



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Agronomía

Eficacia de la inoculación de microorganismos promotores del crecimiento vegetal en pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo invernadero

Trabajo de Integración Curricular,
previo a la obtención del título de
Ingeniero Agrónomo

AUTOR:

Cristian Eduardo Gualán Lozano

DIRECTOR:

Ing. Klever Iván Granda Mora PhD.

Loja – Ecuador

2024

Certificación



unl

Universidad
Nacional
de Loja

Sistema de Información Académico
Administrativo y Financiero - SIAAF

CERTIFICADO DE CULMINACIÓN Y APROBACIÓN DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, **Granda Mora Klever Ivan**, director del Trabajo de Integración Curricular denominado **Eficacia de la inoculación de microorganismos promotores del crecimiento vegetal en pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo invernadero**, perteneciente al estudiante **CRISTIAN EDUARDO GUALAN LOZANO**, con cédula de identidad N° **1104296569**. Certifico que luego de haber dirigido el **Trabajo de Integración Curricular** se encuentra concluido, aprobado y está en condiciones para ser presentado ante las instancias correspondientes.

Es lo que puedo certificar en honor a la verdad, a fin de que, de así considerarlo pertinente, el/la señor/a docente de la asignatura de **Integración Curricular**, proceda al registro del mismo en el Sistema de Gestión Académico como parte de los requisitos de acreditación de la Unidad de Integración Curricular del mencionado estudiante.

Loja, 24 de Agosto de 2023



Firmado electrónicamente por
KLEVER IVAN GRANDA
MORA

F) -----
**DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR**



Certificado TIC/TT.: UNL-2023-000665

1/1
Educamos para **Transformar**

Autoría

Yo **Cristian Eduardo Gualán Lozano**, declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y 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: 110429656

Fecha: 02 de abril de 2024

Correo electrónico: cristian.e.gualan@unl.edu.ec

Teléfono: 0990031817

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

Yo, **Cristian Eduardo Gualan Lozano**, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Eficacia de la inoculación de microorganismos promotores del crecimiento vegetal en pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo invernadero**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero Agrónomo**, 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 que realice un tercero.

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

Firma 

Autor: Cristian Eduardo Gualán Lozano

Cédula: 1104296569

Fecha: 02 de abril de 2024

Correo electrónico: cristian.e.gualan@unl.edu.ec

Teléfono: 0990031817

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Integración Curricular:

Ing. Klever Iván Granda Mora PhD.

Dedicatoria

Dedico este trabajo y mi grado a:

A Dios.

A Mi madre Luz, la persona más importante en mi vida y apoyo inconmensurable a mi vida.

Al igual que a mis hermanos: Leonardo, Víctor, Alexandra, Liliana y David.

Cristian Eduardo Gualán Lozano

Agradecimiento

Agradezco a la Universidad Nacional de Loja, por haber sido parte de mi formación profesional. De manera muy especial agradezco a mi director de Trabajo de Integración Curricular Ing. Klever Iván Granda Mora PhD, eje fundamental en el desarrollo de mi tesis, guía indispensable para mejorar en cada fase realizada.

Agradezco a mis amigos quienes han sido una indispensable compañía y apoyo en esta travesía de estudio universitario *C.C.P.*

Cristian Eduardo Gualán Lozano

Índice de contenido

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenido	vii
Índice de tablas.....	x
Índice de figuras	xi
Índice de anexos	xii
1. Título	1
2. Resumen	2
Abstract	3
3. Introducción	4
3.1. Objetivo General:	5
3.2. Objetivos Específicos.....	5
4. Marco teórico	6
4.1. Generalidades del Cultivo de Pepino.	6
4.1.1. Taxonomía del pepino.	6
4.1.2. Características botánicas.	6
4.2. Fenología.....	8
4.3. Requerimientos Edafoclimáticos	8
4.4. Bacterias promotoras de crecimiento en plantas (PGPR).	10
4.4.1. Género Azospirillum	10
4.4.2. Género Azotobacter	10
4.4.3. Género Pseudomonas	11

4.5. Microalgas	11
4.5.1. Género <i>Chlorella</i>	11
4.6. Antecedentes	12
5. Metodología	13
5.1. Localización del Estudio	13
5.1.1. Ubicación política.	13
5.1.2. Ubicación geográfica.	13
5.2. Metodología General.....	14
5.2.1. Diseño experimental.....	14
5.2.2. Tratamientos.....	15
5.2.3. Modelo estadístico.	15
5.3. Metodología para el primer objetivo “Caracterizar variables morfológicas de <i>Cucumis sativus</i> L. inoculadas con microorganismos promotores del crecimiento vegetal en pepino”.	16
5.3.1. Inoculación de microorganismos	16
5.3.2. Implementación de Semillero	16
5.3.3. Trasplante de plántulas.....	16
5.3.4. Variables evaluadas.....	17
5.4. Metodología para el segundo objetivo “Evaluar variables productivas de <i>Cucumis sativus</i> L. inoculadas con microorganismos promotores del crecimiento vegetal en pepino”.	17
5.4.1. Rendimiento	17
5.4.2. Análisis estadístico.....	18
6. Resultados.....	19
6.1. Resultados para el objetivo número 1	19
6.1.1. Caracterización de parámetros morfológicos en fase de semillero.....	19
6.1.2. Caracterización de parámetros morfológicos en la fase dos de trasplante.....	19
6.2. Resultados para el objetivo número 2	22

6.2.1. Evaluación de variables productivas	22
7. Discusión	24
7.1. Caracterización de parámetros morfológicos en fase de semillero y trasplante	24
7.1.1. Fase de semillero	24
7.1.2. Fase de trasplante	25
7.2. Evaluación de variables productivas	25
8. Conclusiones	27
9. Recomendaciones	28
10. Bibliografía	29
11. Anexos	34

Índice de tablas:

Tabla 1. Taxonomía del pepino.....	6
Tabla 2. Ciclo fenológico del cultivo de pepino.	8
Tabla 3. Valores recomendados de temperatura para el cultivo de pepino de acuerdo con varios autores.	8
Tabla 4. Rangos de humedad relativa diurnos y nocturnos para el cultivo de pepino bajo invernadero.	9
Tabla 5. Necesidades aproximadas de N, P ₂ O ₅ y K ₂ O de diferentes cultivos hortícolas para los niveles de producción indicados con riego localizado para el cultivo de pepino.	9
Tabla 6. Delineamiento del diseño experimental.....	14
Tabla 7. Inicio de cosecha del cultivo de pepino Quinta Experimental La Argelia, Loja, Ecuador.	22
Tabla 8. Área foliar en el cultivo de pepino durante el crecimiento vegetativo	34
Tabla 9. Altura de la planta en el cultivo de pepino en respuesta a la aplicación de biofertilizantes	34
Tabla 10. Efecto de inoculantes microbianos en el diámetro del tallo de pepino.....	35
Tabla 11. Número de hojas en plantas de pepino con diferentes biofertilizantes.....	35

Índice de figuras:

- Figura 1.** Mapa de ubicación del área de estudio, cantón Loja, Quinta Experimental Docente “La Argelia” (El Autor). 13
- Figura 2.** Esquema del diseño experimental de aplicación de microorganismos promotores del crecimiento vegetal en pepino *Cucumis sativus* bajo invernadero en la quinta experimental docente La Argelia 15
- Figura 3.** Promedios de altura (a) y longitud de raíz (b) de plantas de pepino en semillero para los tratamientos T1 (*Azospirillum* spp.), T2 (*Azotobacter* spp.), T3 (*Pseudomonas* spp.), T4 (*Chlorella* spp.), T5 (Agua), T6 (Newgibb). Las letras superiores representan las diferencias significativas entre cada tratamiento con un $p < 0,05$. 19
- Figura 4.** Curvas de crecimiento para variables morfológicas área foliar (A), altura (B), diámetro de tallo (C) y número de hojas (D) para los distintos tratamientos aplicados a plantas de pepino en fase de trasplante: T1 (*Azospirillum* spp.), T2 (*Azotobacter* spp.), T3 (*Pseudomonas* spp.), T4 (*Chlorella* spp.), T5 (Agua), T6 (Newgibb). NS, *, **, ***, no significativo, significativo a una $P < 0.05$, 0.01, ó, 0.001, respectivamente.....21
- Figura 5.** Evaluación de variables productivas para los distintos tratamientos aplicados a plantas de pepino en fase de trasplante: T1 (*Azospirillum* spp.), T2 (*Azotobacter* spp.), T3 (*Pseudomonas* spp.), T4 (*Chlorella* spp.), T5 (Agua), T6 (Newgibb). Las letras superiores representan las diferencias significativas entre cada tratamiento con un $p < 0,05$23

Índice de anexos:

Anexo 1. Efecto de inoculantes microbianos en parámetros de crecimiento de pepino.....	34
Anexo 2. Preparación del sustrato (10/03/2023)	36
Anexo 3. Llenado de bolsas con el sustrato (13/03/2023).....	36
Anexo 4. Etiquetado de tratamientos (14/03/2023).....	37
Anexo 5. Preparación del semillero (15/03/2023).....	37
Anexo 6. Siembra e inoculación de semillas (20/03/2023)	37
Anexo 7. Inoculación de las semillas (23/03/2023).....	38
Anexo 8. Monitoreo del crecimiento	38
Anexo 9. Cosecha y medición de frutos de pepino	39
Anexo 10. Monitoreo y control fitosanitario de plagas	39
Anexo 11. Certificación de traducción del resumen.....	40

