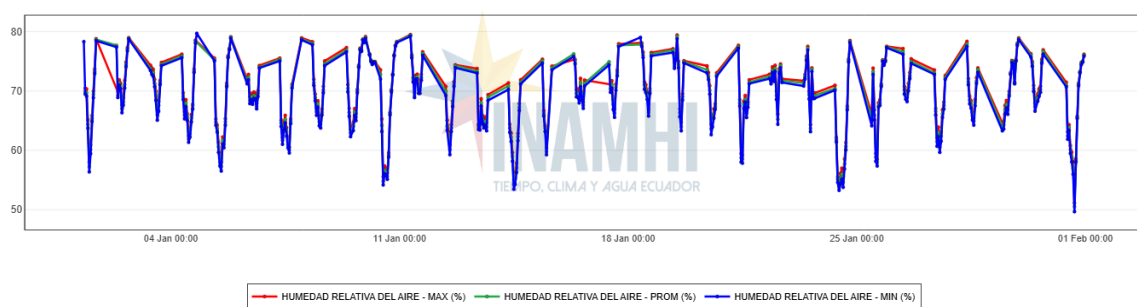


Figura 9. Registro de humedad relativa del aire en Santa Elena durante el mes de enero. Fuente: INAMHI.

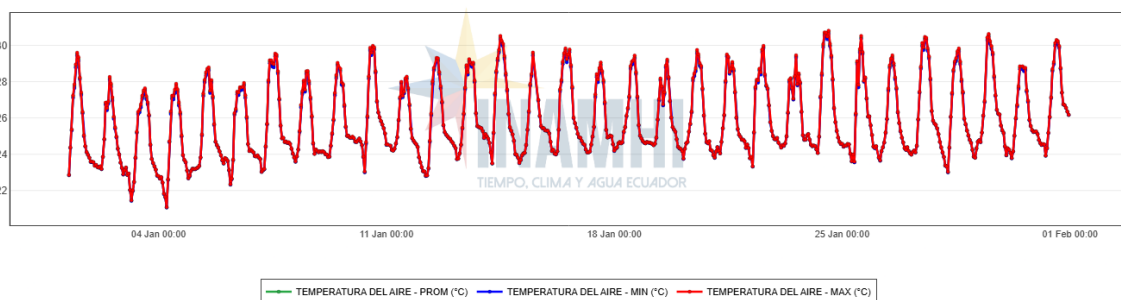


Figura 10. Registro de temperatura del aire en Santa Elena durante el mes de enero. Fuente: INAMHI.

Esto cambiaría ligeramente en enero, mientras aumentaba la incidencia y severidad, donde la humedad relativa se mantuvo por debajo del 80 % durante las primeras horas del

día, mientras la temperatura mínima se mantuvo en la línea de los 24 °C, de acuerdo a las Figuras 9 y 10.

Patógenos compatibles con los géneros *Fusarium* y *Oidium*, observados mediante microscopía en la Figura 11, pueden manifestarse cuando la humedad relativa no supera el 90 %, y la temperatura permanece por debajo de 30 °C. En el caso de *Fusarium*, un sustrato saturado aumenta la susceptibilidad, mientras limita al *Oidium* (Jacob *et al.*, 2008; Sreedevi, 2022).

