



unl

Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Agronomía

Efecto de bacterias rizosféricas en la germinación y crecimiento del pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo invernadero.

Trabajo de Integración Curricular,
previa a la obtención del título de
Ingeniera Agrónoma

AUTORA:

Gabriela Maritza Tinoco Gualán

DIRECTOR:

Ing. Ángel Rolando Robles Carrión PhD.

Loja – Ecuador

2024

Certificación

Loja, 07 de agosto de 2023

Ing. Ángel Rolando Robles Carrión PhD.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Efecto de bacterias rizosféricas en la germinación y crecimiento del pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo invernadero** de la autoría del estudiante **Gabriela Maritza Tinoco Gualán**, con **cedula de identidad Nro. 1106078635**, cada vez que el estudiante cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

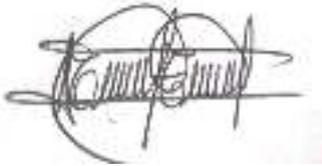


Ing. Ángel Rolando Robles Carrión PhD.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

Yo, Gabriela Maritza Tinoco Gualán, declaro ser autora del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional-Biblioteca Virtual.



Firma:

Cédula de identidad: 1106078635

Fecha: 7 de agosto de 2023

Correo electrónico: gabriela.tinoco@unl.edu.ec

Teléfono: 0989055230

Carta de autorización por parte de la autora, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Integración Curricular

Yo, **Gabriela Maritza Tinoco Gualán**, declaro ser autora del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Efecto de bacterias rizosféricas en la germinación y crecimiento del pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo invernadero**, como requisito para optar por el título de **Ingeniera Agrónoma**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular o de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 06 días del mes de febrero de dos mil veinticuatro.

Firma:



Autora: Gabriela Maritza Tinoco Gualán

Cédula: 1106078635

Dirección: Carigán

Correo electrónico: gabriela.tinoco@unl.edu.ec

Teléfono: 0989055230

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Integración Curricular: Ing. Ángel Rolando Robles Carrión PhD.

Dedicatoria

Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber (Albert Einstein).

El presente Trabajo de Integración Curricular se lo dedico primeramente a Dios y la Virgen del Cisne por brindarme vida, salud y por permitirme llegar a instancias finales de mi carrera, la cual no ha sido fácil sin embargo con dedicación y mucho esfuerzo lo estoy logrando.

También se lo dedico a mis queridos padres Carlos Orellana y Martha Gualán los cuales fueron mi apoyo no solo económico sino también emocional pues con sus palabras de aliento e infinitos consejos, me ayudaron a continuar cuando yo me estaba rindiendo y esto me impulso para seguir adelante y poder llenarlos de orgullo al culminar mi carrera y obtener el título.

A mi hermano Cristian Orellana, mi prima hermana Verónica Sarango y demás familia les doy las gracias por acompañarme en este proceso por sentirse orgullosos de mi por el simple hecho de haber decidido continuar mis estudios universitarios y poder ser la primera en la familia que logre obtener un título.

Gabriela Maritza Tinoco Gualán

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Nacional de Loja a la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, y a la Carrera de Agronomía que me brindaron la oportunidad y el espacio de formarme, a todos mis maestros que fueron parte fundamental de este proceso gracias a que me exigieron ahora en la actualidad estoy logrando culminar una etapa importante en mi vida.

Así mismo le doy las gracias a la Ing. Marina Mazón por el tiempo que se tomó para guiarme y orientarme con sus consejos, sugerencias y por la paciencia que me tuvo para mejorar mi proyecto de investigación y prepararme para la fase final que es la disertación.

Agradezco a mis amigos Adrian Achupallas y Mariana Guamán quienes fueron parte importante en la ejecución de mi Trabajo de Integración Curricular, gracias por la paciencia, dedicación y apoyo que me brindaron ya que sin su ayuda no hubiera sido posible llegar a estas instancias.

Gabriela Maritza Tinoco Gualán

Índice de Contenido

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimientos	vi
Incidencia de contenidos	viii
Indice de tablas.....	vix
Indice de figuras	vix
Indice de anexos	x
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract.....	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	6
4.1. Pimiento	6
4.1.1. <i>Morfología</i>	6
4.1.2. <i>Fenología</i>	7
4.1.3. <i>Tecnología del pimiento</i>	8
4.2. Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal	9
4.2.1. <i>Clasificación de las rizobacterias de interés</i>	9
4.3. Antecedentes	10
5. Metodología	11
5.1. Localización del estudio	11
5.1.1. <i>Ubicación geográfica y condiciones climáticas</i>	11
5.2. Metodología general	12
5.2.1. <i>Tipo y alcance de investigación</i>	12
5.2.3. <i>Diseño experimental</i>	12
5.2.4. <i>Modelo matemático del diseño</i>	13
5.2.5. <i>Diseño de campo</i>	13

5.3. Metodología para el primer objetivo específico:	13
5.3.1. <i>Variables a evaluar</i>	13
5.4. Metodología para el segundo objetivo:	14
5.4.1. <i>Variables a evaluar</i>	14
5.5. Análisis estadístico.....	15
6. Resultados	16
6.1. Resultados para el primer objetivo específico.	16
6.2. Resultados para el segundo objetivo específico.....	20
7. Discusión	27
7.1. Discusión para el primer objetivo	27
7.2. Discusión para el segundo objetivo específico	28
8. Conclusiones	32
9. Recomendaciones	33
10. Bibliografía	34
11. Anexos	41

Índice de Tablas

Tabla 1. Clasificación taxonómica del pimiento.....6

Tabla 2. Delineamiento del ensayo (DCA) en pimiento (*Capsicum annum* L.), detalle de los tratamientos de cada unidad experimental 12

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio en la Quinta Experimental Docente “La Argelia”..... 11

Figura 2. Esquema del diseño experimental en campo con la aplicación de bacterias rizosféricas en el pimiento siendo 6 repeticiones y 5 tratamientos: T1=*Azospirillum* sp., T2=*Azotobacter* sp., T3=*Pseudomonas* sp., T4=NewGibb, T5=Testigo..... 13

Figura 3. Porcentaje de germinación de las semillas de pimiento para los diferentes tratamientos aplicados a los 15 dds. Las letras superiores indican diferencias significativas entre cada tratamiento ($p > 0,05$)..... 16

Figura 4. Curva de crecimiento de las plántulas de pimiento para los diferentes tratamientos aplicados a los 25, 33 y 41 días después de la siembra..... 17

Figura 5. Diámetro del tallo de las plántulas de pimiento para los diferentes tratamientos aplicados a los 30 días después de la siembra. Las letras superiores indican diferencias significativas entre cada tratamiento ($p > 0,05$)..... 18

Figura 6 Longitud de la raíz de las plántulas de pimiento para los diferentes tratamientos aplicados a los 45 días después de la siembra. Las letras superiores indican diferencias significativas entre cada tratamiento ($p > 0,05$)..... 19

Figura 7 Curva de crecimiento de las plantas de pimiento para los diferentes tratamientos aplicados a los 5, 20, 35, 50, 65, 80, 95, 110 días después del trasplante..... 20

Figura 8. Área foliar de las plantas de pimiento para los diferentes tratamientos aplicados a los 60, 90, y 120 días después del trasplante. 21

Figura 9. Número de frutos por planta luego de la última evaluación realizada para los diferentes tratamientos aplicados..... 22

Figura 10. Longitud del fruto de pimiento registrados al final del ensayo, de los diferentes tratamientos. Las letras superiores indican diferencias significativas entre cada tratamiento ($p > 0,05$)..... 23

Figura 11. Diámetro del fruto de pimiento registrados al final del ensayo, de los diferentes tratamientos. Las letras superiores indican diferencias significativas entre cada tratamiento ($p > 0,05$).....24

Figura 12. Peso de materia fresco de las plantas de pimiento registrados al final del ensayo, con los diferentes tratamientos.....25

Figura 13. Peso de materia seca de las plantas de pimiento registrados al final del ensayo, con los diferentes tratamientos. Las letras superiores indican diferencias significativas entre cada tratamiento ($p > 0,05$).....26

Índice de anexos

Anexo 1. Semillas híbridas de pimiento adquiridas para la siembra..... 12

Anexo 2. Inoculación de las rizobacterias y el producto químico a las semillas de pimiento en fase de semillero..... 12

Anexo 3. Germinación de las semillas de pimiento por cada tratamiento..... 13

Anexo 4. Medición del diámetro del tallo a los finalizando la fase de semillero..... 14

Anexo 5. Medición de la longitud de la raíz a los 45 finalizando la fase de semillero..... 14

Anexo 6. Esterilización de la mezcla de tierra, arena y turba en proporción 2:1:1 respectiva para llenar en las fundas de polietileno. 14

Anexo 7. Trasplante de las plántulas de pimiento en las fundas de polietileno realizado a los 45 dds..... 14

Anexo 8. Segunda inoculación de las rizobacterias y el producto químico a las plántulas de pimiento después del trasplante..... 14

Anexo 9. Medición del diámetro del fruto con el calibrador de Vernier..... 15

Anexo 10. Pesado de las muestras de materia fresca en la balanza digital por cada tratamiento..... 15

Anexo 11. Colocación de las muestras de materia fresca en la estufa por cada tratamiento para el respectivo secado..... 15

Anexo 12. Pesado de las muestras de materia seca en la balanza digital por cada tratamiento..... 15

Anexo 13. Certificado de la traducción del resumen.....44

1. Título

Efecto de bacterias rizosféricas en la germinación y crecimiento del pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo invernadero

2. Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo determinar el efecto de bacterias rizosféricas en la germinación y crecimiento del pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo invernadero. Se utilizaron semillas híbridas de Marcato F1, inoculadas con tres tipos de bacterias: *Azospirillum* sp., *Azotobacter* sp. y *Pseudomonas* sp., el experimento tuvo un diseño de bloques completamente al azar con 5 tratamientos (T1=*Azospirillum* sp., T2=*Azotobacter* sp., T3=*Pseudomonas* sp., T4=NewGibb, T5=Testigo); y 6 repeticiones. Se evaluaron parámetros relacionados a la germinación, desarrollo vegetativo, reproductivo y acumulación de biomasa; en semillero se determinó: germinación, altura de la planta, diámetro del tallo, longitud de raíz y en invernadero: altura de la planta, área foliar, número de frutos, longitud y diámetro del fruto, materia fresca y seca. El mejor tratamiento fue (*Pseudomonas* sp.) que mejoro en la mayoría de variables de crecimiento y producción del pimiento. Finalmente, los resultados obtenidos en el presente estudio representan opciones sustentables para sustituir de manera total o parcial a los fertilizantes sintéticos de uso convencional como una alternativa prometedora para incrementar la producción agrícola de una manera más sostenible.

Palabras clave: Bacterias rizosféricas, Crecimiento, Producción, Agricultura sostenible.

2.1. Abstract

The objective of this research was to determine the effect of rhizospheric bacteria on the germination and growth of pepper (*Capsicum annuum* L.) under a greenhouse. Hybrid seeds of Marcato F1 were used, inoculated with three types of bacteria: *Azospirillum* sp., *Azotobacter* sp. and *Pseudomonas* sp., the experiment had a completely randomized block design with 5 treatments (T1=*Azospirillum* sp., T2=*Azotobacter* sp., T3=*Pseudomonas* sp., T4=NewGibb, T5=Control); and 6 repetitions. Parameters related to germination, vegetative and reproductive development and biomass accumulation were evaluated; In the seedbed it was determined: germination, plant height, stem diameter, root length and in the greenhouse: plant height, leaf area, number of fruits, fruit length and diameter, fresh and dry matter. The best treatment was (*Pseudomonas* sp.) that improved in most variables of pepper growth and production. Finally, the results obtained in the present study represent sustainable options to totally or partially replace synthetic fertilizers for conventional use as a promising alternative to increase agricultural production in a more sustainable way.

Keywords: Rhizospheric bacteria, Growth, Production, Sustainable agriculture.