1. Título

Eficacia de la inoculación de microorganismos promotores del crecimiento vegetal en pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo invernadero

2. Resumen

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es un cultivo anual de importancia en regiones tropicales de Asia y en Ecuador, donde se adapta a diversos entornos. A pesar de su demanda en el mercado local, enfrenta desafíos como plagas, enfermedades y problemas de fertilización sintética. Se ha explorado el potencial de microorganismos promotores del crecimiento vegetal (PGPR) y microalgas como alternativas sostenibles. Aunque se han obtenido resultados alentadores en la costa ecuatoriana, se busca evaluar su efectividad en condiciones de invernadero en la región andina, de manera especial la región Sur. El enfoque se centró en aplicar cepas nativas promotoras del crecimiento vegetal de los géneros *Azotobacter* spp., *Azospirillum* spp., *Pseudomonas* spp. y la microalga *Chlorella* spp. con el fin de minimizar la utilización de fertilizantes sintéticos en la producción local de pepino. La metodología consistió en un experimento cuantitativo de diseño completamente aleatorio en invernadero, evaluando los cuatro microorganismos en el cultivo de pepino variedad Marketmore. Se observaron diferencias significativas en la etapa de semillero donde se aplicó las cepas de *Azotobacter* spp. y *Azospirillum* spp. de manera especial en la altura de plántula y longitud de raíz, respectivamente. Mientras que en la fase de transplante, *Azotobacter* spp. y *Pseudomonas* spp. influyeron para una mayor área foliar, altura y diámetro de tallo de las plantas mientras que el tratamiento testigo y *Pseudomonas* spp. presentaron mayor número de hojas. *Azotobacter* y *Pseudomonas* afectaron significativamente en el rendimiento del cultivo de pepino en comparación con los demás tratamientos y el control positivo con el bioestimulante sintético AG; destacándose los mejores valores en variables como longitud y diámetro de fruto, número de frutos por planta, peso del fruto, rendimiento por planta y rendimiento por área. Estos resultados respaldan el potencial de las Rizobacterias como promotores del crecimiento vegetal y como alternativa sostenible para mejorar el rendimiento y las características productivas del cultivo bajo condiciones de invernadero en el cantón Loja.

Palabras clave: *Pepino, Microalgas, PGPR, Fertilización, Invernadero, Rendimiento*

Abstract

Cucumber (*Cucumis sativus*) is an important annual crop in tropical regions of Asia and Ecuador, where it is adapted to diverse environments. Despite its demand in the local market, it faces challenges such as pests, diseases and synthetic fertilization problems. The potential of plant growth-promoting microorganisms (PGPR) and microalgae as sustainable alternatives has been explored. Although encouraging results have been obtained on the Ecuadorian coast, the aim is to evaluate their effectiveness under greenhouse conditions in the Andean region, especially in the southern region. The approach focused on applying native plant growth promoting strains of the genera *Azotobacter* spp., *Azospirillum* spp., *Pseudomonas* spp. and the microalgae *Chlorella* spp. in order to minimize the use of synthetic fertilizers in local cucumber production. The methodology consisted of a quantitative experiment with a completely randomized design in greenhouse, evaluating the four microorganisms in the Marketmore cucumber crop. Significant differences were observed at the seedling stage where *Azotobacter* spp. and *Azospirillum* spp. strains were applied, especially in seedling height and root length, respectively. While in the transplanting stage, *Azotobacter* spp. and *Pseudomonas* spp. influenced a greater leaf area, height and stem diameter of the plants while the control treatment and *Pseudomonas* sp. presented a greater number of leaves. *Azotobacter* spp. and *Pseudomonas* spp. Had a significant effect on the yield of the cucumber crop compared to the other treatments and the positive control with the synthetic biostimulant AG; highlighting the best values in variables such as fruit length and diameter, number of fruits per plant, fruit weight, yield per plant and yield per area. These results support the potential of Rhizobacteria as plant growth promoters and sustainable alternatives to improve the yield and productive characteristics of the crop under greenhouse conditions in the Loja canton.

Key words: Cucumber, Microalgae, PGPR, Fertilization, Greenhouse, Yield, Yield.

3. Introducción

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es una planta anual de la familia de las cucurbitáceas, originaria de las regiones tropicales de Asia, donde se cultiva desde hace más de 3000 años (López, 2020). Es un cultivo de importancia en los países que lo cultivan puesto que tiene una gran demanda en el mercado local. En Ecuador, el cultivo de pepino se adapta a los valles secos y cálidos de la región interandina, zonas secas y la zona sub-húmeda de la costa (Álvarez, 2018). En el año 2014 la producción bruta del cultivo de pepino en Ecuador fue de 4 164 t/año de acuerdo con el total de consumo interno más las exportaciones, esperándose un incremento en la producción para el año 2025 de 113 019 t/año (Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca [MAGAP], 2016).

El cultivo de pepino presenta una serie de problemas que limitan su rendimiento, donde plagas como mosca blanca (*Bemisia tabaci*), trips (*Frankliniella occidentalis*) y ácaros (*Tetranychus urticae*) y enfermedades como la antracnosis (*Colletotrichum* spp.), mildiu veloso (*Pseudoperonospora cubensis*) y oídio (*Erysiphe cichoracearum*, *Leveillula taurica*) causan la disminución del rendimiento del cultivo (Monge y Chacón, 2021). Más importante aún, estudios recientes han demostrado que la fertilización sintética causa problemas de acumulación de sales en el suelo y genera aumento en los costes de producción, resultando ser un agravante en la baja productividad (Organización de Naciones Unidas, 2021; Zapata-Sifuentes et al., 2022).

Ante la búsqueda de fuentes de fertilización alternativas sostenibles, se ha identificado un gran número de microorganismos Promotores del Crecimiento Vegetal (PGPR) como: *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Burkholderia*, *Bacillus* y *Serratia*, los cuales mostraron buenos resultados sobre el crecimiento de las plantas a través de mecanismos de acción como la producción de AIA (ácido indolacético), solubilización de fósforo, antagonismo y producción de sideróforos (Posada et al., 2021; Singh y Nehra, 2011). Por otro lado, microalgas del género *Chlorella* son uno de los más estudiados, destacando su uso en la agricultura y en el tratamiento de aguas residuales, por su capacidad de absorber metales pesados y su utilidad en la biorremediación de la contaminación orgánica (Gómez-Luna et al., 2022).

Varios estudios han mostrado prometedores resultados de estos microorganismos en pepino, pero se han centrado en regiones de la costa, por lo que se requiere de evaluar su efecto bajo condiciones de invernadero en la región andina utilizando cepas nativas aisladas de la provincia de Loja. En ese sentido, es necesario profundizar en la investigación de

microorganismos promotores del crecimiento vegetal como *Azotobacter* spp., *Azospirillum* spp. *Pseudomonas* spp. y *Chlorella* spp. que provean una alternativa al uso de fertilizantes sintéticos en la producción local.

Con el objetivo de determinar la eficacia de la inoculación de microorganismos promotores del crecimiento vegetal en pepino bajo invernadero, se realizó este proyecto, el cual está vinculado con la línea de investigación de la Universidad Nacional de Loja, denominado “Sistemas agropecuarios sostenibles para la soberanía alimentaria” y con la línea de investigación de la carrera de Ingeniería Agronómica denominada “Generación y validación de tecnologías apropiadas para la producción de hortalizas, tubérculos y raíces, ornamentales, medicinales y otras”; además, tiene clara relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS 2020-2030; Fin de la pobreza, Hambre cero, Industria, innovación, e infraestructura, Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles, Acción por el clima, y Vida de ecosistemas terrestres. Además, forma parte del programa institucional denominado “Bioproducto mixto con microorganismos benéficos para su aplicación en cultivos hortícolas”.

3.1. Objetivo General:

Determinar la eficacia de la inoculación de microorganismos promotores del crecimiento vegetal en pepino bajo invernadero.

3.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar variables morfológicas de *Cucumis sativus* inoculadas con microorganismos promotores del crecimiento vegetal en pepino.
- Evaluar variables productivas de *Cucumis sativus* inoculadas con microorganismos promotores del crecimiento vegetal en pepino.

4. Marco teórico

4.1. Generalidades del Cultivo de Pepino.

4.1.1. Taxonomía del pepino.

Desde el punto de vista taxonómico esta especie se clasifica de la siguiente manera:

Tabla 1. Taxonomía del pepino

Taxonomía del pepino	
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Cucurbitales
Familia:	Cucurbitaceae
Subfamilia:	Cucurbitoideae
Tribu:	Melothrieae
Subtribu:	Cucumerinae
Género:	<i>Cucumis</i>
Especie:	<i>Cucumis sativus</i> L.