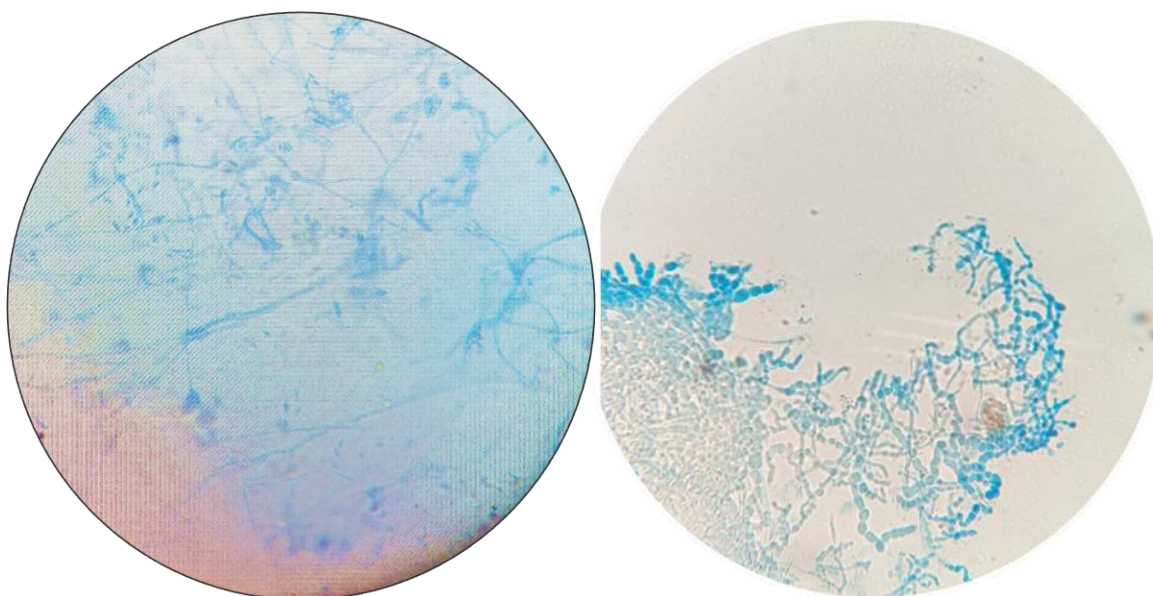


Figura 11. Caracterización microscópica de hongos patógenos compatibles con *Fusarium* (izquierda) y *Oidium* (derecha). Microscopio óptico Boeco BM-120, objetivo x10.

Se consideró compatible con *Fusarium* debido a su semejanza con los caracteres morfológicos descritos para este grupo, como la presencia de macroconidios de forma fusiforme a falcada, generalmente multiseptados y con diferenciación de las células apical y basal (Infantino *et al.*, 2023).

Para el oídio del tomate se han descrito conidióforos erectos y no ramificados, conidios predominantemente solitarios y de morfología elipsoide a ovoide (Lebeda *et al.*, 2024). No obstante, es necesario un examen molecular para definir con certeza las especies.

Entre las manifestaciones iniciales que sirven de alerta por presencia de *Fusarium* se encuentra una pérdida de la intensidad del color en la copa, la cual se torna verde pálido, como se evidencia en la Figura 12, seguida por una clorosis muy marcada que afecta primordialmente al follaje ubicado en la zona basal de la planta, como se presenta en la Figura 13 (hojas viejas) (Flores *et al.*, 2012).



Figura 12. Planta sana (izquierda) y planta con indicios de infección por *Fusarium* (derecha).



Figura 13. Clorosis en las hojas basales de la planta propia de infección por *Fusarium*.

A nivel anatómico interno, la colonización de este patógeno interrumpe el flujo normal de la savia, provocando un deslucimiento o tinción oscura característica en los vasos conductores que abarca el eje radicular principal, la zona del cuello y el tallo, daño estructural que en escenarios de infección avanzada logra exteriorizarse de forma visible (Flores *et al.*, 2012).



Figura 14. Manchas redondeadas con esporulación en hojas de tomate.

Por otro lado, denominada comúnmente polvillo o cenicilla, esta enfermedad se expresa sustancialmente la formación de lesiones redondeadas, de tonalidad blanquecina y con una textura harinosa o pulverulenta que se localizan específicamente sobre el haz de las hojas inferiores, evidentes en la *Figura 14*, anomalía que de avanzar sin control propicia una defoliación prematura del cultivo (Flores *et al.*, 2012).

Tabla 5. Porcentaje de incidencia de enfermedades en el cultivo de tomate desde su aparición.

Tratamientos	Incidencia (%)					
	80 días	90 días	100 días	115 días	130 días	145 días
T1	15	40	38	58	46	58
T2	0	0	0	25	32	38
T3	2	6	21	21	42	50
T4	31	24	24	42	40	38
T5	0	2	0	21	59	37

T1 (*B. subtilis*), T2 (ácido salicílico), T3 (ácido ascórbico), T4 (*B. subtilis* + ácido salicílico), T5 (control).

Los datos expuestos en la Tabla 5 revelan que las plantas control (T5) y los tratamientos con elicitores (T2 y T3) exhibieron una incidencia nula o despreciable; mientras que, los tratamientos estimulados biológicamente como T1 (*B. subtilis*) y T4 (*B. subtilis* + SA) presentaron incidencias del 15 al 30 % llegados los 100 días desde su siembra.

3.3.2 Severidad

La severidad de la enfermedad se evaluó visualmente mediante una escala ordinal cualitativa propuesta por Pérez y Villafaña (2025), constituida por seis niveles de daño. Aunque esta escala fue desarrollada originalmente para evaluar el cancro bacteriano causado por *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* en plantas de tomate, se empleó en el presente estudio como referencia por la similitud de los síntomas observados (Tabla 6).