3. Introducción

El pimiento (*Capsicum annuum* L.) es una hortaliza cuyo consumo aporta múltiples beneficios nutricionales para la salud humana, destacando su riqueza en fibra, vitaminas C y B, así como de compuestos bioactivos útiles para el sistema nervioso y cerebral (Pinto, 2013). En Ecuador se cultivan más de 500 ha de pimiento con una mayor superficie en la provincia de Santa Elena con 150 ha, seguida de la Sierra Norte, Manabí y Loja (Jara, 2019).

El uso intensivo y dependencia de fertilizantes sintéticos puede comprometer la fertilidad edáfica a mediano plazo, además de generar impactos variables en la composición y funcionalidad de las comunidades microbianas del suelo (Zaidi *et al.*, 2015). Así mismo, la utilización inadecuada está asociada a la contaminación de aguas freáticas, emanación de gases de efecto de invernadero, bioacumulación de sustancias de toxicas y alteraciones en la fracción orgánica y biótica del suelo, provocando desequilibrios ecológicos en agroecosistemas (Marquina *et al.*, 2018). Además del abuso de fertilizantes, el cultivo de pimiento en particular presenta limitantes específicas que repercuten en su rendimiento y fenología, entre ellos, una bajo porcentaje germinativo y retraso en la tasa de emergencia, según la variedad y fase de desarrollo de la semilla (Ayala *et al.*, 2014). Según FAO (2006), el mayor rendimiento del cultivo se debe fundamentalmente al uso de híbridos mejorados, optimización del riego y fertilización.

Ante la utilización desmedida de insumos sintéticos, los productores están interesados en nuevos sistemas de producción para aumentar los rendimientos y así obtener productos de excelente calidad, es por ello que se han diseñado alternativas de producción agrícola sostenible e inocuas para los recursos naturales. Una de estas alternativas es el uso de biofertilizantes provenientes de diversos microorganismos benéficos, como las rizobacterias que promueven el crecimiento de las plantas, entre las más destacadas se encuentran las especies distribuidas en los siguientes géneros: *Azotobacter*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Rhizobium*, *Azospirillum*, entre otros de importancia agrícola (Hernández *et al.*, 2018).

En los últimos años se han originado investigaciones acerca de las interacciones que tienen las rizobacterias en cultivos agrícolas y los beneficios tangibles que poseen como una estrategia para reducir del tiempo de emergencia, aumento de la tasa germinativa, promoción del crecimiento vegetal y disminución del uso de fertilizantes sintéticos. Sin embargo, aún no se han realizado trabajos de pimiento en el Ecuador, por lo que estos estudios son importantes

para encontrar interacciones efectivas entre las rizobacterias en este cultivo y en otros de interés económico (Hernández *et al.*, 2018).

Con el propósito de analizar el efecto de bacterias rizosféricas en la germinación y crecimiento del pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo invernadero, se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo general

- Determinar el efecto de bacterias rizosféricas en la germinación, desarrollo y crecimiento del pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo invernadero.

Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de la inoculación de rizobacterias sobre la germinación y desarrollo de plántulas de pimiento en semillero.
- Analizar la eficiencia de rizobacterias en el desarrollo y producción de pimiento bajo invernadero.

4. Marco teórico

4.1. Pimiento

El género *Capsicum*, tiene su centro de origen en América tropical y subtropical (México, Perú y Bolivia). En el siglo XV se conoció que lo llevaron a Europa y luego se expandió al resto del mundo. En la actualidad se han identificado 25 especies diferentes, aunque las más conocidas se restringen solo a cinco: *Capsicum annuum* (pimiento y ajíes), *Capsicum chinense* (ají habanero), *Capsicum frutescens* (ají Tabasco), *Capsicum baccatum* (ají Andino) y *Capsicum pubescens* (Pino, 2018).

En la Tabla 1 se presenta la clasificación botánica según el Sistema integrado de información taxonómica (ITIS, 2023).

Tabla 1. Clasificación taxonómica del pimiento

Reino	Plantae
Filo	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Género	<i>Capsicum</i>
Especie	<i>Capsicum annuum</i> L.

Fuente: Sistema integrado de información taxonómica (ITIS, 2023).

4.1.1. Morfología

Según Chiriboga (2019), la morfología del pimiento es la siguiente:

- **Planta:** herbácea perenne con ciclo de cultivo anual. Su porte es variable, oscilando entre 0,5 m en ciertos genotipos a campo abierto y más de 2 m en la mayoría de híbridos bajo invernadero.
- **Sistema radicular:** profundas y pivotantes, con un rango entre 50 cm a 1 m de longitud, además, la planta desarrolla raíces adventicias horizontales, el tamaño de extensión de las raíces depende de las características edáficas como profundidad y textura.
- **Tallo:** crecimiento vertical limitado. Tras alcanzar una altura determinada, emite entre 2 a 3 ramificaciones primarias.

- **Hojas:** enteras de contorno lanceolado, con punta alargada y peciolo alargado poco marcado. Son lisas al tacto y su color verde varía según la variedad.
- **Flores:** pequeñas, blancas y solitarias en cada nudo de la planta, la polinización es principalmente autógena, aunque puede presentarse hasta un 10 % de polinización cruzada.
- **Fruto:** baya hueca, semicartilaginosa, puede tener diferentes colores como verde, rojo, amarillo, naranja, violeta o blanco, desde unos pocos gramos hasta más de 500.
- **Semilla:** redondeadas, levemente reniforme, de color amarillo pálido y longitud variable entre 3 y 5 cm.

4.1.2. Fenología

- **Germinación**

Se encuentra condicionados por factores ambientales como disponibilidad hídrica, temperatura, oxigenación y luminosidad. El estado de la plántula, caracterizado por la presencia de cotiledones expandidos y hojas verdaderas en crecimiento activo, se alcanza en un rango de 35 a 40 días después de la siembra bajo condiciones controladas. Este constituye el momento óptimo para la realización del trasplante al sitio definitivo (Moreno *et al.*, 2011).

- **Crecimiento vegetativo**

Es de crecimiento limitado por lo que el tallo principal se ramifica en dos o más brazos una vez que alcanza cierta altura. En dichas ramificaciones crecen de una a tres hojas por entrenudo, bifurcándose, logrando que en cada ramificación se forme un fruto. El manejo agronómico busca equilibrar el desarrollo vegetativo y reproductivo para maximizar el número y calidad de los frutos (Sánchez *et al.*, 2017).

- **Floración- inducción a floración**

La aparición de las primeras flores usualmente ocurre tras la formación de 10 a 12 hojas, dependiendo de la variedad y condiciones del cultivo. Al iniciarse la floración comienza la ramificación del tallo mediante ‘horquillas o cruces’, el estigma se mantiene receptivo por 5 a 7 días. El grano del polen requiere temperaturas de 20 a 25 °C para germinar y desarrollar el tubo polínico sobre el estigma (Pino M. d., 2018).

- **Cuaje o establecimiento de frutos**

El pimiento genera una alta cantidad de flores, pero solo un pequeño porcentaje logra cuajar los frutos, siendo común la abscisión o caída floral en esta especie. La tasa de cuaje oscila entre el 8 y 25 % del total de flores, en función de factores como los frutos cuajados y cosechados previamente del número de ramificaciones que posea la planta, por tanto, la magnitud de abscisión y cuaje responde a la capacidad reproductiva integral de la planta condicionada genética y ambientalmente (Pino M. d., 2018).

- **Fructificación: Crecimiento del fruto - Maduración**

El periodo comprendido entre la antesis floral y madurez fisiológica del fruto abarca de 120 a 180 días tras el trasplante, siendo dependiente de las condiciones climáticas. La temperatura óptima para el desarrollo del fruto es de 21° C, no obstante, las temperaturas antes de la floración también condicionan la conformación del mismo, es por ello, que las temperaturas nocturnas de 8 a 10 °C previas a la floración promueven mayor cuaje que rangos de 18 a 20 °C (Pino M. d., 2018).

4.1.3. Tecnología del pimiento

- **Preparación del suelo**

Se debe efectuar mediante una labranza primaria y secundaria, lo que implica un subsolado, un pase de arado, uno de rastra y finalmente el trazado de camas o surcos elevados mediante implementos específicos. El objetivo es generar un lecho de siembra mullido, nivelado y libre de terrones, facilitando la incorporación de enmiendas y fertilizantes en la capa cultivable mediante un paso final del rotocultivador. Este conjunto estandarizado de labores asegura las condiciones físicas, químicas y biológicas óptimas del suelo (Jara, 2019).

- **Marcos de plantación**

Los más frecuentemente son de 1 m entre hilera y 0,5 m sobre hilera. Además, suelen disponerse en hileras dobles con una distancia entre hileras de 0,80 m a 1,2 m. Cada par de hileras está diseñado para facilitar el trabajo cultural y evitar daños no deseados en los cultivos (Pino, 2018).

- **Tutorado**

El tutorado implica sujetar la planta a estacas verticales mediante pinzas o abrazaderas con cintas de rafia, proporcionando apoyo para el crecimiento de tallos y ramas, evitando la

inclinación y la eventual rotura de entrenudos frágiles, optimizando el rendimiento al sostener la carga creciente de hojas y frutos (Pilay, 2022).

4.2. Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal

Las rizobacterias constituyen un diverso grupo microbiano que se alojan cerca de las raíces, estableciendo interacciones benéficas, neutras o perjudiciales, siendo las dos primeras predominantes. Dichas asociaciones radicales han sido determinantes en la adaptación y productividad de las plantas a lo largo de su evolución. Diversas investigaciones han encontrado que algunas bacterias que viven en la rizosfera pueden beneficiar directamente el crecimiento, producción y salud de las plantas mediante varios mecanismos: fijación de nitrógeno atmosférico, solubilización de fósforo, potasio y otros nutrientes del suelo, así como la síntesis de fitohormonas estimuladoras del desarrollo de la planta hospedera (Velasco *et al.*, 2020).

4.2.1. Clasificación de las rizobacterias de interés

- ***Pseudomonas sp.***

Son bacterias en forma de pequeños bastoncillos que no forman esporas, que pueden adaptarse y colonizar diferentes tipos de suelos debido a sus características genéticas y amplias capacidades metabólicas. También ayudan indirectamente a las plantas al promover su crecimiento y desarrollo, además de producir sustancias que combaten hongos y otras bacterias dañinas, compiten por los nutrientes del suelo (dejando menos disponibles para los microbianos perjudiciales), producen compuestos que capturan hierro necesario para el crecimiento de patógenos, e inducen mecanismos de defensa en la propia planta (Álvarez *et al.*, 2020).

- ***Azospirillum sp.***

Es un género bacteriano común de suelos agrícolas, se caracteriza por su habilidad natural para promover el crecimiento de las plantas, estas bacterias se adhieren a las raíces de las plantas y ayudan positivamente al desarrollo y productividad de los cultivos, aumentando la biomasa de raíces, tallos y hojas. Los efectos benéficos se atribuyen principalmente a que excretan sustancias reguladoras como las auxinas, que facilitan a la absorción de agua y nutrientes por parte de la planta (Domingues *et al.*, 2020).

- ***Azotobacter sp.***

Ha sido utilizada ampliamente en la agricultura ya que aporta a la planta hasta el 50 % de nitrógeno que necesita, fijándolo desde la atmósfera, además le proporciona otras sustancias activas estimuladoras del desarrollo vegetal (González *et al.*, 2012).

4.3. Antecedentes

Pérez & Sánchez (2017) mencionan que realizaron un estudio en zonas del Caribe Colombiano donde seleccionaron, caracterizaron y aplicaron bacterias promotoras del crecimiento vegetal de los géneros *Azotobacter* sp., *Azospirillum* sp. y *Pseudomonas* sp. nativas de la rizosfera de cultivos de *Ipomoea batatas*, obteniendo incrementos en parámetros de crecimiento como: longitud radicular, altura, peso seco, aéreo y radicular en plántulas de *Ipomoea batatas* en invernadero frente a plántulas sin inocular. Debido a estas respuestas benéficas, concluyeron que los microorganismos evaluados exhibían un uso potencial como biofertilizantes.