Fuente: (Integrated Taxonomic Information System, 2023)

4.1.2. Características botánicas.

La planta del pepino es una enredadera rastrera anual, gruesa y postrada, que crece en espalderas o cualquier otro tipo de soporte, envolviendo las nervaduras con zarcillos finos y espirales. La planta tiene grandes hojas triangulares, espinosas y peludas, que forman a un dosel sobre el fruto, y flores amarillas que en su mayoría son masculinas o femeninas (Haifa Group, 2020).

El sistema radicular del pepino es muy ramificado y superficial; aunque su raíz principal puede profundizar hasta 1,20 m en caso de suelos sueltos y fértiles, con buen aprovisionamiento de agua y óptimas condiciones climáticas. La mayor parte de las raíces están ubicadas a una profundidad de 15-30 cm (Casilimas et al., 2012). Cuando se aporca la base de la planta y existen condiciones de humedad favorables, las raíces adventicias surgen fácilmente del hipocótilo, así como de los nudos a lo largo de las cepas (Haifa Group, 2020).

Los tallos son rastreros con abundantes vellosidades. Pueden alcanzar hasta 4 m de longitud y si se les coloca cualquier elemento donde puedan agarrarse se convierten en trepadores. Del tallo principal se producen tallos laterales de hasta un metro, aunque debido a la competencia de unos con otros normales no alcanzar estas longitudes, la sección del tallo suele ser cuadrangular y su centro, a veces se halla hueco (Cotrina, 1979).

Sus hojas son grandes y simples de entre 10-20 cm en el pepino normal, o 20-40 cm en el pepino sin semillas, nacen de peciolos de 7-20 cm de largo. Son palmeadas, con cinco lóbulos y se encuentran insertas en los tallos alternadamente. En cada nudo por encima de los primeros

3-5, un simple zarcillo no ramificado crece desde la base del pecíolo. El haz tiene una coloración verde intensa mientras que el envés presenta una tonalidad más grisácea. Algunas de estas hojas se transforman en zarcillos, generalmente ramificados, los cuales sirven para que la planta se sujete al tutor cuando se hace el cultivo elevado. Una sección transversal del tallo revela 10 haces vasculares dispuestos en dos anillos. Los haces vasculares más pequeños del anillo exterior (primeros cinco) se encuentran en los ángulos del tallo; los haces más grandes (Cinco restantes) forman el anillo interior (Haifa Group, 2020).

Tienen cinco lóbulos angulosos, de los cuales el central es el más grande, y muchos tricomas cubren la superficie. Los zarcillos sensibles permiten a los tallos, que no pueden retorcerse por sí mismos, trepar sobre otras plantas u objetos. La punta de un zarcillo, al tocar un soporte, se enrolla alrededor de él; entonces el resto de la longitud del zarcillo se enrolla en espiral, tirando de toda la planta hacia el soporte (Cotrina, 1979).

Las flores son unisexuales, aunque en algunas plantas pueden ser hermafroditas. Las flores masculinas tienen forma de campanilla y presentan cinco pétalos amarillos, soldados entre sí en los dos tercios inferiores. Su pedúnculo es filamentosos y bastante alargado y las femeninas se caracterizan por poseer los sépalos de color amarillento y el ovario ínfero trilobular (Cotrina, 1979). La polinización se hace generalmente a través de insectos, aunque es una planta que posee una cierta tendencia a la partenocarpia, esta condición puede ser de naturaleza genética, normalmente en los cultivares modernos; aunque también puede ser regulada por la aplicación de fitohormonas, principalmente las de naturaleza auxínica (Casilimas et al., 2012).

Botánicamente, el fruto es una falsa baya o pepo, alargada y de forma triangular redondeada. Su tamaño, forma y color varían según el cultivar. La capa epidérmica puede presentar zonas proliferadas (verrugosas), cada una de ellas con un tricoma (pelo en punta). La cavidad del fruto contiene tejido blando en el que están incrustadas las semillas. Los pepinos son cortos (unos 15-25 cm) y uniformemente cilíndricos. Su piel, gruesa y de color verde intenso, presenta rayas color verde claro y una superficie rugosa con fuertes tricomas. La fina piel es verde uniforme y no amarga, por lo que no hay que pelar el fruto antes de comerlo. El fruto del pepino, como el de otras cucurbitáceas, destaca por su alto contenido en agua, que ronda el 95% de su peso en fresco (Haifa Group, 2020).

Entre las variedades más conocidas se puede encontrar:

Pepino corto y pepinillo (“tipo español”). – Variedades de fruto pequeño de hasta 15 cm, piel verde y rayada de amarillo o blanco. Consumo en fresco o para encurtido. Las

variedades pueden ser monoicas, ginoicas con polinizador y ginoicas partenocárpicas (Díaz, 1999).

Pepino medio largo (“tipo francés”). – Longitud media entre 20-25 cm, monoicas y ginoicas. Dentro de estas últimas, se diferencian las variedades cuyos frutos tienen espinas y las de piel lisa o minipepinos, de floración totalmente partenocárpica (Díaz, 1999).

Pepino largo (“tipo holandés”). – frutos que superan los 25 cm de longitud, ginoicas, de frutos totalmente partenocárpicos y de piel lisa, más o menos asurcada (Díaz, 1999).

4.2. Fenología

El pepino es una hortaliza cuya duración de las etapas fenológicas varía de acuerdo con las condiciones edafoclimáticas, por lo cual se considera de ciclo corto. En la tabla 2, se puede observar el ciclo fenológico.

Tabla 2. Ciclo fenológico del cultivo de pepino.

Etapa fenológica	Días después de siembra
Emergencia	4-5
Inicio de emisión de guías	15-24
Inicio de floración	27-34
Inicio de cosecha	43-50
Fin de cosecha	75-90

Fuente: (Casilimas et al., 2012)

4.3. Requerimientos Edafoclimáticos

El pepino es de rápido crecimiento, con un alto índice de acumulación de biomasa y con un sistema radical poco profundo; por lo que para lograr altos rendimientos es necesario utilizar sistemas de producción que garanticen un adecuado y oportuno aprovisionamiento de agua (Romero et al., 2009).

El pepino se desarrolla adecuadamente en un rango de temperaturas de entre 18 y 28 °C. Este amplio rango es debido a la diversidad de variedades que existen. En la tabla 3. Se presentan los valores recomendados de temperatura según lo establecido por diversos autores.

Tabla 3. Valores recomendados de temperatura para el cultivo de pepino de acuerdo con varios autores.

Referencia	Temperatura			
	Mínima	Noche	Día	Máxima
Swaider et al. (1996)	16	17-19	28-30	32
Hochmuth (2008)	--	--	27-29	35
Johnson (1980)	--	18	24-27	--

Fuente: (Casilimas et al., 2012).

El agua y transpiración de las plantas se ven influenciados por parámetros ambientales, entre los que la humedad gana mayor importancia. La humedad del aire afecta a los procesos asociados a la transpiración, como el balance hídrico, el enfriamiento por transpiración y la translocación de iones. La tabla 4 presenta los rangos de humedad relativa recomendados para el cultivo bajo invernadero.

Tabla 4. Rangos de humedad relativa diurnos y nocturnos para el cultivo de pepino bajo invernadero.

Nivel	Humedad relativa (%)	
	Día	Noche
Óptimo	60-70	70-60
Subóptimo	40-60	>60
Crítico	<40	>60

Fuente: (Casilimas et al., 2012)

La planta de pepino presenta un crecimiento suculento debido a su rápido desarrollo, haciendo que el contenido de agua de los frutos sea superior al 95 %. Pepinos del tipo europeo o partenocárpico, tienen una piel muy delgada, lo cual incrementa su susceptibilidad a la pérdida de agua y al ablandamiento de los frutos. En este sentido es de suma importancia mantener un control de la humedad relativa dentro del invernadero (Casilimas et al., 2012).

Bajo condiciones de invernadero es importante tener en cuenta que la cubierta restringe parcialmente la cantidad de radiación que llega de manera efectiva a las plantas, la cual está indicado en la ficha técnica del material plástico empleado (Casilimas et al., 2012).

En la fase inicial del cultivo de pepino, las necesidades de nutrientes son bajas, pero la falta de nitrógeno puede tener efectos irreversibles en el crecimiento. Durante la floración, cuajado y formación de bulbos, se deben evitar aplicaciones excesivas de nitrógeno. En la etapa final del cultivo, se debe aplicar una cantidad pequeña o nula de nitrógeno para evitar impactos negativos en la calidad y la posible lixiviación de altos niveles de nitrógeno mineral en el suelo (Ramos y Pomares, 2010). En la tabla 5 se indican las dosis de abonado que pueden emplearse para los niveles de producción especificados

Tabla 5. Necesidades aproximadas de N, P₂O₅ y K₂O de diferentes cultivos hortícolas para los niveles de producción indicados con riego localizado para el cultivo de pepino.

Requerimiento	Rendimiento meta t/ ha	kg/ha
N	75-85	202-280
P ₂ O ₅	75-85	130-150
K ₂ O	75-85	260-320

Fuente: (Ramos y Pomares, 2010)

4.4. Bacterias promotoras de crecimiento en plantas (PGPR).

La diversidad filogenética y funcional de las bacterias asociadas a la rizósfera de las plantas es extremadamente compleja, ciertos géneros y especies microbianos tradicionalmente se han asociado a un efecto positivo sobre el crecimiento de las plantas, como en el caso del grupo de bacterias del orden Rhizobiales del filo Proteobacteria (Díaz et al., 2021).