Tabla 6. Severidad de enfermedades en el cultivo de tomate.

Tratamientos	Severidad					
	80 días	90 días	100 días	115 días	130 días	145 días
T1	1	2	2	3	3	4
T2	0	0	0	2	3	3
T3	1	1	2	2	3	3
T4	2	2	3	3	3	3
T5	0	1	0	1	3	3

T1 (*B. subtilis*), T2 (ácido salicílico), T3 (ácido ascórbico), T4 (*B. subtilis* + ácido salicílico), T5 (control).

La ventaja real de los tratamientos inductores se consolida a partir del día 115, donde las plantas control (T5) evidencian una rápida progresión de la enfermedad, con una incidencia que se disparó en apenas 15 días, alcanzando niveles severos de necrosis y marchitez.

En contraste, el tratamiento T2 (ácido salicílico) mantuvo una incidencia nula hasta el día 100, y podría estar relacionada con el papel del ácido salicílico en la activación de respuestas defensivas sistémicas. Oussou *et al.* (2026) señalan que este compuesto participa

en la señalización asociada a la Resistencia Sistémica Adquirida (SAR), que puede involucrar mecanismos estructurales y moleculares de defensa.

Por su parte, el tratamiento combinado T4 (*B. subtilis* + SA) logró reducir la incidencia de 42 % en el día 115 a 38 % en el día 145, sosteniendo la severidad. Este comportamiento podría estar asociado con la acción conjunta de mecanismos de resistencia inducida asociados a *B. subtilis* y de señalización activada por ácido salicílico descritos en la literatura (Oussou *et al.*, 2026).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- La caracterización de los parámetros morfológicos evidenció que el tratamiento con ácido ascórbico presentó el mejor comportamiento vegetativo durante el ensayo, con valores superiores a los observados en los demás tratamientos. Mientras que, la inoculación individual con *Bacillus subtilis* favoreció el engrosamiento del tallo.
- La incidencia y severidad de los patógenos asociados a estructuras compatibles con *Fusarium* y *Oidium* variaron durante el periodo de evaluación. El ácido salicílico retrasó la aparición de síntomas, manteniendo una incidencia de 0 % hasta los 100 días. El tratamiento con *Bacillus subtilis* presentó al final del ensayo la mayor incidencia y severidad, mientras que el resto de tratamientos finalizaron con niveles de severidad moderada.
- Al comparar los efectos individuales y combinados en el control fitosanitario y desarrollo de las plantas, se demostró que el tratamiento conjunto de *Bacillus subtilis* y ácido salicílico no fue significativamente superior a las aplicaciones individuales, pero sí frente al rápido deterioro y necrosis mostrado por las plantas del tratamiento de control.

Recomendaciones

Se sugiere realizar estudios complementarios que evalúen diferentes dosis y frecuencias de aplicación de ácido salicílico, con el fin de optimizar la respuesta fitosanitaria de la planta y reducir los efectos negativos observados sobre el diámetro del tallo.

Se recomienda implementar técnicas de prevención más agresivas contra patógenos para evitar que el impacto de estos no interrumpa o retrase el ciclo del cultivo para verificar si los estímulos morfológicos observados en la etapa de vivero se traducen en un incremento real del rendimiento del fruto.

Se recomienda explorar el uso de este modelo de inoculación con elicitores en otros cultivos hortícolas de alta relevancia para la región andina y litoral de Ecuador, así como probar su eficacia frente a situaciones de estrés abiótico específicos de la zona de Santa Elena, tales como la sequía o el estrés salino.

Es necesario establecer alianzas estratégicas entre la Universidad Estatal Península de Santa Elena y las Unidades de Producción Agropecuarias locales para implementar