En Venezuela, realizaron un estudio para ver el efecto de seis tipos de bacterias en la germinación de semillas de pimentón var. Cacique Gigante (Marquina *et al.*, 2018). Después de almacenarlas, el vigor de las semillas disminuyó del 98 % al 75 %, pero al inocularlas con las bacterias la germinación aumentó entre un 13 % y 23 %, germinando un día antes que las no inoculadas. Después de 55 días de crecimiento, las plantas inoculadas con triptófano tenían raíces y tallos más largos, y más peso seco, lo que indica que la inoculación de semillas de pimiento con rizobacterias es una alternativa para aumentar la germinación de las plantas y el posterior crecimiento de las semillas.

Buono & Ulla (2016) mencionan que realizaron un estudio en Argentina, para determinar el efecto de la inoculación con bacterias solubilizadoras de fosfato en tabaco y pimiento bajo condiciones controladas. Los resultados mostraron que los tratamientos con *P. fluorescens*, *Pseudomonas* sp. y *Bacillus amyloliquefaciens* promovieron el crecimiento aéreo en pimiento, mientras que en tabaco esto se logró solo con *B. amyloliquefaciens*. En conclusión, el tratamiento con *P. fluorescens* estimuló el crecimiento de raíces y aumentó los niveles de fósforo en las hojas en ambos cultivos.

5. Metodología

5.1. Localización del estudio

La presente investigación se realizó en el invernadero de la quinta experimental docente la Argelia de la Universidad Nacional de Loja, perteneciente a la parroquia Punzara, cantón y provincia de Loja.

En la figura 1 se muestra la localización de estudio, donde se observa la cabecera cantonal de Loja y la parroquia en la cual se está desarrollando el experimento.



Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio en la Quinta Experimental Docente “La Argelia”.

Fuente: elaboración propia.

5.1.1. Ubicación geográfica y condiciones climáticas

Geográficamente se ubica en las siguientes coordenadas:

- Latitud: 4° 2' 0,26" Sur
- Longitud: 79° 11' 58,35" Oeste
- Altitud: 2155 msnm

Según los datos reportados por la estación meteorológica la Argelia las condiciones climáticas son las siguientes: temperatura media anual de 17 °C, temperatura máxima de 28 °C, humedad relativa máxima de 80 % y una velocidad del viento media de 7,8 km/s/h.

5.2. Metodología general

El trabajo de investigación se ejecutó utilizando semillas de pimiento de la variedad híbrida Marcato F1 adquiridas en un centro agropecuario de la ciudad de Loja (Anexo 1). Luego, se desinfectaron 100 semillas con alcohol al 70 % y después se lavaron con agua destilada estéril por 2 minutos y se las secó con papel de cocina hasta quitar el exceso de humedad. Inmediatamente, se realizó la siembra en bandejas de germinación de 100 cavidades utilizando como sustrato: turba, arena y tierra en proporción 2:1:1, previamente esterilizada y humedecida a capacidad de campo y se las cubrió hasta la emergencia. Los aislados bacterianos que se utilizaron fueron: *Azospirillum* sp., *Azotobacter* sp. y *Pseudomonas* sp., a una concentración de 1×10^8 células/ml obtenidos del centro de biotecnología de la Universidad Nacional de Loja. Por cada aislado bacteriano se inocularon 1 ml de concentración a cada tratamiento y repetición y como testigo se emplearon semillas sin inocular (Anexo 2).

5.2.1. Tipo y alcance de investigación

Esta investigación fue de tipo experimental, lo que significa que se recolectaron datos de la realidad para estudiarlos tal y como se presentan, para ello se midieron características cuantificables que luego se analizaron estadísticamente. Por otro lado, el alcance de la investigación es descriptivo y comparativo causal ya que se midieron cada una de las variables independientemente.

5.2.3. Diseño experimental

Se montó un experimento bajo invernadero utilizando un diseño completamente al azar (DCA). Se aplicaron 5 tratamientos incluido el testigo con 6 repeticiones (Tabla 2).

Tabla 2. Delineamiento del ensayo (DCA) en pimiento (*Capsicum annuum* L.), detalle de los tratamientos de cada unidad experimental.

Diseño	Cantidad
Número de tratamientos	5
Número de repeticiones	6
Número de unidad experimental (UE)	30
Numero de plantas por UE	2
Número de plantas totales	60

5.2.4. Modelo matemático del diseño

El modelo estadístico para este diseño es:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} = Respuesta de la k-ésima repetición en el i-ésimo nivel del factor A y j-ésimo nivel del factor B

μ = Media general de las observaciones

A_i = Efecto que produce el i-ésimo nivel del factor A

B_j = Efecto que produce el j-ésimo nivel del factor B

5.2.5. Diseño de campo

La figura 2 esquematiza el diseño experimental implementado para la fase de campo, el cual corresponde a un diseño DCA.

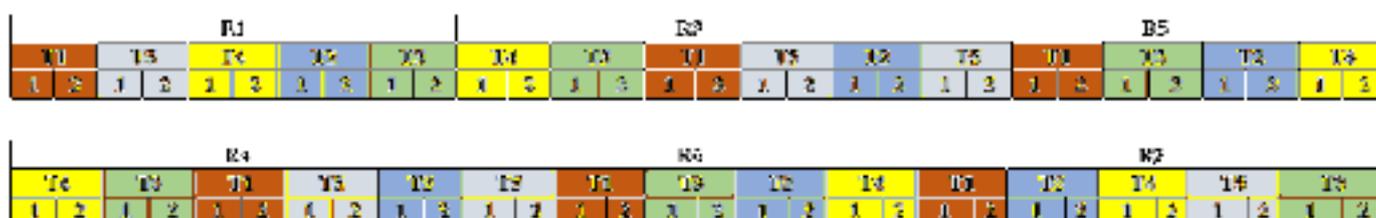


Figura 2. Esquema del diseño experimental en campo con la aplicación de bacterias rizosféricas en el pimiento siendo 6 repeticiones y 5 tratamientos: T1=*Azospirillum* sp., T2=*Azotobacter* sp., T3=*Pseudomonas* sp., T4=NewGibb, T5=Testigo.

5.3. Metodología para el primer objetivo específico: Evaluar el efecto de la inoculación de rizobacterias sobre la germinación y desarrollo de plántulas de pimiento en semillero.

5.3.1. Variables a evaluar

Porcentaje de germinación

A los 15 días después de la siembra (dds) se registró el porcentaje de germinación para las semillas de pimiento en cada tratamiento y repetición. Los porcentajes se transformaron a decimales para poder aplicar la fórmula del arco seno (X) transformación previa a realizar el análisis estadístico (Anexo 3).

Altura de plántula

Se realizaron las mediciones periódicas con un flexómetro expresado en centímetros, desde la base del tallo hasta el ápice de la hoja más alta. La primera lectura se efectuó a los 25 dds y luego se siguió evaluando periódicamente cada 8 días.

Diámetro del tallo

Para realizar esta medición se utilizó un calibrador tipo pie de rey desde la parte media del tallo (Anexo 4). La primera lectura se realizó a los 30 dds y posterior a ello se tomaron datos cada 5 días hasta el final del experimento, los datos se expresaron en milímetros (mm).

Longitud de raíz

Al finalizar la fase de semillero, a los 45 dds se midió la longitud de la raíz principal utilizando un flexómetro desde la base del tallo de la plántula hasta el ápice de la raíz principal (Anexo 5).

5.4. Metodología para el segundo objetivo: Analizar la eficiencia de rizobacterias en el desarrollo y producción de pimiento bajo invernadero.

Una vez emergidas todas las plantas de pimiento se trasladaron en fundas plásticas negras de 4 kg con sustrato de tierra, turba y arena en una proporción 2:1:1, previamente esterilizada (Anexo 6 y 7), se aplicaron nuevamente los aislados bacterianos (*Azospirillum* sp., *Azotobacter* sp. y *Pseudomonas* sp.) y el tratamiento químico (NewGibb) a una concentración de 1 ml (Anexo 8).

5.4.1. Variables a evaluar

Altura de planta

A los 5 días después del trasplante (ddt), se realizaron las mediciones periódicas en de la altura de las plantas con intervalos de 15 días. Para ello, se utilizó un flexómetro y se midió desde la base del tallo hasta el ápice de la hoja más alta.

Área foliar

Para determinar el área foliar, se midió con un flexómetro el largo y ancho de las hojas bajas, medias y altas de 2 plantas por unidad experimental. Se calculó el área foliar (AF) aplicando el factor o coeficiente de acuerdo a la relación del área foliar de la hoja por el largo

y ancho de la hoja y se multiplicó por el factor 0.69 propuesto por Demesio *et al.*, (2018)., finalmente, se promedia los resultados de cada planta. La primera lectura se realizó a los 30 ddt y después en intervalos de 30 días.

Número, longitud y anchura de frutos/planta

A los 50 ddt se realizó el conteo del número de frutos por planta de cada tratamiento y repetición. Para el largo y ancho del fruto se tomaron 5 frutos al azar por cada tratamiento y se midió con un calibrador de Vernier expresado en cm, se realizó evaluaciones periódicas con intervalos de 5 días (Anexo 9).

Peso de materia fresca y seca

Al final del ensayo (120 dds), con una balanza digital, se pesó en fresco 1 planta por cada tratamiento y repetición, se las ubicó en fundas de papel previamente etiquetadas y fueron llevadas al laboratorio de fitopatología para colocarlas a la estufa a 70 °C de temperatura por 48 horas (Anexo 10 y 11). Finalmente, a los 123 dds se pesó en la balanza digital a las plantas en seco (Anexo 12) y se registró los datos.

5.5. Análisis estadístico

Para determinar las diferencias o similitudes estadísticas entre los tratamientos, se tabularon los datos en Microsoft Excel, y se aplicó el análisis estadístico en el programa INFOSTAT versión libre, en donde se comprobó los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza, así como se aplicó un test de Tukey (95 %) para las diferencias significativas y así conocer el efecto de bacterias rizosféricas en la germinación y crecimiento del pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo invernadero.

6. Resultados

6.1. Resultados para el primer objetivo específico: Evaluar el efecto de la inoculación de rizobacterias sobre la germinación y desarrollo de plántulas de pimiento en semillero.

- **Porcentaje de germinación**

El porcentaje de germinación de las semillas de pimiento, presentó diferencias significativas entre los tratamientos en comparación con el tratamiento testigo, mientras que con las medias de los tratamientos con inoculación de rizobacterias presentaron similitudes al tratamiento químico (T4) con un 90 % de germinación, en comparación al tratamiento testigo T5 (sin inoculación) con el 30 % (Figura 3).

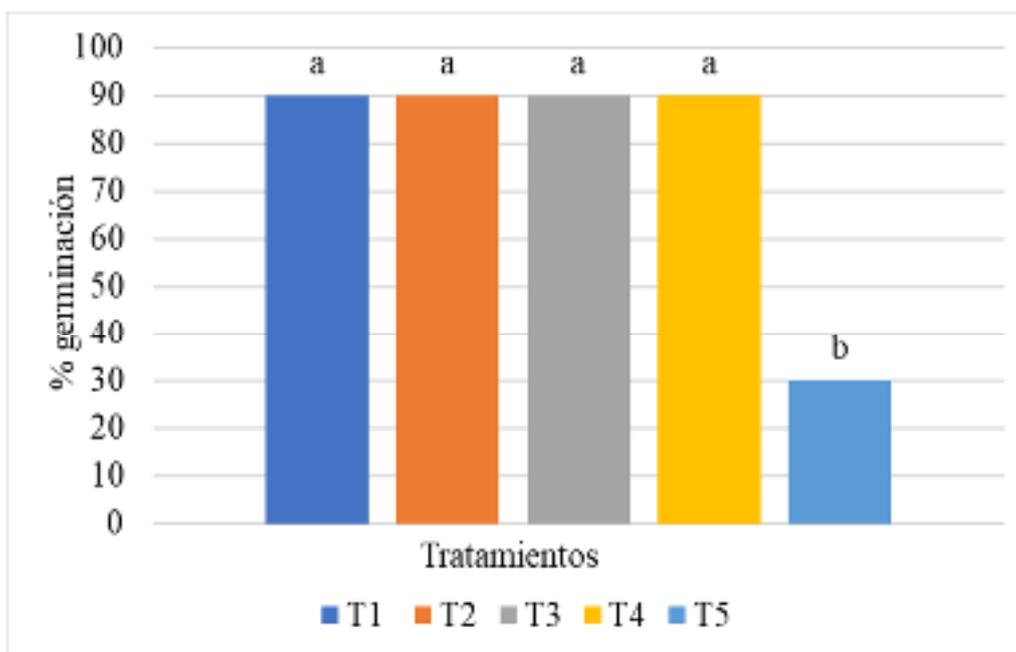


Figura 3. Porcentaje de germinación de las semillas de pimiento para los diferentes tratamientos aplicados a los 15 dds. Las letras superiores indican diferencias significativas entre cada tratamiento ($p > 0,05$).