Las bacterias promotoras del crecimiento vegetal participan en la fertilización del suelo a través de la biofijación del nitrógeno atmosférico y la bio solubilización de nutrientes como el fósforo, potasio y algunos micronutrientes. Por otra parte, la mayoría del N no es accesible para las plantas porque se encuentra gaseoso. La fijación biológica del N está limitada exclusivamente a bacterias que poseen un complejo enzimático denominado nitrogenasa, que cataliza la reducción del N atmosférico a amonio. Procariotas fijadores de nitrógeno incluyen ambos grupos de bacterias rizosféricas de vida libre como *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Pseudomonas*, entre otras; así como las bacterias rizosféricas simbióticas como *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium*, *Azorhizobium*, *Mesorhizobium* y *Allorhizobium* (Auyoub Bhat et al., 2019). Los principales microorganismos que han sido usados en biofertilizantes conforman los géneros: *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Cyanobacteria*, *Azolla*, (Bumandalai y Tserennadmid, 2019).

4.4.1. Género *Azospirillum*

Azospirillum spp es uno de los géneros más representativos del grupo de las bacterias promotoras del crecimiento vegetal y ha sido de gran importancia en estudios de fisiología, ecología y genética molecular de bacterias rizosféricas asociadas a las plantas, de hecho, numerosos estudios han concluido que la inoculación con *Azospirillum* resulta en aumentos significativos del rendimiento de los cultivos en magnitudes del orden de 5-30 % por sobre los controles, con eficiencias que bordean el 70 % (Díaz-Zorita y Fernández-Canigia, 2009).

El género *Azospirillum* pertenece a la subclase alfa de las proteobacterias, gram negativas, fijadoras de nitrógeno de vida libre, microaerófilas, móviles con un único flagelo polar. En este sentido, se han descrito numerosos mecanismos como la capacidad de producir fitohormonas como las auxinas, giberelinas y citoquininas; producción de óxido nítrico (NO), molécula necesaria para la formación de las raíces laterales y adventicias (Sangoquiza Caiza et al., 2019).

4.4.2. Género *Azotobacter*

Azotobacter es un grupo de bacterias gram negativas, de vida libre, fijadoras de nitrógeno que habitan en el suelo. Se han reportado alrededor de seis especies del género, algunas de las

cuales son móviles por medio de flagelos peritrichosos, mientras que otras son inmóviles. Fue reconocido como el primer fijador de nitrógeno aeróbico de vida libre (Sumbul et al., 2020).

Son bacterias conocidas por su gran capacidad para fijar el nitrógeno atmosférico para su síntesis de proteínas celulares que se mineralizan en el suelo, impartiendo a las plantas de cultivo una parte considerable del nitrógeno disponible de la fuente del suelo (Sumbul et al., 2020).

4.4.3. Género *Pseudomonas*

Son células gram negativas, en forma de bastoncillos rectas o ligeramente curvadas con flagelos polares. Las especies de *Pseudomonas*, generalmente consideradas como promotoras de elongación de plantas (raíz y brote), se agregan a nivel molecular, y tienen varios Fito beneficios. Numerosas cepas de *Pseudomonas fluorescentes* muestran una mejora en la salud a través de un mayor crecimiento de las plantas y supresiones biológicas (Sah et al., 2021).

La naturaleza mutualista de PGPR en *Pseudomonas* spp. a las plantas y rizobios es un sistema de retroalimentación fisiológica constante que revierte a los microbios rizobiales que mantienen su dependencia (de la colonización) en el número de componentes orgánicos de los exudados secretados por el huésped (Sah et al., 2021).

La capacidad de estos microbios para transformar el fósforo insoluble a su forma soluble es una de las características cruciales para mejorar el rendimiento de los cultivos y están presentes en la región rizósfera contribuyendo a las actividades promotoras del crecimiento de las plantas, por lo tanto, se utilizan como biofertilizantes para prácticas agrícolas sostenibles (Pattnaik et al., 2019).

4.5. Microalgas

Las microalgas son un grupo fotosintético polifilético de tamaño microscópico, formado por organismos eucariotas y cianobacterias procariotas. Estos organismos presentan ventajas únicas, como su facilidad de cultivo, sus bajos costes de crecimiento y su capacidad de adaptación a distintos entornos, lo que permite establecer su cultivo en zonas pequeñas y en regiones normalmente inadecuadas para los cultivos agrícolas (Ortiz-Moreno et al., 2019).

4.5.1. Género *Chlorella*

La biomasa microalgal contiene macronutrientes, así como micronutrientes, reguladores de crecimiento, poliaminas, enzimas naturales, carbohidratos, proteínas, aminoácidos y vitaminas implementados para promover el crecimiento vegetativo. Produce fitohormonas similares a las citoquininas identificadas como isopenteniladenina (iP), zeatina y sus ribósidos

conjugados, que influyen en la división y diferenciación celular, y también son importantes en el desarrollo del cloroplasto, la dominancia apical y el retraso de la senescencia (Bumandalai y Tserennadmid, 2019).

4.6. Antecedentes

Se estudió la capacidad de mejorar la producción orgánica del pepino mediante el uso de Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (mezcla de *Azotobacter chroococum*, *Azospirillum brasilense*). Los resultados obtenidos indican que el uso de 100% y 125 % de compost con adición de PGPR o té de compost aumentó significativamente el crecimiento vegetativo, el rendimiento, el contenido nutricional de las plantas de pepino y el contenido de metales pesados en los frutos en comparación con la dosis recomendada de tratamiento de fertilizantes minerales (Abou-El-Hassan et al., 2014).

Otro estudio se demostró que la inoculación de plantas de pepino con *Azospirillum brasilense* induce y anticipa la activación de los mecanismos de deficiencia de Fe tanto en las plantas con Fe suficiente como en las plantas con Fe- deficiente, mejorando así la capacidad de las plantas para hacer frente a al estrés de Fe. *A. brasilense* puede afectar la fisiología de la raíz estimulando los mecanismos bioquímicos que controlan tanto la movilización de Fe en la rizosfera y la absorción de Fe por las plantas (Pii et al., 2016).

Por otro lado, Wani et al., (2013) han puesto en manifiesto la importancia del uso de *Azotobacter chroococum* en la nutrición de las plantas y su contribución a la fertilidad del suelo, esto debido a que el género *Azotobacter* sintetiza auxinas, citoquininas, y estos materiales de crecimiento son las principales sustancias que controlan la mejora del crecimiento.

En condiciones comerciales de invernadero, la cepa P3-57 de *Pseudomonas putida* incrementó la calidad de pepino de acuerdo con el aumento de aroma, sabor y zumo de la fruta, y redujo el nitrato y los metales pesados. Una reducción del 30 % en la cantidad recomendada de fertilizante químico redujo el rendimiento y la calidad del pepino. Sin embargo, se encontró que se incrementa la puntuación de algunos rasgos sensoriales en comparación con el tratamiento control – 70% (Alipour Kafi et al., 2021).

5. Metodología

5.1. Localización del Estudio

5.1.1. Ubicación política.

La presente investigación se realizó en un invernadero de la Quinta Experimental La Argelia de la Universidad Nacional de Loja (Figura 1), donde se evaluó la efectividad de las diferentes cepas de Rizobacterias (*Azospirillum* spp., *Azotobacter* spp., *Pseudomonas* spp.) y microalgas del género *Chlorella* spp. sobre el cultivo de pepino.

5.1.2. Ubicación geográfica.

De acuerdo con los datos del software Google Earth (2023), las coordenadas del sector son las siguientes:

- Latitud: 4° 2' 0,26" Sur
- Longitud: 79° 11' 58,35" Oeste
- Altitud: 2 155 m.s.n.m