parcelas demostrativas. Esto permitirá transferir de forma práctica los protocolos de producción sostenible a los agricultores, promoviendo la sustitución gradual de fertilizantes químicos costosos por alternativas biológicas que preserven la salud del suelo y el medio ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbas, F., Al-Otoom, A., Al-Naemi, S., Ashraf, A., Mahasneh, H., 2024. Experimental and life cycle assessments of tomato (*Solanum lycopersicum*) cultivation under controlled environment agriculture. J. Agric. Food Res. 18, 101266. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101266>
- Aghayev, J., Hacıyeva, A., Mammadova, A., 2022. Tomato Powdery Mildew *Oidium Lycopersicum* C.M. in a Greenhouse. Eurasia Proc. Health Environ. Life Sci. 5, 88–92. <https://doi.org/10.55549/ephels.57>
- Akram, W., Sharif, S., Rehman, A., Anjum, T., Ali, B., Aftab, Z.-H., Shafqat, A., Afzal, L., Munir, B., Rizwana, H., Li, G., 2024. Exploring the Potential of *Bacillus subtilis* IS1 and *B. amyloliquificiens* IS6 to Manage Salinity Stress and Fusarium Wilt Disease in Tomato Plants by Induced Physiological Responses. Microorganisms 12, 2092. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12102092>
- Alarcon, J., Recharte, D.C., Yanqui, F., Moreno, S.M., Buendía, M.A., 2020. Fertilizar con microorganismos eficientes autóctonos tiene efecto positivo en la fenología, biomasa y producción de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill). Sci. Agropecu. 11, 67–73. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.08>
- Anchondo, A., 2011. Efecto del ácido salicílico en la bioproductividad de la fresa (*Fragaria ananassa*) cv Aromosa. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 2(2), 2011. Red Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Astija, A., 2020. Soil pH influences the development of tomato root organ (*Solanum lycopersicum* L.). Eurasia J. Biosci. 14.
- Barzee, T., Edalati, A., El-Mashad, H., Wang, D., Scow, K., Zhang, R., 2019. Digestate Biofertilizers Support Similar or Higher Tomato Yields and Quality Than Mineral Fertilizer in a Subsurface Drip Fertigation System. Front. Sustain. Food Syst. 3. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00058>
- Butselaar, T. van, Ackerveken, G.V. den, 2020. Salicylic Acid Steers the Growth–Immunity Tradeoff. Trends Plant Sci. 25, 566–576. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.02.002>
- Cervantes, T.J.Á., Fortis, M., Preciado, P., Vázquez, C., Cervantes, M.G., 2024. Fertilización Orgánica y Número de Tallos Afecta Calidad y Compuestos Bioactivos en un Híbrido de Tomate tipo Saladette. Rev. TERRA Latinoam. 42. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1848>
- Chen, B., Wang, M., Gao, T., Liu, H., Wang, X., Bai, Y., Jiang, J., Zhu, B., Zhang, D., 2026. *Bacillus subtilis* 8–32 enhances tomato growth and reshapes rhizosphere microbial communities: insights into plant-microbe interactions. Front. Plant Sci. 17. <https://doi.org/10.3389/fpls.2026.1726342>
- Chen, X., Han, H., Cong, Y., Li, X., Zhang, W., Cui, J., Xu, W., Pang, S., Liu, H., 2024. Ascorbic Acid Improves Tomato Salt Tolerance by Regulating Ion Homeostasis and Proline Synthesis. Plants 13, 1672. <https://doi.org/10.3390/plants13121672>
- Chiquito, R., Reyes, J., Troyo, E., Rueda, E., Torres, J., Amador, B., 2018. Crecimiento de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) tratadas con humato de vermicompost. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 9. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i20.989>
- Cochard, B., Giroud, B., Crovadore, J., Chablais, R., Arminjon, L., Lefort, F., 2022. Endophytic PGPR from Tomato Roots: Isolation, In Vitro Characterization and In Vivo Evaluation of Treated Tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.). Microorganisms 10, 765. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10040765>