Leyenda: T1=*Azospirillum* sp., T2=*Azotobacter* sp., T3=*Pseudomonas* sp., T4=NewGibb, T5=Testigo.

- **Altura de la plántula**

La altura de las plántulas durante las 3 evaluaciones realizadas en la fase de semillero fue significativa en el tratamiento T1 (*Azospirillum* sp.) el cual tuvo un crecimiento de 8,03 cm en comparación con el tratamiento T5 (testigo) sin inocular quien presentó una altura de 7,23 cm (Figura 4).

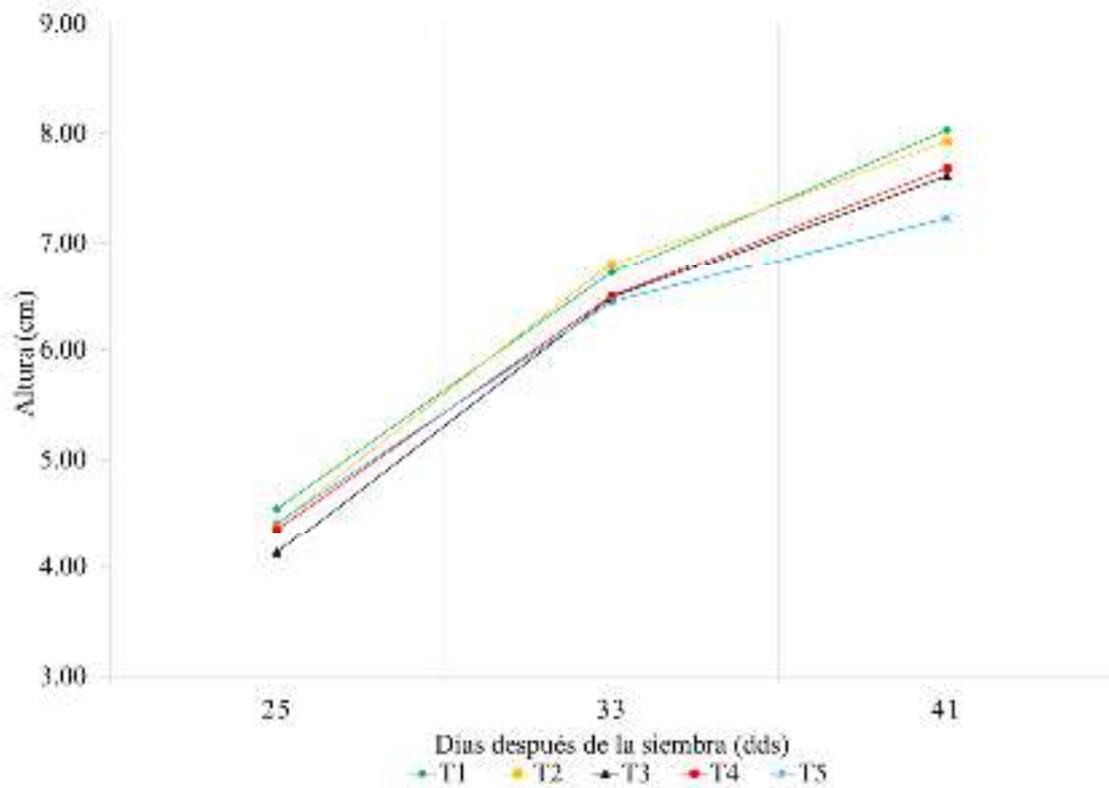


Figura 4. Curva de crecimiento de las plántulas de pimiento para los diferentes tratamientos aplicados a los 25, 33 y 41 días después de la siembra.

Leyenda: T1=*Azospirillum* sp., T2=*Azotobacter* sp., T3=*Pseudomonas* sp., T4=NewGibb, T5=Testigo.

- **Diámetro del tallo**

El diámetro del tallo presentó diferencias significativas entre los tratamientos en comparación al tratamiento testigo, teniendo mayor efectividad en el tratamiento T3 (*Pseudomonas* sp.) y T4 (NewGibb) con un diámetro de 0.05 mm, en comparación con el tratamiento T5 (Testigo) quien presentó valores inferiores a los otros tratamientos con 0,02 mm (Figura 5).

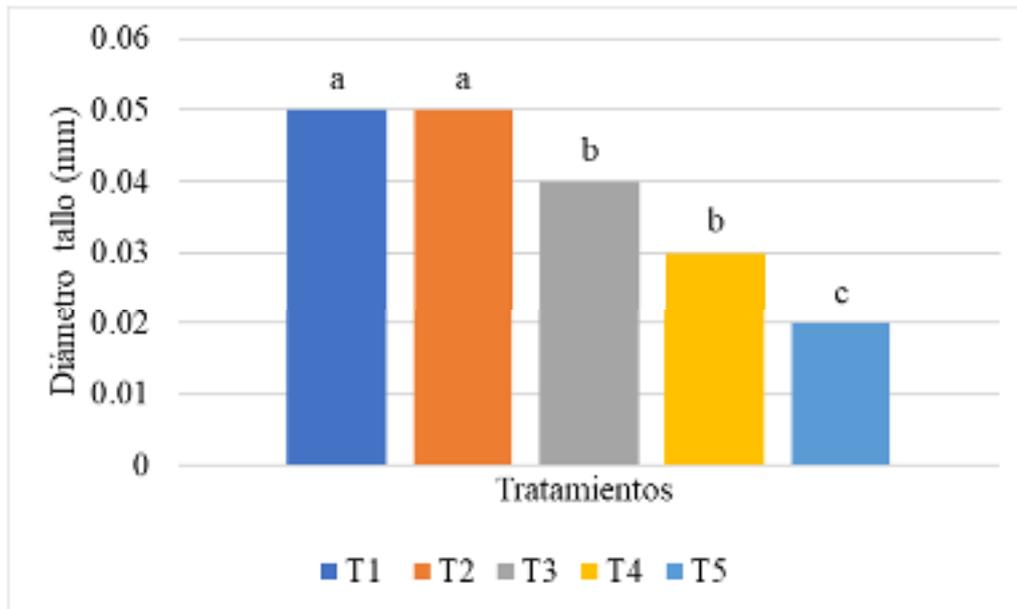


Figura 5. Diámetro del tallo de las plántulas de pimienta para los diferentes tratamientos aplicados a los 30 días después de la siembra. Las letras superiores indican diferencias significativas entre cada tratamiento ($p > 0,05$).

Leyenda: T1=*Azospirillum* sp., T2=*Azotobacter* sp., T3=*Pseudomonas* sp., T4=NewGibb, T5=Testigo.

- **Longitud de la raíz**

La longitud de la raíz presentó diferencias significativas entre los tratamientos, mientras que con las medias los tratamientos tuvieron un leve incremento en el tratamiento T4 (NewGibb) con 6.39 cm seguido del tratamiento T3 (*Pseudomonas* sp.), a diferencia del tratamiento T5 (Testigo) que tuvo menor longitud con 5.50 cm (Figura 6).

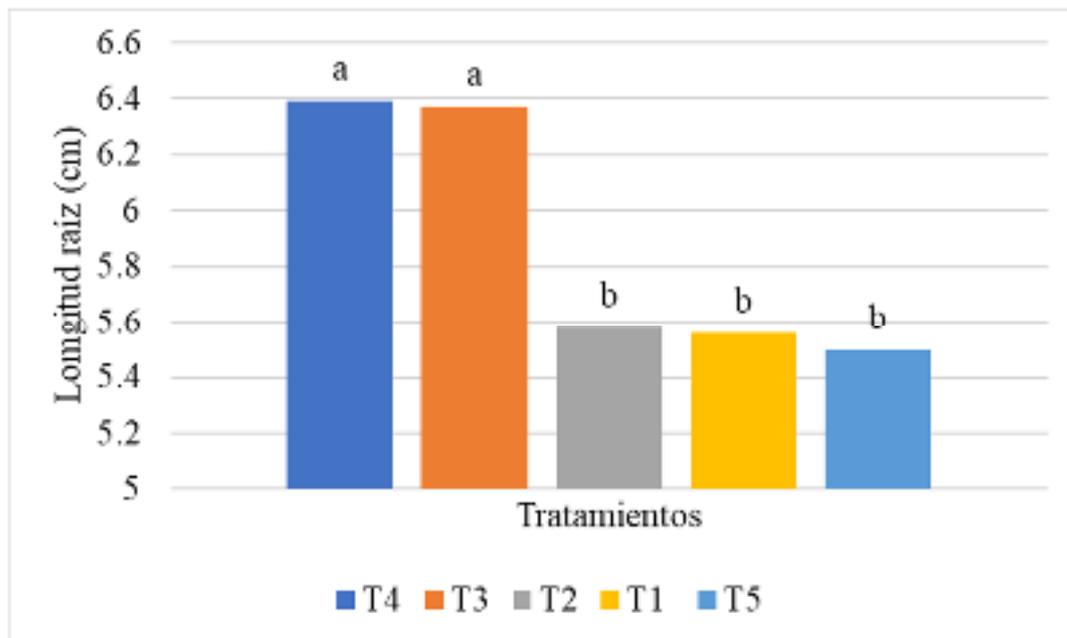


Figura 6. Longitud de la raíz de las plántulas de pimiento para los diferentes tratamientos aplicados a los 45 días después de la siembra. Las letras superiores indican diferencias significativas entre cada tratamiento ($p > 0,05$).

Leyenda: T1=*Azospirillum* sp., T2=*Azotobacter* sp., T3=*Pseudomonas* sp., T4=NewGibb, T5=Testigo.

6.2. Resultados para el segundo objetivo específico: *Analizar la eficiencia de rizobacterias en el desarrollo y producción de pimiento bajo invernadero.*

- **Altura de la planta**

La altura de la planta de pimiento presentó mayores valores en el tratamiento T3 (*Pseudomonas* sp.) con un crecimiento de 44.03 cm superando al tratamiento T5 (Testigo) en aproximadamente 10 cm quien presentó la altura más baja con 34.09 cm, luego de las 8 evaluaciones realizadas durante el ciclo del cultivo (Figura 7).