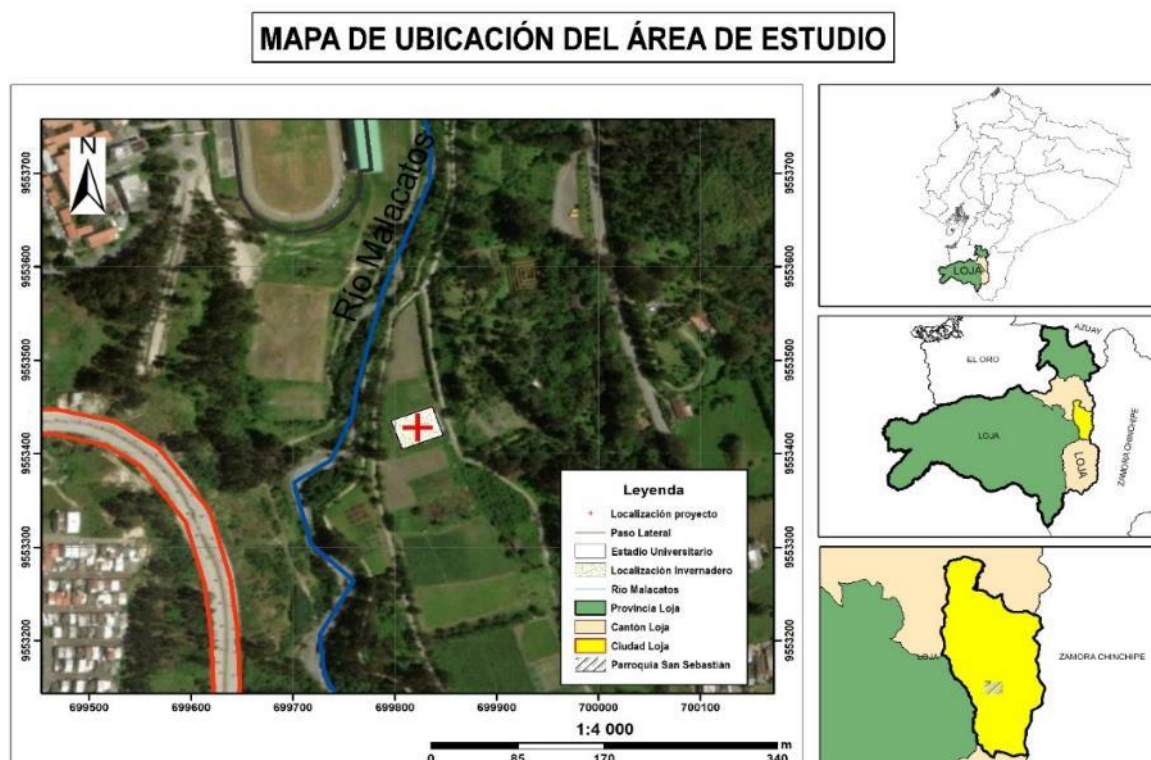


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio, cantón Loja, Quinta Experimental Docente “La Argelia” (El Autor).

5.2. Metodología General

La presente propuesta de investigación fue experimental, cuantitativo, con alcance descriptivo y comparativo causal, en el que se implementó un diseño experimental con variables independientes.

El alcance descriptivo de la presente investigación implicó la descripción y el análisis de las variables dependientes de crecimiento y rendimiento en el cultivo de pepino. Se utilizó un enfoque experimental, lo que implicó la aplicación de 4 tratamientos con microorganismos, y 2 tratamientos testigo negativo y positivo para observar su efecto en el crecimiento y rendimiento. El estudio se basó en datos cuantitativos, es decir, se recopiló y analizaron datos numéricos. El objetivo principal fue comparar las variables dependientes entre los tratamientos mediante la implementación de un diseño experimental controlado.

La investigación buscó establecer una relación causal entre el uso de estos microorganismos y los cambios observados en el crecimiento y desarrollo de las plantas de pepino. Para lograrlo, se compararon dos grupos de plantas de pepino: uno que recibió tratamientos con microorganismos promotores del crecimiento vegetal y otro grupo de control que no recibió estos tratamientos. Al comparar los resultados entre el grupo experimental y el grupo de control, se logró establecer si existe una relación causal entre el uso de estos microorganismos y los cambios observados en las plantas de pepino. Este enfoque permitió obtener conclusiones más sólidas sobre la eficacia de los microorganismos promotores del crecimiento vegetal y su potencial aplicación en la producción de pepino bajo condiciones de invernadero.

5.2.1. Diseño experimental

Para evaluar la efectividad de los aislados bacterianos sobre el cultivo de pepino *Cucumis sativus* L. bajo invernadero, en la tabla 6 se indica el delineamiento del diseño completamente aleatorizado (DCA).

Tabla 6. Delineamiento del diseño experimental.

Diseño	Cantidad
Número de tratamientos	6
Número de repeticiones por tratamiento	10
Número de plantas totales	60
Unidad experimental	1 planta de pepino
Densidad de siembra	2,6 plantas/m ²
Distancia entre hileras	1,54 m
Distancia entre plantas	0,25 m
Superficie total	20,78 m ²

5.2.2. Tratamientos

Los tratamientos se establecieron en base a 4 aislados de microorganismos promotores del crecimiento vegetal con una concentración de 1×10^8 UFC/ml, T1 = *Azospirillum* spp, T2 = *Azotobacter* spp, T3 = *Pseudomonas* spp y T4 = *Chlorella* spp. Además, se adicionaron 2 tipos de control: control negativo T5 = Agua destilada estéril, y control positivo T6 = bioestimulante sintético (NewGibb) (Figura 2). Las plantas se manejaron a un solo tallo, eliminando todos los tallos secundarios. Las labores de amarre de la planta, deshijas y deshojas se realizaron en forma periódica.

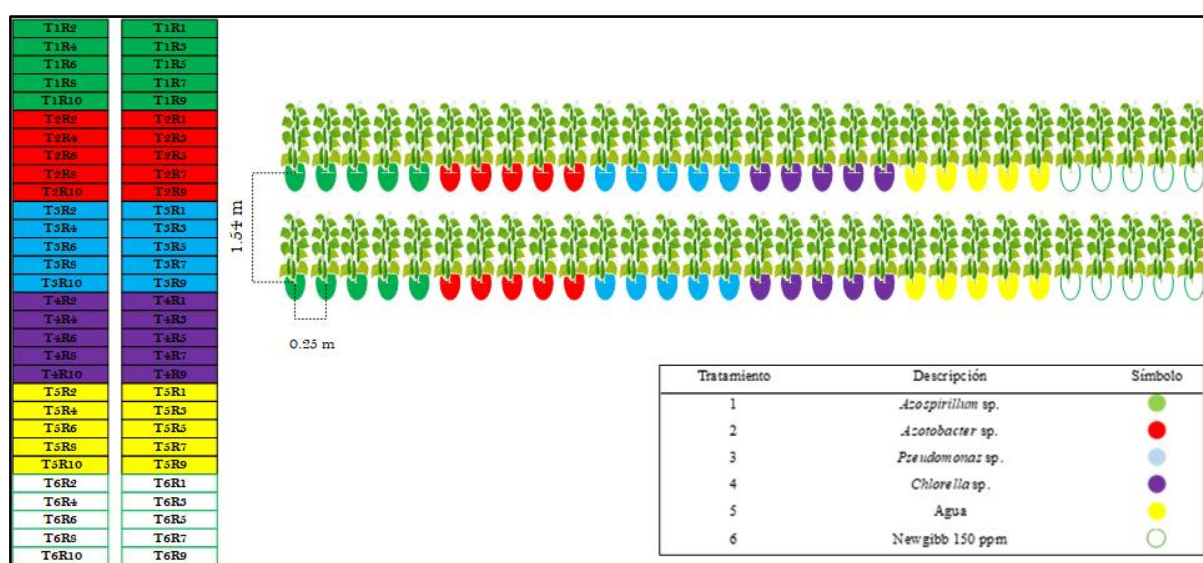


Figura 2. Esquema del diseño experimental de aplicación de microorganismos promotores del crecimiento vegetal en pepino *Cucumis sativus* bajo invernadero en la quinta experimental docente La Argelia

5.2.3. Modelo estadístico.

Se utilizó un Diseño completamente al Azar (DCA), cuyo modelo matemático es:

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

Donde: Y_{ij} es la variable respuesta;

μ es la media general

τ_i es el efecto de los tratamientos que recién se asignan; y,

ϵ_{ij} , es el efecto del error experimental.

Luego se realiza el sorteo propiamente dicho, identificando con códigos los tratamientos y las repeticiones para finalmente en cada unidad experimental asignarlos.

5.3. Metodología para el primer objetivo “Caracterizar variables morfológicas de *Cucumis sativus* L. inoculadas con microorganismos promotores del crecimiento vegetal en pepino”.

Dentro de la siembra se utilizaron 15 semillas por cada tratamiento, de los cuales 5 se destruyeron en la evaluación de la fase de semillero, mientras que los 10 restantes sirvieron para evaluar las variables en la fase de trasplante.

5.3.1. Inoculación de microorganismos

Se realizaron 2 aplicaciones de un 1 ml del cultivo de cada uno de los aislados bacterianos en las 10 réplicas en el momento de la siembra (DDS) y a los 27 días después del trasplante (DDT) a razón de 1×10^8 células/ml. Las cepas fueron provistas por el laboratorio de microbiología vegetal del Centro de Biotecnología de la UNL.

5.3.2. Implementación de Semillero

Se sembraron en bandejas plásticas, donde se usó turba (“peat moss”) y tierra en una proporción 1:1 como sustrato, el mismo previamente estéril mediante tres ciclos sucesivos a 150 °C en estufa. Se procedió a realizar la medición de 5 semillas de cada tratamiento, lectura que se realizó una sola vez a los 22 días después de la siembra, de las cuales se registraron los siguientes parámetros:

- **Aparición de hojas cotiledones.** Se contabilizaron los días transcurridos desde la siembra hasta la aparición de los cotiledones totalmente desplegados en cada plántula de los diferentes tratamientos.
- **Longitud de la raíz.** - La longitud de la raíz se midió con regla graduada desde el cuello de la plántula hasta el ápice de la raíz más larga.
- **Altura de plántula.** - Se midió con un flexómetro desde el cuello de la planta hasta el ápice de la hoja más alta.