- Daza, Y.M., Almaraz, J.J., Rodríguez, M. de las N., Angulo, A., Silva, H.V., 2022. Aislamiento de rizobacterias asociadas a tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y su potencial para promover crecimiento vegetal. ITEA Inf. Téc. Económica Agrar. Rev. Asoc. Interprofesional Para El Desarro. Agrar. AIDA 118, 345–360.
- Elkelish, A., Qari, S.H., Mazrou, Y.S.A., Abdelaal, K.A.A., Hafez, Y.M., Abu-Elsaoud, A.M., Batiha, G.E.-S., El-Esawi, M.A., El Nahhas, N., 2020. Exogenous Ascorbic Acid Induced Chilling Tolerance in Tomato Plants Through Modulating Metabolism, Osmolytes, Antioxidants, and Transcriptional Regulation of Catalase and Heat Shock Proteins. *Plants* 9, 431. <https://doi.org/10.3390/plants9040431>
- Esmailzadeh, M., Soleimani, M.J., Rouhani, H., 2008. Exogenous Applications of Salicylic Acid for Inducing Systemic Acquired Resistance Against Tomato Stem Canker Disease. *J. Biol. Sci.* 8, 1039–1044. <https://doi.org/10.3923/jbs.2008.1039.1044>
- Flores, C., Buono, S., Giorgini, S., 2012. Enfermedades de tomate: guía de consulta, 1st ed. Ediciones INTA, Yuto.
- Flores, S.S., Cordovez, V., Oyserman, B., Stopnisek, N., Raaijmakers, J.M., van 't Hof, P., 2024. The Tomato's Tale: Exploring Taxonomy, Biogeography, Domestication, and Microbiome for Enhanced Resilience. *Phytobiomes J.* 8, 5–20. <https://doi.org/10.1094/PBIOMES-09-23-0091-MF>
- Gabriel, J., Cevallos, K., Vera, R., Castro, C., Narváez, W., Burgos, G., 2022. Evaluación y selección de híbridos de tomate *Solanum lycopersicum* L. (Mill.) en Puerto la Boca, Ecuador. *J. Selva Andina Biosphere* 10, 21–31.
- Garza, C.A., Olivares, E., Vázquez, R.E., García, N.E., 2020. Clasificación de regiones para la producción en invernaderos utilizando análisis multivariado. *Nova Sci.* 12, 0–0. <https://doi.org/10.21640/ns.v12i24.2125>
- Gonzales, J., Covinos, M., 2021. Diseño y metodología de la investigación. Enfoques Consulting EIRL, Arequipa, Perú.
- González, G., Espinosa, B., Cano, P., Moreno, A., Leos, L., Sánchez, H., Sáenz, J., 2018. Influencia de rizobacterias en la producción y calidad nutracéutica de tomate bajo condiciones de invernadero. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 9, 367–379. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i2.1078>
- Guo, J., Cheng, Y., 2022. Advances in Fungal Elicitor-Triggered Plant Immunity. *Int. J. Mol. Sci.* 23, 12003. <https://doi.org/10.3390/ijms231912003>
- Guzmán, J.A., 2022. Estrategias para el fortalecimiento del modelo productivo Agroecológico en la agenda agraria de la Ecuarrunari en Ecuador al 2040.
- Ibrahim, H.A., El-Batran, H.S., Hassan, N.M.K., 2022. Impact on growth, yield and nutritional status of tomato plants grown in saline soil by vermicompost and ascorbic acid. *Int. J. Health Sci.* 6, 10134–10143. <https://doi.org/10.53730/ijhs.v6nS1.7171>
- Infantino, A., Grottoli, A., Bergamaschi, V., Oufensou, S., Burgess, L.W., Balmas, V., 2023. FusaHelp: a web site program for the morphological identification of *Fusarium* species. *J. Plant Pathol.* 105, 429–436. <https://doi.org/10.1007/s42161-023-01349-6>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2017. ANUARIO METEOROLÓGICO. Quito, Ecuador.
- Jacob, D., David, D.R., Sztjenberg, A., Elad, Y., 2008. Conditions for development of powdery mildew of tomato caused by *Oidium neolycopersici*. *Phytopathology* 98, 270–281. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-98-3-0270>
- Khazaei, Z., Esmailpour, B., Estaji, A., 2020. Ameliorative effects of ascorbic acid on tolerance to drought stress on pepper (*Capsicum annuum* L.) plants. *Physiol. Mol. Biol. Plants* 26. <https://doi.org/10.1007/s12298-020-00846-7>