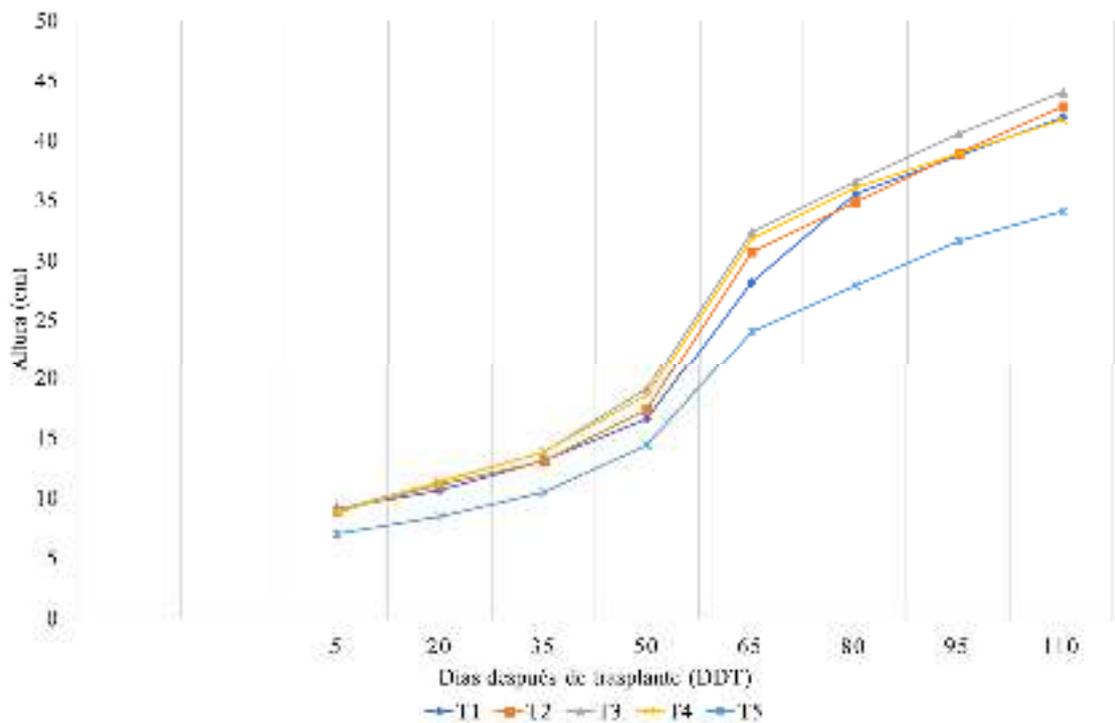


Figura 7. Curva de crecimiento de las plantas de pimiento para los diferentes tratamientos aplicados a los 5, 20, 35, 50, 65, 80, 95, 110 días después del trasplante.

Leyenda: T1=*Azospirillum* sp., T2=*Azotobacter* sp., T3=*Pseudomonas* sp., T4=NewGibb, T5=Testigo.

- **Área foliar**

El área foliar de las plantas al final del experimento fue significativa en el T3 (*Pseudomonas* sp.) con un valor promedio de 25.12 cm, superando en aproximadamente 10 cm al tratamiento T5 (Testigo) quien obtuvo el valor más bajo con 15.27 cm luego de las tres evaluaciones realizadas (Figura 8).

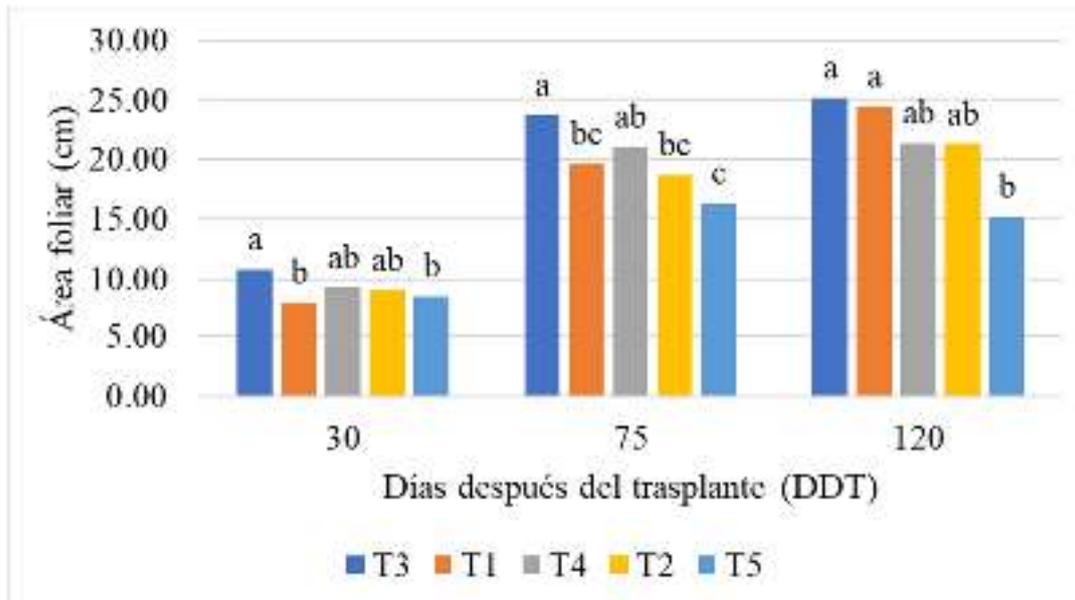


Figura 8. Área foliar de las plantas de pimienta para los diferentes tratamientos aplicados a los 60, 90, y 120 días después del trasplante.

Leyenda: T1=*Azospirillum* sp., T2=*Azotobacter* sp., T3=*Pseudomonas* sp., T4=NewGibb, T5=Testigo.

- **Número de frutos por planta**

El número de frutos por planta luego de las 3 evaluaciones realizadas fue significativo en el tratamiento T3 (*Pseudomonas* sp.) con 21 frutos y 1,72 frutos promedio por planta y el tratamiento T5 (Testigo) sin inocular presentó el menor valor con 15 frutos y 1.25 frutos promedio por planta (Figura 9).

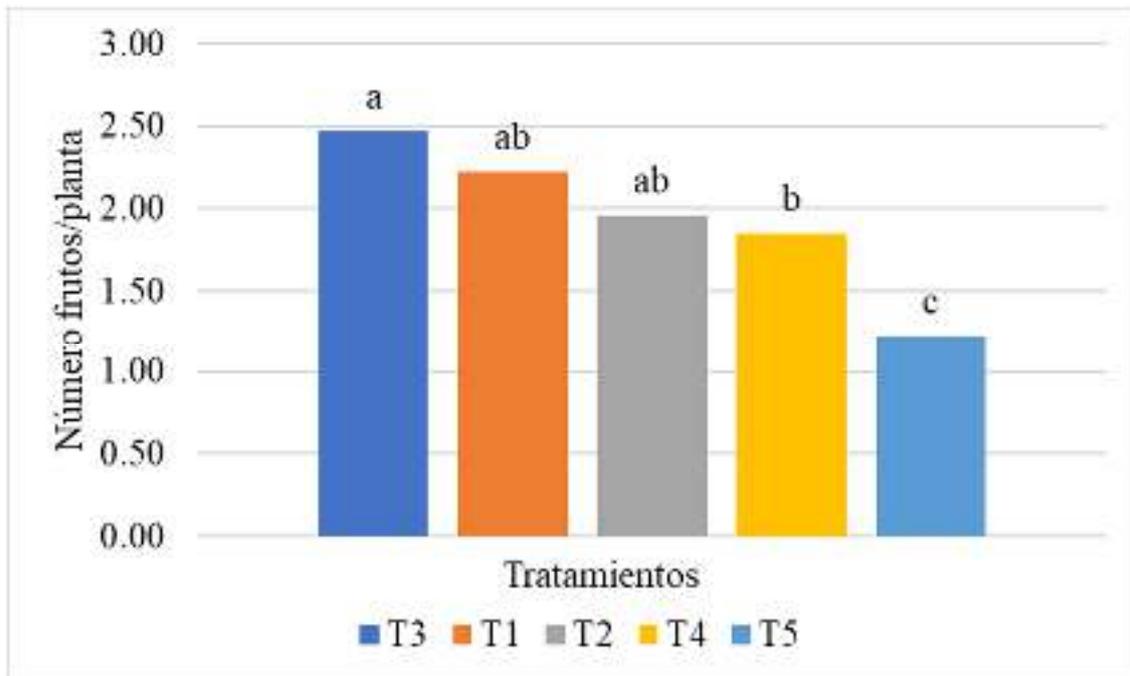


Figura 9. Número de frutos por planta luego de la última evaluación realizada para los diferentes tratamientos aplicados.

Leyenda: T1=*Azospirillum* sp., T2=*Azotobacter* sp., T3=*Pseudomonas* sp., T4=NewGibb, T5=Testigo.

- **Longitud del fruto**

El tratamiento que mejor llenado y desarrollo del fruto tuvo fue el tratamiento T3 (*Pseudomonas* sp.) en comparación con el tratamiento T5 (Testigo) sin inocular (Figura 10). En la última evaluación realizada el T3 y T5 alcanzaron una longitud del fruto promedio de 14,61 cm y 11,92 cm respectivamente.

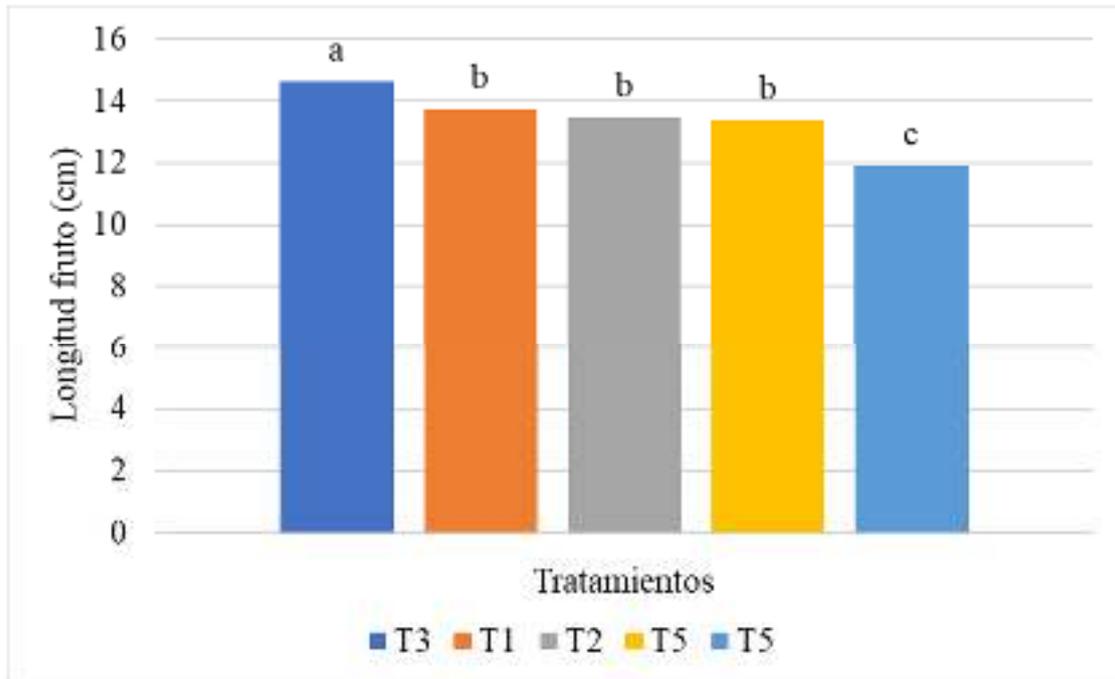


Figura 10. Longitud del fruto de pimiento registrados al final del ensayo, de los diferentes tratamientos. Las letras superiores indican diferencias significativas entre cada tratamiento ($p > 0,05$).

Leyenda: T1=*Azospirillum* sp., T2=*Azotobacter* sp., T3=*Pseudomonas* sp., T4=NewGibb, T5=Testigo.

- **Diámetro del fruto**

El diámetro del fruto fue significativo en el tratamiento T1 (*Azospirillum* sp.) con 6,32 cm seguido del T3 (*Pseudomonas* sp.) con 6,28 cm en comparación con el tratamiento T5 (Testigo) sin inocular quien mostró el menor diámetro promedio con 5,51 cm, luego de las 3 evaluaciones realizadas (Figura 11).