5.3.3. Trasplante de plántulas

Se realizó el trasplante de las plántulas en bolsas plásticas de 20 x 30 cm con capacidad de 3 kg de sustrato. El trasplante se realizó a los 27 DDS cuando las plantas presentaron su primera hoja verdadera. El sustrato previamente estéril mediante tres ciclos sucesivos a 150 °C en estufa contenía una mezcla de tierra y turba en proporción 2:1. Se monitoreó la incidencia a plagas y enfermedades durante todo el periodo de evaluación.

5.3.4. Variables evaluadas

Se evaluaron las variables agronómicas en el desarrollo de la planta: como altura, diámetro de tallo y número de hojas.

- **Altura de la planta.** - Para la medición de esta variable se utilizó un flexómetro de 5 metros, se llevó el registro en centímetros y se midió desde la base del tallo hasta la yema apical de la planta. Se evaluó con una frecuencia semanal a partir de los 15 días después del trasplante (DDT).
- **Diámetro de tallo.** - La medición se tomó en la base del tallo hasta la yema terminal, para esto se utilizó un pie de rey, se utilizó (cm) como unidad de medida. Se evaluó con una frecuencia semanal a partir de los 15 días después del trasplante (DDT).
- **Número de hojas.** - Se contaron el número de hojas por planta, desde la aparición de las hojas verdaderas cada 8 días hasta el final de la cosecha.
- **Área foliar.** - La primera lectura se tomó a los 38 días después de la siembra, se midió utilizando el medidor laser portátil de área foliar CI 202 hasta el final del experimento. Se evaluó con una frecuencia quincenal a partir de los 15 días después del trasplante (DDT).

5.4. Metodología para el segundo objetivo “Evaluar variables productivas de *Cucumis sativus* L. inoculadas con microorganismos promotores del crecimiento vegetal en pepino”.

5.4.1. Rendimiento

El rendimiento se calculó tomando el número de frutos listos para cosecha por cada repetición para determinar el peso promedio y rendimiento por hectárea.

- **Cosecha:** Se realizó cuatro cosechas cuando los frutos estuvieron listos con el desprendimiento de la flor o ausencia de espinas.
- **Longitud del fruto (cm):** se midió esta característica a 20 frutos de cada tratamiento, y se obtuvo el promedio.
- **Diámetro del fruto (mm):** se midió esta característica en la parte media de 20 frutos de cada tratamiento, y se obtuvo el promedio.
- **Edad al inicio de la cosecha (ddt):** se contabilizó el número de días transcurridos desde el trasplante hasta la fecha del primer corte de frutos.
- **Número de frutos por planta:** se contabilizó el número total de frutos por tratamiento, y se dividió entre el número de plantas del tratamiento.

- **Peso del fruto (g):** se calculó el peso total de la producción en cada tratamiento, y se dividió entre el número total de frutos por tratamiento.
- **Rendimiento por planta (g/planta):** se calculó el peso total de la producción en cada tratamiento, y se dividió entre el número de plantas por tratamiento.
- **Rendimiento por área (kg/m²):** se calculó a partir del rendimiento por planta y de la densidad de siembra.

5.4.2. Análisis estadístico

Los datos se procesaron utilizando el paquete estadístico Infostat v.2022. Previamente se realizó el análisis de normalidad de datos y homogeneidad de varianzas para posteriormente determinar las diferencias estadísticas entre los tratamientos mediante un análisis de varianza simple, empleando la prueba de Tukey para realizar una comparación de medias con un nivel de significancia de $p < 0,05$.

6. Resultados

6.1. Resultados para el objetivo número 1

Caracterizar variables morfológicas de *Cucumis sativus* L. inoculadas con microorganismos promotores del crecimiento vegetal en pepino.

6.1.1. Caracterización de parámetros morfológicos en fase de semillero

6.1.1.1. Altura de planta y longitud de raíz

La inoculación de T2 (*Azotobacter* spp.) fue significativa en la altura de las plantas de pepino y con respecto a los demás tratamientos, los valores estuvieron en el orden de 8,12 cm (Figura 3A). Mientras que, en la longitud de la raíz, el efecto hormonal de T6 (Newgibb) permitió alcanzar los valores más altos en 9,54 cm (Figura 3B).

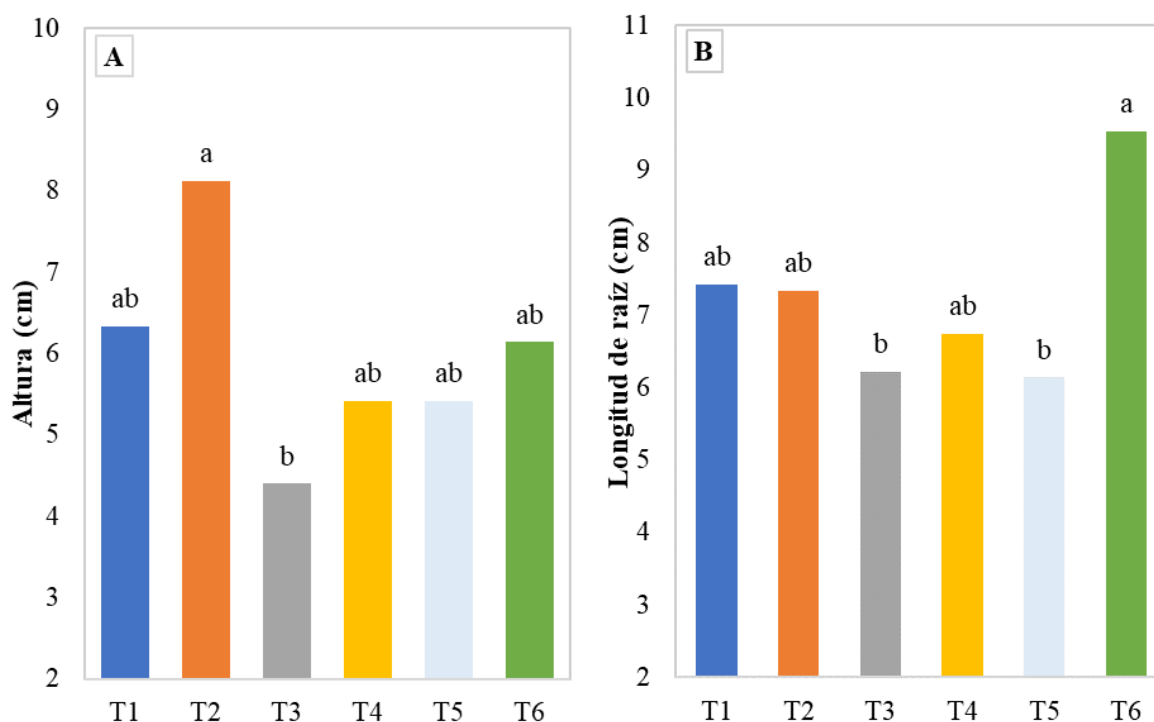


Figura 3. Promedios de altura (a) y longitud de raíz (b) de plantas de pepino en semillero para los tratamientos T1 (*Azospirillum* spp.), T2 (*Azotobacter* spp.), T3 (*Pseudomonas* spp.), T4 (*Chlorella* spp.), T5 (Agua), T6 (Newgibb). Las letras superiores representan las diferencias significativas entre cada tratamiento con un $p < 0,05$.

6.1.2. Caracterización de parámetros morfológicos en la fase dos de trasplante

6.1.2.1. Área foliar

El área foliar no presentó diferencias significativas entre los tratamientos (Figura 4A). Sin embargo, el uso de *Pseudomonas* spp. posibilitó una mayor área foliar, alcanzando un valor

de 262,08 cm², valores que se corresponden con los obtenidos con el tratamiento testigo T6 (NewGibb). Siendo en contraparte, el tratamiento testigo con T5 (Agua) el que registró la menor área foliar con 190,49 cm² al final del experimento (Anexo1, Tabla 7).

6.1.2.2. Altura

El tratamiento testigo con NewGibb mostró influir sobre la altura de las plantas, alcanzando valores de 102,30 cm al final de la evaluación (Figura 4B), mientras que el tratamiento T3 (*Pseudomonas* spp.) alcanzó valores de 98,14 cm de altura. No obstante, en todos los casos no se evidenció diferencias significativas entre tratamientos (Anexo1, Tabla 8).

6.1.2.3. Diámetro de tallo

Inicialmente no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos (Figura 4C). Sin embargo, a partir de los 50 DDT el tratamiento T3 con *Pseudomonas* spp. afectó positivamente sobre el diámetro del tallo en 0,72 cm, estos valores son superiores a los tratamientos con *Azotobacter* spp. (0,71 cm) y el control T6 con Newgibb (0,70 cm) (Anexo1, Tabla 9).

6.1.2.4. Número de hojas

Para el número de hojas no se evidenciaron diferencias significativas en ninguna fase de evaluación (Figura 4D). Sin embargo, el T3 con *Pseudomonas* spp. y el T6 contribuyeron en un mayor número de hojas por planta (Anexo1, Tabla 10).