- Lebeda, A., Lobin, K.K., Mieslerová, B., Křivánková, T., Kitner, M., 2024. Occurrence and epidemiological consequences of *Erysiphe neolycopersici* on tomato plants in Mauritius. *Mycol. Prog.* 23, 53. <https://doi.org/10.1007/s11557-024-01992-y>
- Loayza, H., Calderón R., A., Gutiérrez R., R.O., Céspedes F., E., Quiroz, R., 2022. Estimación de las concentraciones relativas de clorofila en folíolos de papa (*Solanum tuberosum* L.) Utilizando técnicas de reflectancia de la vegetación. *Ecol. Apl.* 21, 91–101. <https://doi.org/10.21704/rea.v21i2.1961>
- López, I., Martínez, L., Pérez, G., Reyes, Y., Núñez, M., Cabrera, J.A., 2021. Uso de bioestimulantes en el cultivo del garbanzo. *Cultiv. Trop.* 42.
- Martin, R., 2012. Efecto positivo de aplicaciones de ácido salicílico en la productividad de papaya (*Carica papaya*). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3(8), 2012. Red Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Morales Santos, T.M., Sánchez Hernández, H., 2022. Mecanismos inmunológicos en las plantas. *Ciencia* 73, 7.
- Ogidan, O.A., Oluwasemire, K.O., Akinboade, O.A., Adesida, O.A., Ekaun, A.A., 2024. Growth And Yield Of Tomato As Influenced By Water Stress At Different Phenological Stages. *Glob. J. Agric. Sci.* 23, 1–11. <https://doi.org/10.4314/gjass.v23i1.1>
- Oussou, R., La Camera, S., Marivngt, C., Chollet, J., 2026. Salicylic acid: a key natural foundation for next-generation plant defense stimulators. *Pest Manag. Sci.* 82, 2165–2176. <https://doi.org/10.1002/ps.70389>
- Oyoque, G., Gutiérrez, O.G., Hernández, O.F., Raya, J.C., Covarrubias, J., Gutiérrez, G.M., Angoa, M.V., Oregel, E., Aguirre, C.L., 2025. Evaluation of Root Films with *Bacillus subtilis* for Establishment and Growth Promotion in Tomato. *Plants* 14, 3716. <https://doi.org/10.3390/plants14243716>
- Pérez, L.L., Villafaña, A., 2025. Escala Ordinal Cualitativa de Severidad por *Clavibacter Michiganensis* sub sp. *Michiganensis* (Smith) en Jitomate: Qualitative Ordinal Scale of Severity Caused by *Clavibacter Michiganensis* subsp. *Michiganensis* (Smith) in Tomato. *Biotechnol. Sustentabilidad* 10. <https://doi.org/10.57737/g65pak43>
- Portal, N. de la F., 2017. Metabolitos en filtrados de cultivos de dos cepas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *Cubense* involucrados en la respuesta del banano (*Musa* spp.) al marchitamiento por *Fusarium*. Editorial Universitaria.
- Qadir, A., Anjum, M.A., Nawaz, A., Ejaz, S., Hassan, A., Shahid, R., Altaf, M., 2019. Growth of Cherry Tomato in Response to Salicylic Acid and Glycinebetaine under Water Stress Condition. *Middle East J. Agric. Res.* 8.
- Qasim, M., Akutse, K.S., Hussain, D., Al-Zoubi, O.M., Mustafa, T., Aguila, L.C.R., Alamri, S., Hashem, M., Wang, L., 2022. Powdery Mildew Fungus *Oidium lycopersici* Infected-Tomato Plants Attracts the Non-Vector Greenhouse Whitefly, *Trialeurodes vaporariorum*, but Seems Impair Their Development. *Agronomy* 12, 2791. <https://doi.org/10.3390/agronomy12112791>
- Rahman, M.A., Zakaria, M., Mia, M., Biswas, M.S., 2022. Ascorbic Acid Influences on Growth and Yield of Tomato. *Ann. Bangladesh Agric.* 25, 55–65. <https://doi.org/10.3329/aba.v25i1.58155>
- Schoch, C.L., Ciufo, S., Domrachev, M., Hotton, C.L., Kannan, S., Khovanskaya, R., Leipe, D., Mcveigh, R., O'Neill, K., Robbertse, B., Sharma, S., Soussov, V., Sullivan, J.P., Sun, L., Turner, S., Karsch, I., 2020. NCBI Taxonomy: a comprehensive update on curation, resources and tools. *Database* 2020, baaa062. <https://doi.org/10.1093/database/baaa062>