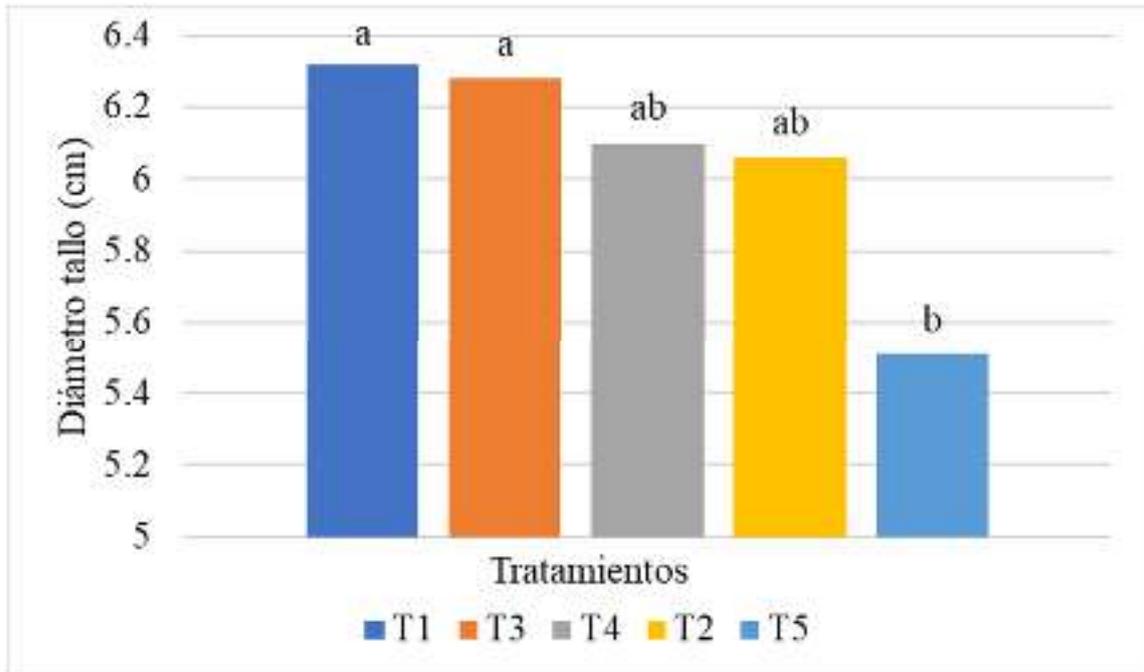


Figura 11. Diámetro del fruto de pimiento registrados al final del ensayo, de los diferentes tratamientos. Las letras superiores indican diferencias significativas entre cada tratamiento ($p > 0,05$).

Leyenda: T1=*Azospirillum* sp., T2=*Azotobacter* sp., T3=*Pseudomonas* sp., T4=NewGibb, T5=Testigo.

- **Peso de materia fresca**

Estadísticamente no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo, en el tratamiento T3 (*Pseudomonas* sp.) fue quien presentó un peso fresco promedio ligeramente mayor con 33.08 g en comparación al tratamiento T5 (Testigo) sin inocular quien obtuvo un peso de 20,70 g (Figura 12).

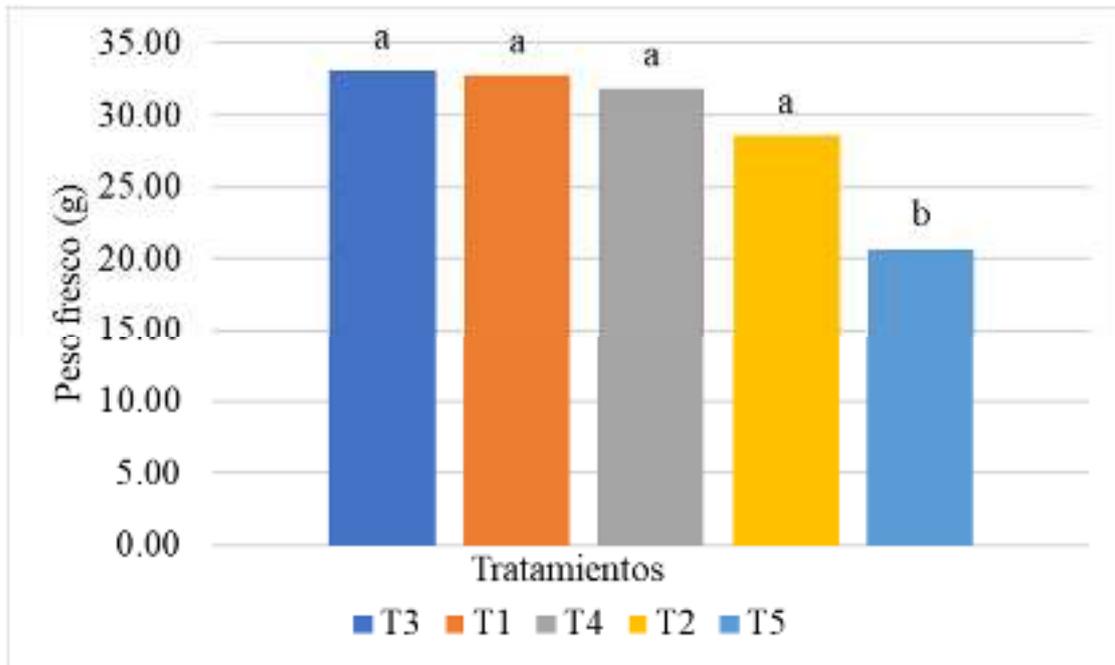


Figura 12. Peso de materia fresca de las plantas de pimiento registrados al final del ensayo, con los diferentes tratamientos.

Leyenda: T1=*Azospirillum* sp., T2=*Azotobacter* sp., T3=*Pseudomonas* sp., T4=NewGibb, T5=Testigo.

- **Peso de materia seca**

El peso seco total de la planta fue significativo en el tratamiento T3 (*Pseudomonas* sp.) con un promedio de 6,15 g, siendo estadísticamente superior al tratamiento T5 (Testigo) sin inocular quien tuvo un valor promedio de 3,82 g (figura 13).

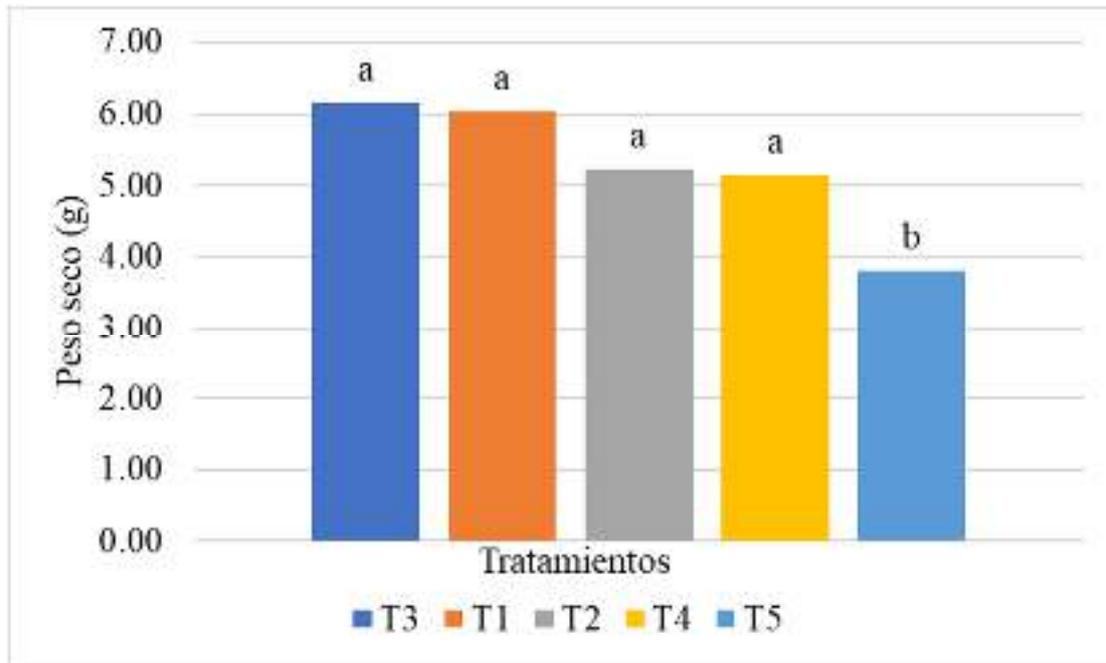


Figura 13. Peso de materia seca de las plantas de pimiento registrados al final del ensayo, con los diferentes tratamientos. Las letras superiores indican diferencias significativas entre cada tratamiento ($p > 0,05$).

Leyenda: T1=*Azospirillum* sp., T2=*Azotobacter* sp., T3=*Pseudomonas* sp., T4=NewGibb, T5=Testigo.

7. Discusión

7.1. Discusión para el primer objetivo

- **Porcentaje de germinación**

Los tratamientos inoculados con bacterias rizosféricas evidenciaron porcentajes de germinación superiores al 90 %, mientras que el tratamiento testigo no sobrepasó dicho valor. Estos resultados son similares a lo obtenido por Marquina *et al.*, (2018), quienes aplicaron bacterias como: *Sinorhizobium* sp., *Azospirillum*, y *Bradyrhizobium* sp., en semillas de pimiento logrando índices de germinación sobre el 97 % frente al 75,51% del tratamiento testigo. Por otro lado, Lobato *et al.*, (2021), al aplicar bacterias rizosféricas en semillas de pimiento obtuvieron los mayores índices de germinación con *Pseudomonas* y *Celulosimicrobio* superando con más del 20 % al tratamiento testigo.

- **Altura de la plántula**

Los tratamientos inoculados con bacterias rizosféricas mejoraron el crecimiento de las plántulas obteniendo mejores resultados con la aplicación de *Azospirillum* en comparación con el tratamiento testigo sin inocular. Madhaiyan *et al.*, (2010), reportaron que obtuvieron resultados similares inoculando bacterias rizosféricas en pimiento, presentando mejores resultados con *Azospirillum brasilense* que aumentó la altura de planta. Por otra lado, Barbaro *et al.*, (2005), en su investigación mencionan que al inocular con *Azospirillum brasilensis* obtuvieron una altura de la planta de 7 cm, este resultado se explica probablemente porque la bacteria utilizada es conocida por promover el crecimiento de las plantas, ya que tienen la capacidad de fijar nitrógeno del aire, producir hormonas vegetales y otros compuestos que estimulan el desarrollo de la planta. Sin embargo, Islam *et al.*, (2013), evaluaron el efecto de las rizobacterias *Pseudomonas* ssp., *Ochrobactrum* sp. y *Novosphingobium* sp. sobre el crecimiento en la altura de la planta en pimiento rojo y tomate, los resultados indicaron que estas tres especies bacterianas estimularon significativamente el incremento en la longitud del tallo en comparación con plantas sin inocular, siendo *Pseudomonas* ssp., quien presentó el mayor crecimiento, con un 26 % de altura.

- **Diámetro del tallo**

Los tratamientos aplicados con las bacterias rizosféricas incrementaron el diámetro del tallo en comparación al testigo sin inocular. Por su parte, Lobato *et al.*, (2021) reportaron aumentos en el diámetro del tallo de 1.50 % y 1.44% con *Celulosimicrobio* y *Pseudomonas*

respectivamente a los 12 días después de la siembra en comparación al tratamiento testigo. Así mismo Reyes *et al.*, (2014), obtuvieron un mayor grosor del tallo en plantas de pimiento con *Pseudomonas* spp frente al testigo, así como al tratamiento con *Azospirillum brasilense* a los 90 días después del trasplante. Si bien a los 120 días *A. brasilense* alcanzó valores similares, *Pseudomonas* spp mantuvo su efecto promotor inicial. Debido a estos estudios encontrados, Lucas *et al.*, (2003) aseguran que la capacidad bioestimulante de crecimiento vegetal de *Pseudomonas* spp. en pimiento se asocia a una eficiente colonización radical, impactando positivamente en el diámetro del tallo y otros parámetros del desarrollo de la biomasa aérea del cultivo.

- **Longitud de la raíz**

Los tratamientos aplicados con las bacterias rizosféricas incrementaron la longitud de la raíz en comparación al testigo sin inocular. Islam *et al.*, (2013) reportaron aumentos significativos en todos los tratamientos microbianos aplicados, siendo *Pseudomonas* spp y *Novosphingobium* sp. las que alcanzaron los mayores valores de longitud radicular en pimiento rojo y tomate, con 4,2 y 6,2 cm respectivamente. Estos resultados concuerdan con el estudio de Lobato *et al.*, (2021) donde *Celulosimicrobium* y *Pseudomonas* promovieron el crecimiento radical a los 12 días después de la siembra con 1,52 % y 1,64 % respectivamente siendo superiores al tratamiento testigo.