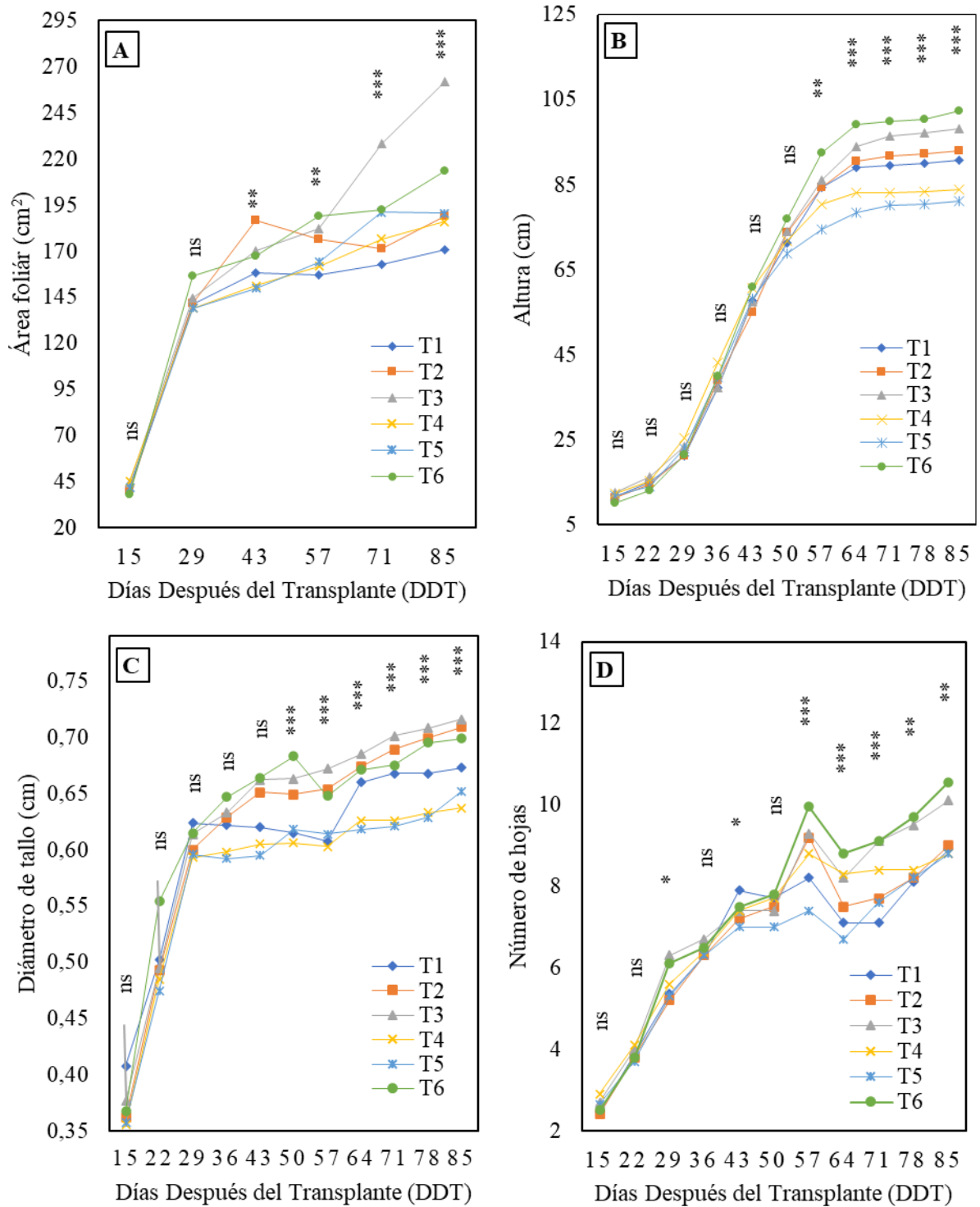


Figura 4. Curvas de crecimiento para variables morfológicas área foliar (A), altura (B), diámetro de tallo (C) y número de hojas (D) para los distintos tratamientos aplicados a plantas de pepino en fase de trasplante: T1 (*Azospirillum* spp.), T2 (*Azotobacter* spp.), T3 (*Pseudomonas* spp.), T4 (*Chlorella* spp.), T5 (Agua), T6 (Newgibb). NS, *, **, ***, no significativo, significativo a una $P < 0.05$, 0.01 , ó 0.001 , respectivamente.

6.3. Resultados para el objetivo número 2

Evaluar variables productivas de *Cucumis sativus* L. inoculadas con microorganismos promotores del crecimiento vegetal en pepino.

6.3.1. Evaluación de variables productivas

6.3.1.1. Longitud del fruto (cm):

La mayor longitud de los frutos de pepino se evidenció donde se aplicó el tratamiento T3 (*Pseudomonas* sp.), el incremento con respecto al testigo fue de un 16%. (Figura 5A).

6.3.1.2. Diámetro del fruto (cm)

El efecto de la bacteria PGPR *Pseudomonas* afectó positivamente el diámetro del fruto con respecto a los demás tratamientos, los valores obtenidos fueron significativos, de manera especial el incremento fue visible cuando se comparó con el Tratamiento testigo (Fig. 5B).

6.3.1.3. Edad inicio de cosecha (días después del trasplante)

El inicio de cosecha varió entre 71 y 85 días después del trasplante (DDT) (Tabla 11). El tratamiento T1 y T3 consiguieron cosechas más tardías.

Tabla 7. Inicio de cosecha del cultivo de pepino Quinta Experimental La Argelia, Loja, Ecuador.

V3 Tratamientos	Inicio de la cosecha (Días)
T1 (<i>Azospirillum</i> spp.)	85
T2 (<i>Azotobacter</i> spp.)	71
T3 (<i>Pseudomonas</i> spp.)	85
T4 (<i>Chlorella</i> spp.)	71
T5 (Agua)	71
T6 (Newgibb)	71

6.3.1.4. Número de frutos por planta

La aplicación de la cepa nativa *Azotobacter* spp. (T2) mostró influir positivamente en el número de frutos (Figura 5C).

6.3.1.5. Peso del fruto (g)

La Figura 5D muestra el efecto positivo donde se inoculó las cepas *Pseudomonas* y *Azotobacter*, en ambos casos el peso del fruto fue mayor en comparación con los demás tratamientos.

6.3.1.6. Rendimiento por planta (g/planta) y por área (kg/m²)

El tratamiento con *Pseudomonas* spp. resultó con valores más altos en el rendimiento por planta al igual que por área. En contraste al tratamiento T4 con *Chlorella* spp. que correspondió con los valores más bajos (Figura 5E y 5F).