- Shah, M., Wang, Y., Shu, S., Zhong, M., Chen, Z., Wu, J., Sun, J., Guo, S., 2019. El ácido salicílico exógeno aumenta la tolerancia al calor en el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) mejorando la eficiencia de la fotosíntesis y mejorando el sistema de defensa antioxidante mediante la eliminación de especies reactivas de oxígeno. *Sci. Hortic.* 247, 421–429. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.12.047>
- Singh, P., Singh, J., Ray, S., Rajput, R.S., Vaishnav, A., Singh, R.K., Singh, H.B., 2020. Seed biopriming with antagonistic microbes and ascorbic acid induce resistance in tomato against *Fusarium* wilt. *Microbiol. Res.* 237, 126482. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126482>
- Soto, J.O., Álvarez, M.S., Vásquez, J.E.V., Ricardo, G.B.R., 2024. Evaluación físico, químico y microbiológico del suelo en cultivos de *Musa paradisiaca* Cavendish y *Elaeis guineensis* Jac. Provincia de los Ríos. *Rev. Alfa* 8, 110–125. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v8i22.252>
- Soto, J., Andrade, V., Solís, L., Vera, J., Muyudumbay, A., Perero, A., 2026. Rhizospheric plant growth-promoting bacteria (PGPR) in corn plants. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia* 43, e264309–e264309.
- Sreedevi, S.C., 2022. Characterization and Epidemiology of *Fusarium* Wilt in Tomato under Subtropical Conditions. *Plant Sci. Rev.* 3, 1–3. <https://doi.org/10.51470/PSR.2022.03.02.01>
- Suazo, B.R., Martínez, S.B., Puig, M.L., Maiale, S.J., Garbi, M., 2023. Periodo de cosecha y producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) injertado y conducido a más de un eje, bajo invernadero. *Chil. J. Agric. Amp Anim. Sci.* 39, 23–34. <https://doi.org/10.29393/chjaa39-3pcbm50003>
- Sundaramoorthy, S., Balabaskar, P., 2013. Evaluation of combined efficacy of *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis* in managing tomato wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Fol).
- Torres P., A. (Ed.), 2017. Manual de cultivo del Tomate al aire libre.
- Velarde, L., Vásquez, I., Souza, J.D., Solórzano, R., Sarmiento, G., 2021. Aislamiento e identificación de potenciales rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal de una planta nativa que crece en condiciones áridas. *Agroindustrial Sci.* 11, 297–303. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.03.07>
- Velasco, L.V., Corlay, L., Cruz, J.A., Hernández, A., 2024. la Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en la producción de plántulas de tomate. *Curr. Top. Agron. Sci.* 4. <https://doi.org/10.5154/r.ctas.2024.0310>
- Yang, Y., Wang, Y., Gao, J., Shi, Z., Chen, W., Huangfu, H., Li, Z., Liu, Y., 2024. Characterisation of *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* in Infected Tomatoes in Inner Mongolia, China. *J. Fungi* 10, 622. <https://doi.org/10.3390/jof10090622>
- Zamora, D., Rodríguez, P., Ferrer, A., Fung, Y., Isaac, E., Asanza, G., 2020. Producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo riego con agua magnetizada en casa de cultivo protegido. *Cienc. En Su PC* 1, 60–74.

ANEXOS



Figura 1A. Absorbancia de *Bacillus subtilis* medida por espectrofotometría.



Figura 2A. Siembra de semillas de tomate inoculadas con *Bacillus subtilis*.



Figura 4A. Sustrato esterilizado para el trasplante de las plántulas de tomate.



Figura 3A. Elictores utilizados para formulación de soluciones.



Figura 5A. Herramientas de medición para largo y diámetro del tallo.



Figura 6A. Inoculación de *Bacillus subtilis* conforme al periodo de 30 días.



Figura 7A. Medios de cultivo esterilizados para siembra de *Bacillus subtilis*.



Figura 8A. Medio LMA recién inoculado con *Bacillus subtilis*.



Figura 9A. Sustrato esterilizado en autoclave.

30 días

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
30 días	20	0,96	0,95	7,59

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	15575,88	4	3893,97	89,86	<0,0001
Tratamientos	15575,88	4	3893,97	89,86	<0,0001
Error	650,01	15	43,33		
Total	16225,89	19			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 43,3339 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
3	122,53	4	3,29	A
2	117,61	4	3,29	A
4	75,65	4	3,29	B
5	59,21	4	3,29	C
1	58,82	4	3,29	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 10A. ANOVA longitud de plantas de tomate a los 30 días.

45 días

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
45 días	20	0,96	0,95	8,73

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	91244,82	4	22811,20	89,66	<0,0001
Tratamientos	91244,82	4	22811,20	89,66	<0,0001
Error	3816,08	15	254,41		
Total	95060,89	19			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 254,4051 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
3	312,98	4	7,98	A
1	183,13	4	7,98	B
2	144,21	4	7,98	C
5	142,59	4	7,98	C
4	130,27	4	7,98	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 11A. ANOVA longitud de plantas de tomate a los 45 días.

60 días

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
60 días	20	0,96	0,95	8,51

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	296969,34	4	74242,33	100,51	<0,0001
Tratamientos	296969,34	4	74242,33	100,51	<0,0001
Error	11079,97	15	738,66		
Total	308049,31	19			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 738,6646 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
3	556,24	4	13,59	A
4	312,76	4	13,59	B
5	257,86	4	13,59	C
2	238,54	4	13,59	C
1	231,20	4	13,59	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 12A. ANOVA longitud de plantas de tomate a los 60 días.