7.2. Discusión para el segundo objetivo específico

- **Altura de la planta**

Si bien la inoculación con *Pseudomonas* sp. no evidenció efectos significativos en etapas iniciales, se observó un leve aumento de la altura en etapas posteriores del cultivo. Similares resultados fueron descritos por Reyes *et al.*, (2014) con incrementos en la altura a partir de los 90 días después de la siembra al aplicar *Pseudomonas* sp. quien tuvo una altura de 89.17 cm superando incluso a las plantas inoculadas con *Azospirillum brasilense* y las del testigo, varios autores coinciden en que la capacidad bioestimulante de *Pseudomonas* sp. en pimiento se debe a una eficiente colonización radicular, debido a que esta bacteria produce fitohormonas como auxinas, citoquininas y giberelinas que estimulan la división y elongación celular, resultando en más raíces y pelos radiculares. Por su parte, Lucas *et al.*, (2003); Sharma *et al.*, (2007); y Kang *et al.*, (2007) también reportaron dicho efecto frente a controles sin inocular. Estos resultados difieren con los obtenidos por (Aguirre & Moreno, 2016), quienes obtuvieron una altura máxima de 63 cm con *Azospirillum brasilense* en plantas de pimiento

comparado a *Rhizophagus intraradices* y *Pseudomonas fluorescens* presentando la mitad de la altura que *A. brasilense*. Según Bashan & de-Bashan, (2010), ello explicaría por la estimulación radical ejercida por *Azospirillum* mediante la producción de hormonas y la fijación de nitrógeno.

- **Área foliar**

Los tratamientos aplicados con rizobacterias tuvieron un efecto positivo en el área foliar en comparación con el tratamiento testigo, siendo *Pseudomonas* sp., quien obtuvo valores superiores, debido a que las rizobacterias, especialmente *Pseudomonas* sp., que produce fitohormonas que sintetizan auxinas, giberelinas y citoquininas que estimulan la división y expansión celular en los tejidos foliares, aumentando el área foliar. Estos resultados concuerdan con lo obtenido por Angulo *et al.*, (2021), quienes mencionan que la inoculación con *Pseudomonas tolaasii* fue mayor en comparación con el tratamiento testigo no inoculado. Así mismo Dashti *et al.*, (2012) reportaron que al inocular rizobacterias como *Pseudomonas aeruginosa* y *Stenotrophomonas rhizophilia* exhibieron incrementos significativos en área foliar en contraste con el tratamiento testigo bajo condiciones controladas.

- **Número de frutos**

Los tratamientos inoculados con rizobacterias principalmente *Pseudomonas* sp. evidenciaron un mayor número de frutos en comparación al tratamiento testigo. Resultados similares fueron descritos por Sánchez *et al.*, (2018) en tomate siendo *Pseudomonas putida* quien supero en un 17 % al testigo químico y al testigo absoluto alcanzando 6 frutos por planta, debido al efecto estimulador del cuaje y retención de frutos ejercido por *Pseudomonas* que se asocia por su capacidad para sintetizar fitohormonas como el ácido indol-3-acético (AIA) relacionada con los procesos de fructificación de las plantas. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Gravel *et al.*, (2006) quienes obtuvieron grandes rendimientos aumentando el número de frutos al inocular *Pseudomonas marginalis* y *Pseudomonas putida* de 11 % y 23.3 % respectivamente en tomate bajo condiciones de invernadero.

- **Longitud del fruto**

Los tratamientos inoculados con rizobacterias mejoró la longitud de los frutos a diferencia del tratamiento testigo sin inocular, donde se obtuvieron valores inferiores. Estos resultados son similares a lo obtenido por Hernández *et al.*, (2018) quienes explican que al inocular *Pseudomonas* sp., en pimiento obtuvieron frutos más largos (15,8 cm) en comparación

con el testigo (14,1 cm). La mayor longitud de fruto por efecto de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal se debe posiblemente a una mayor disponibilidad de nutrientes, especialmente nitrógeno (R. Sánchez *et al.*, 2022). Sin embargo, estos resultados difieren con lo obtenido por Zapata *et al.*, (2022) en pepino (*Cucumis sativus* L.), donde obtuvieron la mayor longitud con 22,67 cm con *Acinetobacter radioresistens*, mientras que con *Pseudomonas paralactis* presentó valores inferiores de 21,33 cm.

- **Diámetro del fruto**

Los tratamientos inoculados con rizobacterias mejoró el diámetro de los frutos a diferencia del tratamiento testigo sin inocular, donde se obtuvieron valores inferiores. Estos resultados tienen similitud con G. Sánchez *et al.*, (2023) quienes mencionan que el tratamiento que dio mayor diámetro en frutos de tomate con 5.30 cm fue *Azospirillum* en comparación al testigo sin inocular con 5.12 cm, esto se debe posiblemente a que las bacterias rizosféricas promueven el crecimiento de las plantas, rendimiento y tamaño de frutos al incrementar la absorción de nutrientes (Abraham *et al.*, 2018). Estos resultados difieren con lo documentado por Zapata *et al.*, (2022) en pepino (*Cucumis sativus* L.), donde obtuvieron un diámetro de 56,52 mm con *Acinetobacter radioresistens*, mientras que con *Pseudomonas paralactis* obtuvo un valor inferior con 52,02 mm del diámetro.

- **Peso fresco**

Los tratamientos inoculados con rizobacterias obtuvieron valores superiores en el peso de materia fresca en especial *Pseudomonas* sp. promovió valores superiores en comparación con el tratamiento testigo. Angulo *et al.*, (2018) reportaron que, al inocular *Pseudomonas* sp., en plantas de pimiento obtuvieron un peso fresco total en 27,7 % frente a plantas sin inocular. Por su parte Hernández *et al.*, (2018), menciona incrementos similares en el peso fresco de las plantas de pimiento del 30.2 % respecto al testigo sin inocular.

- **Peso seco**

Los tratamientos inoculados con rizobacterias obtuvieron valores superiores en el peso de materia fresca y seca, en especial *Pseudomonas* sp., promovió valores el peso seco en plantas de pimiento superando al tratamiento testigos sin inocular, ya que esta bacteria estimula el crecimiento de las plantas por su capacidad para producir ácido 3-indolacético (AIA) (Patten & Glick, 2002). Esto difiere con lo reportado por D. Sánchez *et al.*, (2018) quienes obtuvieron un aumento en la biomasa aérea al inocular *Enterobacter* sp., mientras que la biomasa radical

se incrementó usando *Pseudomonas* sp., seguido de *Enterobacter* sp., aérea de las plantas de tomate, esto debido posiblemente a que el (AIA) tiene impacto sobre el desarrollo de las raíces de las plantas (Ashrafuzzaman *et al.*, 2008). Por otro lado Hernández et al., (2018), reportaron incrementos en el peso seco de las plantas en 71.06 % en comparación con las plantas testigo.

8. Conclusiones

- Los tratamientos inoculados con bacterias rizosféricas tuvieron efectos positivos incrementando hasta un 90 % la germinación de las semillas de pimiento y mejorando significativamente variables de desarrollo de las plántulas, en comparación con las semillas no inoculadas. Específicamente, se observó que *Azospirillum* sp., estimuló un mayor crecimiento en altura de las plántulas, mientras que *Pseudomonas* sp., mostró un impacto más notable en el engrosamiento del tallo y longitud de la raíz. Estos resultados confirman la eficacia de estas bacterias como biofertilizantes para el cultivo de pimiento.
- *Pseudomonas* sp., demostró ser beneficiosa para el desarrollo y producción de plantas de pimiento, incrementando en mayor medida la altura de la planta, área foliar, número y longitud de frutos en comparación al testigo sin inocular. Así mismo, presenta valores superiores al resto de tratamientos en cuanto a peso fresco y seco de la planta al final del ciclo.

9. Recomendaciones

- Utilizar más unidades experimentales esto permitirá obtener resultados estadísticamente significativos sobre la influencia de la inoculación en la germinación y el desarrollo de las plántulas
- Realizar combinaciones de diferentes especies de bacterias rizosféricas en cultivos hortícolas como el pimiento y otros de interés económico. Esto permitirá analizar si existen sinergias beneficiosas entre estas cepas que ayuden a mejorar el rendimiento de los cultivos de manera sostenible y eficiente.
- Ensayar con diferentes concentraciones de bacterias rizosféricas para la obtención de resultados relevantes con respecto a variables que no presentaron diferencias significativas.

10. Bibliografía

- Abraham, Espitia-Vázquez, I., Guzmán-Mendoza, R., Portugal, V., Ruiz-Aguilar, G., García-Hernández, J., Isidró, L., & Nuñez-Paleniús, H. (2018). Development, yield, and quality of melon fruit (*Cucumis melo* L.) inoculated with Mexican native strains of *Bacillus subtilis* (Ehrenberg). *Agrociencia*, 52, 91-102.
- Aguirre, J. F., & Moreno, J. A. E. (2016). Crecimiento y rendimiento de *Capsicum annuum* L. inoculado con endomicorriza y rizobacterias. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(7), 1539-1550.
- Álvarez, J.-A., Santoyo, G., & Rocha-Granados, Ma. del C. (2020). *Pseudomonas fluorescens*: Mecanismos y aplicaciones en la agricultura sustentable. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 16(1), 01-10.
<https://doi.org/10.33154/rlrn.2020.01.01>
- Angulo, A., Ferrera-Cerrato, R., Alarcón, A., Almaraz-Suárez, J. J., Delgadillo-Martínez, J., Jiménez-Fernández, M., García-Barradas, O., Angulo-Castro, A., Ferrera-Cerrato, R., Alarcón, A., Almaraz-Suárez, J. J., Delgadillo-Martínez, J., Jiménez-Fernández, M., & García-Barradas, O. (2021). Improved growth of bell pepper (*Capsicum annuum*) plants by inoculating arbuscular mycorrhizal fungi and beneficial rhizobacteria. *Scientia Fungorum*, 51. <https://doi.org/10.33885/sf.2021.51.1299>
- Ashrafuzzaman, Islam, M., Ismail, M., Shahidullah, S., & Hanafi, M. (2008). *Evaluation of Six Aromatic Rice Varieties for Yield and Yield Contributing Characters. 11.*
- Ayala, M. J., Ayala, Ó. J., Aguilar, V. H., & Corona, T. (2014). Evolución de la calidad de semilla de *Capsicum annuum* L. durante su desarrollo en el fruto. *Revista fitotecnia mexicana*, 37(1), 79-87.
- Barbaro, D., Pernasetti, S., & Stegmayer, A. (2005). EVALUACIÓN DEL EFECTO DE *Azospirillum brasilense* EN LA GERMINACIÓN Y EMERGENCIA DEL

PIMIENTO PIMENTONERO (*Capsicum annum* L. VAR. TROMPA DE ELEFANTE). *Revista del CIZAS*, 6(1 y 2), 74-85.

Bashan, Y., & de-Bashan, L. E. (2010). Chapter Two—How the Plant Growth-Promoting Bacterium *Azospirillum* Promotes Plant Growth—A Critical Assessment. En D. L. Sparks (Ed.), *Advances in Agronomy* (Vol. 108, pp. 77-136). Academic Press.
[https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)08002-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)08002-8)

Buono, N. I., & Ulla, E. (2016). Efectos de la inoculación con bacterias solubilizadoras de fosfato en tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) y pimiento (*Capsicum annum* L.) en condiciones controladas. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino*, 36, 45-54.

Chiriboga, J. I. C. (2019). "ADAPTACIÓN Y RENDIMIENTO DE OCHO VARIEDADES DE PIMIENTO (*Capsicum annum* L.) EN INVERNADERO, CANTÓN RIOBAMBA, PROVINCIA CHIMBORAZO" [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO].