75 días

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
75 días	20	0,94	0,93	7,48

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	352811,06	4	88202,77	62,31	<0,0001
Tratamientos	352811,06	4	88202,77	62,31	<0,0001
Error	21233,95	15	1415,60		
Total	374045,01	19			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 1415,5964 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
3	761,75	4	18,81	A
5	478,40	4	18,81	B
2	466,22	4	18,81	B
4	405,38	4	18,81	C
1	404,19	4	18,81	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 13A. ANOVA longitud de plantas de tomate a los 75 días.

90 días

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
90 días	20	0,93	0,91	6,87

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	386640,15	4	96660,04	46,28	<0,0001
Tratamientos	386640,15	4	96660,04	46,28	<0,0001
Error	31327,86	15	2088,52		
Total	417968,01	19			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 2088,5239 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.
3	914,08	4	22,85 A
2	694,18	4	22,85 B
5	629,23	4	22,85 B C
1	581,41	4	22,85 C
4	505,30	4	22,85 D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 14A. ANOVA longitud de plantas de tomate a los 90 días.

120 días

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
120 días	20	0,90	0,87	8,02

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	527317,49	4	131829,37	33,38	<0,0001
Tratamientos	527317,49	4	131829,37	33,38	<0,0001
Error	59232,23	15	3948,82		
Total	586549,72	19			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 3948,8150 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.
3	1062,06	4	31,42 A
2	842,43	4	31,42 B
5	762,30	4	31,42 B
4	626,38	4	31,42 C
1	623,43	4	31,42 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 15A. ANOVA longitud de plantas de tomate a los 120 días.

150 días

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
150 días	20	0,93	0,92	7,22

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1155011,84	4	288752,96	53,84	<0,0001
Tratamientos	1155011,84	4	288752,96	53,84	<0,0001
Error	80443,45	15	5362,90		
Total	1235455,29	19			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 5362,8967 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.
3	1385,68	4	36,62 A
2	1106,31	4	36,62 B
5	1075,81	4	36,62 B
4	763,55	4	36,62 C
1	739,15	4	36,62 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 16A. ANOVA longitud de plantas de tomate a los 150 días.

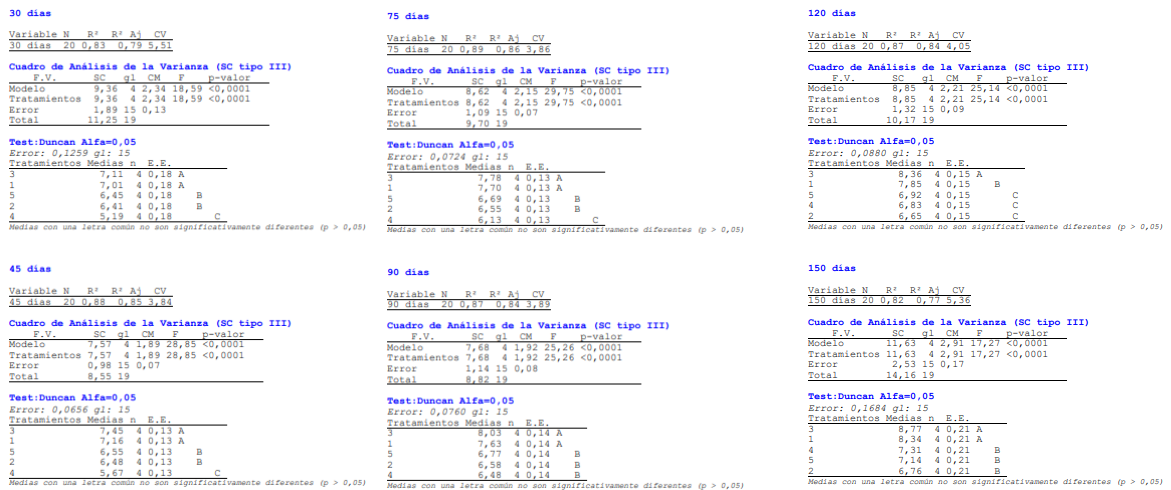


Figura 17A. ANOVA grosor de plantas de tomate 30, 45, 75, 90, 120 y 150 días.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² A _j	CV
SPAD	110	0,07	0,04	7,64

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	45,85	4	11,46	2,05	0,0927
TRATAMIENTOS	45,85	4	11,46	2,05	0,0927
Error	587,17	105	5,59		
Total	633,02	109			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 5,5921 gl: 105

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.
3	31,71	22	0,50 A
4	31,67	22	0,50 A
1	30,79	22	0,50 A B
2	30,51	22	0,50 A B
5	30,07	22	0,50 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Figura 18A. ANOVA SPAD plantas de tomate a los 150 días.