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10735/1/13T0878.pdf>

Dashti, N. H., Ali, N. Y., Cherian, V. M., & Montasser, M. S. (2012). Application of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) in combination with a mild strain of Cucumber mosaic virus (CMV) associated with viral satellite RNAs to enhance growth and protection against a virulent strain of CMV in tomato. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 34(2), 177-186. <https://doi.org/10.1080/07060661.2012.685495>

Demesio, R., Aleman, R., Domínguez Brito, J., Guerra, R., Soria Re, S., Torres Gutiérrez, R., César, J., Burgos, V., Bravo, C., Luis, J., & Rojas, A. (2018). Indicadores morfofisiológicos y productivos del pimiento sembrado en invernadero y a campo abierto en las condiciones de la Amazonía ecuatoriana. *Revista Centro Agrícola*, 45(1), 14-23.

- Domingues, C. F., Cecato, U., Trento Biserra, T., Mamédio, D., Galbeiro, S., Domingues Duarte, C. F., Cecato, U., Trento Biserra, T., Mamédio, D., & Galbeiro, S. (2020). Azospirillum spp. En gramíneas y forrajeras. Revisión. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 11(1), 223-240. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i1.4951>
- FAO. (2006). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación, 2006: ¿Permite la ayuda alimentaria conseguir la seguridad alimentaria?* Rome, Italy. <https://www.fao.org/documents/card/es/c/ac176608-30f9-5628-9670-c3bc296b7e6b>
- González, Y. L., Viera, R. M., Martínez, J. M. H., & López, N. R. (2012). Aplicación De Azotobacter Chroococcum En La Producción De Plántulas De Tabaco Negro. *Cultivos Tropicales*, 33(2), 29-32.
- Gravel, V., Martinez, C., Antoun, H., & Tweddell, R. (2006). Control of greenhouse tomato root rot [Pythium ultimum] in hydroponic systems, using plant-growth-promoting microorganisms. *Canadian Journal of Plant Pathology-revue Canadienne De Phytopathologie - CAN J PLANT PATHOL*, 28, 475-483. <https://doi.org/10.1080/07060660609507322>
- Hernández, L. G., Chiquito Contreras, R. G., Castillo Rocha, D. G., Chiquito Contreras, C. J., Vidal Hernández, L., Beltrán Morales, F. A., Hernández Montiel, L. G., Chiquito Contreras, R. G., Castillo Rocha, D. G., Chiquito Contreras, C. J., Vidal Hernández, L., & Beltrán Morales, F. A. (2018). Efecto de microcápsulas de Pseudomonas putida sobre crecimiento y rendimiento de pimiento morrón. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(SPE20), 4223-4233. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i20.992>
- Islam, Md. R., Sultana, T., Joe, M. M., Yim, W., Cho, J.-C., & Sa, T. (2013). Nitrogen-fixing bacteria with multiple plant growth-promoting activities enhance growth of tomato and red pepper. *Journal of Basic Microbiology*, 53(12), 1004-1015. <https://doi.org/10.1002/jobm.201200141>

ITIS. (2023). *ITIS - Report: Capsicum annuum*. Integrated Taxonomic Information System - Report.

https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=30492#null

Jara, J. (2019). *Evaluación de tres variedades de pimiento (Capsicum annuum), con dos densidades de siembra bajo invernadero, en el cantón Cascales, provincia de Sucumbíos*. [bachelorThesis, CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS FACULTAD:INGENIERÍA AGROFORESTAL].

<http://repositorio.ute.edu.ec/xmlui/handle/123456789/20340>

Kang, S. H., Cho, H.-S., Cheong, H., Ryu, C.-M., Kim, J. F., & Park, S.-H. (2007). Two bacterial endophytes eliciting both plant growth promotion and plant defense on pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 17(1), 96-103.

Lobato, M. A., Pérez-Rodríguez, M. M., Ortiz, R., Monasterio, R. P., & Cohen, A. C. (2021). Rhizobacteria improve the germination and modify the phenolic compound profile of pepper (*Capsicum annuum* L.). *Rhizosphere*, 18, 100334.

<https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100334>

Lucas, J., Schloter, M., Durkaya, T., Hartmann, A., & Mañero, F. (2003). Colonization of pepper roots by a plant growth promoting *Pseudomonas fluorescens* strain. *Biology and Fertility of Soils*, 37, 381-385. <https://doi.org/10.1007/s00374-003-0608-3>

Madhaiyan, M., Poonguzhali, S., Kang, B.-G., Lee, Y.-J., Chung, J.-B., & Sa, T.-M. (2010). Effect of co-inoculation of methylotrophic *Methylobacterium oryzae* with *Azospirillum brasilense* and *Burkholderia pyrrocinia* on the growth and nutrient uptake of tomato, red pepper and rice. *Plant and Soil*, 328(1-2), 71-82.

<https://doi.org/10.1007/s11104-009-0083-1>

- Marquina, M. E., Ramírez, Y., & Castro, Y. (2018). Efecto de bacterias rizosféricas en la germinación y crecimiento del pimentón *Capsicum annum* L. var. Cacique Gigante. *Bioagro*, 30(1), 3-16.
- Moreno, E., Mora Aguilar, R., Sánchez del Castillo, F., & García-Pérez, V. (2011). Fenología y rendimiento de híbridos de pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) cultivados en hidroponía. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 17(SPE2), 5-18.
- Patten, & Glick, B. R. (2002). Role of *Pseudomonas putida* indoleacetic acid in development of the host plant root system. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(8), 3795-3801. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.8.3795-3801.2002>
- Pérez, J., & Sánchez, D. (2017). Caracterización y efecto de *Azotobacter*, *Azospirillum* y *Pseudomonas* asociadas a *Ipomoea* Batatas del Caribe Colombiano. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 19(2), 35-46.
<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v19n2.69471>
- Pino, M. T. (2018). (PDF) *Pimientos para la industria de alimentos e ingredientes*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
https://www.researchgate.net/publication/325034385_Pimientos_para_la_industria_de_alimentos_e_ingredientes
- Pinto, M. (2013). *EL CULTIVO DEL PIMIENTO Y EL CLIMA EN EL ECUADOR*.
<https://www.inamhi.gob.ec/meteorologia/articulos/agrometeorologia/El%20%20cultivo%20del%20pimiento%20y%20el%20clima%20en%20el%20Ecuador.pdf>
- Reyes, A., López-Arcos, M., Ruiz-Sánchez, E., Latournerie-Moreno, L., Pérez-Gutiérrez, A., Lozano-Contreras, M. G., & Zavala-León, M. J. (2014). Efectividad de inoculantes microbianos en el crecimiento y productividad de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Agrociencia*, 48(3), 285-294.

- Sánchez, D., Gómez, R., Garrido, M., & Bonilla, R. (2018, agosto 10). Inoculación con bacterias promotoras de crecimiento vegetal en tomate bajo condiciones de invernadero | Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(7).
<https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/1346>
- Sánchez, G., Aceves-Ruiz, E., Aparicio-Juárez, A., Guerrero-Rodríguez, J. de D., Olvera-Hernández, J. I., Hernández-Salgado, J. H., Álvarez-Calderon, N. M., Sánchez-Hernández, G. A., Aceves-Ruiz, E., Aparicio-Juárez, A., Guerrero-Rodríguez, J. de D., Olvera-Hernández, J. I., Hernández-Salgado, J. H., & Álvarez-Calderon, N. M. (2023). Fertilización química e inoculación con *Azospirillum* y hongos micorrízicos del cultivo de jitomate en invernadero. *Terra Latinoamericana*, 41.
<https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.991>
- Sánchez, Moreno-Pérez, E. C., Reséndiz-Melgar, R. C., Colinas-León, M. T., & Rodríguez Pérez, J. E. (2017). Producción de pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) en ciclos cortos. *Agrociencia*, 51(4), 437-446.
- Sánchez, R., Guerra Ramírez, P., Sánchez Carrillo, R., & Guerra Ramírez, P. (2022). *Pseudomonas* spp. Benéficas en la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(4), 715-725. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i4.2799>
- Sharma, A., Pathak, A., Sahgal, M., Meyer, J.-M., Wray, V., & Johri, B. N. (2007). Molecular characterization of plant growth promoting rhizobacteria that enhance peroxidase and phenylalanine ammonia-lyase activities in chile (*Capsicum annum* L.) and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Archives of Microbiology*, 188(5), 483-494. <https://doi.org/10.1007/s00203-007-0270-5>
- Velasco, A., Castellanos-Hernández, O., Acevedo-Hernández, G., Aarland, R. C., Rodríguez-Sahagún, A., Velasco-Jiménez, A., Castellanos-Hernández, O., Acevedo-Hernández,

G., Aarland, R. C., & Rodríguez-Sahagún, A. (2020). Bacterias rizosféricas con beneficios potenciales en la agricultura. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 333-345.

<https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.470>

Zaidi, A., Ahmad, E., Khan, M., Saif, S., & Rizvi, A. (2015). Role of plant growth promoting rhizobacteria in sustainable production of vegetables: Current perspective. *Scientia Horticulturae*, 193, 231-239.

<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.07.020>

Zapata, G., Hernández, L., Saénz, J., Fortis, M., Blanco, E., Chiquito, R., & Preciado, R.

(2022). *Plants* | Free Full-Text | Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Improve Growth and Fruit Quality of Cucumber under Greenhouse Conditions. 11(12).

<https://doi.org/10.3390/plants11121612>

11. Anexos



Anexo 1. Semillas híbridas de pimiento adquiridas para la siembra.



Anexo 2. Inoculación de las rizobacterias y el producto químico a las semillas de pimiento en fase de semillero.



Anexo 3. Germinación de las semillas de pimiento por cada tratamiento.



Anexo 4. Medición del diámetro del tallo a los finalizando la fase de semillero.



Anexo 5. Medición de la longitud de la raíz a los 45 finalizando la fase de semillero.



Anexo 6. Esterilización de la mezcla de tierra, arena y turba en proporción 2:1:1 respectiva para llenar en las fundas de polietileno.



Anexo 7. Trasplante de las plántulas de pimiento en las fundas de polietileno realizado a los 45 dds.



Anexo 8. Segunda inoculación de las rizobacterias y el producto químico a las plántulas de pimiento después del trasplante.



Anexo 9. Medición del diámetro del fruto con el calibrador de Vernier.



Anexo 10. Pesado de las muestras de materia fresca en la balanza digital por cada tratamiento.



Anexo 11. Colocación de las muestras de materia fresca en la estufa por cada tratamiento para el respectivo secado.



Anexo 12. Pesado de las muestras de materia seca en la balanza digital por cada tratamiento. 1

Lic. Alexander Masache Escobar, Mgs

0987216493

alexander.masache@educacion.gob.ec

Loja - Ecuador

Loja, 6 de febrero de 2024

El suscrito, Alexander Masache Escobar, Mgs, **DOCENTE EDUCACIÓN BÁSICA** (registro de la SENESCYT número: 1031-2023-2668502), **ÁREA DE INGLÉS-UNIDAD EDUCATIVA PADRE JULIÁN LORENTE**, a petición de la parte interesada y en forma legal

CERTIFICA:

Que la traducción del resumen del documento adjunto, solicitado por la señorita: **Gabriela Maritza Tinoco Gualan** con cédula de ciudadanía N° **1106078635**, cuyo tema de investigación se titula: *"Effect of rhizosphere bacteria on the germination and growth of pepper (Capsicum annuum L.) under a greenhouse"*, ha sido realizado y aprobado por mi persona, Alexander Masache Escobar, Mgs. Docente de Educación Básica en la enseñanza del inglés como lengua extranjera.

El apartado del Abstract es una traducción textual del Resumen aprobado en español.

Particular que comunico en honor a la verdad para los fines académicos pertinentes, facultando al portador del presente documento, hacer uso legal pertinente.



Lic. Alexander Masache Escobar, Mgs.
English Professor

Anexo 13. Certificado de la traducción del resumen.