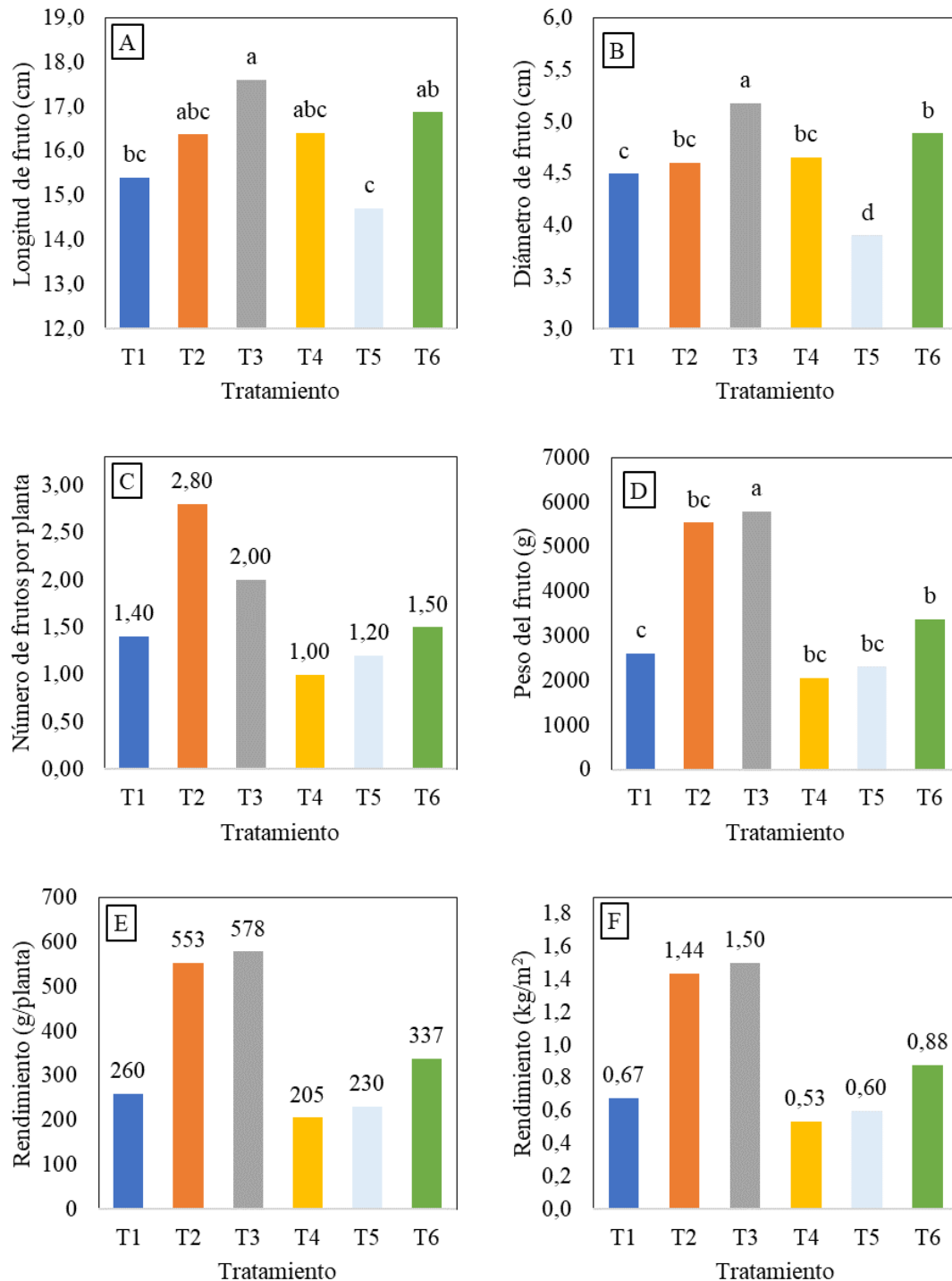


Figura 5. Evaluación de variables productivas para los distintos tratamientos aplicados a plantas de pepino en fase de trasplante: T1 (*Azospirillum* spp.), T2 (*Azotobacter* spp.), T3 (*Pseudomonas* spp.), T4 (*Chlorella* spp.), T5 (Agua), T6 (Newgibb). Las letras superiores representan las diferencias significativas entre cada tratamiento con un $p < 0,05$.

7. Discusión

7.1. Caracterización de parámetros morfológicos en fase de semillero y trasplante

7.1.1. Fase de semillero

Dentro de la fase de semillero los resultados obtenidos de altura y longitud de raíz pueden atribuirse a la capacidad de las cepas de *Azospirillum* spp. (T1) y *Azotobacter* spp. (T2) para mejorar el desarrollo radicular en la germinación, y desarrollo de raíces que la bacteria promueve gracias a la capacidad para producir fitohormonas, suplementando nitrógeno en forma de amonio a la rizosfera de las plantas (Eklund & Sinda, 1971; Tian et al., 2013; Wani et al., 2013). En este sentido, la capacidad de sobrevivencia y colonización habría sido determinante para el desarrollo y crecimiento de la población bacteriana (Loredo-Osti et al., 2004; Mangmang et al., 2015) o las microalgas (*Chlorella* spp.) (Bumandalai y Tserennadmid, 2019) en la rizosfera en la fase temprana del cultivo. A pesar de utilizar una concentración alta de 1×10^8 UFC para todas las cepas bacterianas, solo *Azotobacter* sp. parece haber alcanzado las condiciones necesarias para colonizar efectivamente las raíces de manera similar al estudio de Sokolova et al. (2011) quienes encontraron que la inoculación de *Azotobacter chroococcum* en una concentración de solución de 2 ml/l a una concentración de 10^6 UFC, incrementa la masa y longitud de raíces y crecimiento de semillas de pepino como resultado de la producción de más de un tipo de citoquininas CKs y ácido indolacético IAA pocos días después de su inoculación en comparación con diferentes concentraciones. Por otra parte, el tratamiento T3 de *Pseudomonas* sp, no mostró efecto sobre las variables de altura de planta y longitud de raíces, presumiblemente a la tardía asociación de las bacterias sobre la rizosfera. (Gamez et al., 2019) encontró diferencias en el tiempo de colonización de la raíz de banano por *Bacillus amyloliquefaciens* y *Pseudomonas fluorescens*, quienes sugieren que la cepa *Pseudomonas* está mejor adaptado al ambiente endofítico; por lo tanto, las células bacterianas deben ingresar primero a los tejidos de la planta para proliferar y luego proporcionar al hospedante sus efectos beneficiosos. Además, se han reportado resultados similares de adhesión microbiana sobre raíces de *Brassica napus* y *Arabidopsis thaliana* (Palmqvist et al., 2015). Sumado a lo anterior, las condiciones de baja temperatura (T min 10 °C y T max 40 °C) registrados en el lugar de estudio por (Loja, 2023), ha demostrado influir en el crecimiento de la raíz de plántulas de pepino como lo demuestra (Bai et al., 2016). Cuya investigación se encontró que en condiciones de temperatura subóptima (T_r) (25 °C durante el día y 15 °C durante la noche), se reduce

significativamente el crecimiento de las raíces debida a la alteración de la homeostasis endógena de ácido giberélico (GA) y consecuente absorción de nitratos.

7.1.2. Fase de trasplante

Dentro de la fase de trasplante, solo *Pseudomonas* sp. (T3) mejoró significativamente las variables de área foliar y altura, diámetro de tallo y número de hojas, siendo igual o mayores con relación al tratamiento control con New Gibb (ácido giberélico) (T6). En tal motivo, los mejores resultados obtenidos de altura y longitud de raíz pueden ser atribuidos a la capacidad de *Pseudomonas* sp. de producir ácido indolacético el cual promueve la aparición de raíces primarias y secundarias, mejora de la biomasa y eficiencia en el uso de nutrientes (Upadhyay et al., 2022; Zapata-Sifuentes et al., 2022). Además de controlar patógenos mediante la producción de sideróforos y solubilización de fosfatos inorgánicos que secuestran eficazmente el hierro y privan al patógeno de este elemento, como en el control de *Pseudoperonospora cubensis*, en pepino y *Alternaria solani* en tomate (Bhattacharyya & Jha, 2012; Sah et al., 2021).

Por otro lado, diversos autores destacan las propiedades promotoras de especies del género *Azospirillum* sp. y *Azotobacter* sp. Sin embargo, en el presente estudio no mostraron influir significativamente sobre las variables evaluadas a pesar de evidenciar una influencia positiva en la etapa de semillero, debido presumiblemente a la competencia entre otros microorganismos presentes tanto en el medio, como en el agua utilizada en la irrigación, lo cual, en condiciones naturales, ha mostrado influir negativamente en la sobrevivencia de cepas de *Pseudomonas* spp., *Agrobacterium tumefaciens*, *Rhizobium meliloti* y *Arthrobacter Lula* (Hatzinger & Alexander, 1994). Newman, (1978), sugiere que las bacterias crecen en la rizosfera durante un periodo muy corto lo cual influye en la capacidad de obtener exudados de la rizosfera y desarrollar la población bacteriana, condición que es severamente afectado por la competencia con otros microorganismos. Sumado a lo anterior, las enfermedades que se presentaron en el cultivo como el tizón tardío (*Phytophthora infestans*) y lancha de la hoja (*Alternaria solani*), reportadas anteriormente (Aguilera, 2022; Chillogallo, 2010; Ramón, 2024). Habrían afectado las condiciones de crecimiento de las raíces y hojas.

7.2. Evaluación de variables productivas

La aplicación de diferentes cepas de Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) y microalgas como *Chlorella* sp. en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) demostraron tener efectos significativos en las variables productivas evaluadas. Estos hallazgos concuerdan con estudios que resaltan el potencial de los PGPR y microalgas para mejorar el

crecimiento, desarrollo y rendimiento de diversos cultivos agrícolas (Bhardwaj et al., 2014; Choudhary, 2012; Pii et al., 2015).

En cuanto a la longitud y diámetro de los frutos, se observaron que los tratamientos como *Pseudomonas* sp. (T3) y *Azotobacter* sp. (T2) presentaron los valores más altos, superando incluso al tratamiento con el bioestimulante sintético Newgibb (T6). Esto sugiere que estas rizobacterias pueden promover un mayor desarrollo y tamaño de los frutos, probablemente debido a su capacidad para facilitar la absorción de nutrientes, producir fitohormonas y mejorar la resistencia al estrés (Glick, 2012; Saharan y Nehra, 2011). Así mismo, los tratamientos con *Azotobacter* sp. (T2) y *Pseudomonas* sp. (T3) también mostraron los mayores valores en cuanto al número de frutos por planta, peso del fruto, rendimiento por planta y rendimiento por área. Estos resultados corroboran los efectos positivos de estas cepas en el rendimiento global del cultivo de pepino, lo cual concuerda con diversos estudios previos que han reportado incrementos significativos en el rendimiento de diferentes cultivos al ser inoculados con PGPR (Babalola, 2010; Chaitanya y Meenu, 2015; Zahir et al., 2003).

Por otro lado, el tratamiento con la microalga *Chlorella* sp. (T4), también mostró un desempeño favorable en variables como longitud y diámetro de los frutos, aunque su rendimiento fue inferior en comparación con los tratamientos con *Azotobacter* sp. y *Pseudomonas* sp. esto podría indicar que las microalgas, si bien pueden tener efectos benéficos en el crecimiento y el desarrollo de las plantas, su impacto en el rendimiento podría ser más limitado en comparación con las bacterias (Chhandama et al., 2023; Renuka et al., 2018).

8. Conclusiones

Los Microorganismos Promotores del Crecimiento Vegetal han mostrado influir positivamente en el crecimiento de las plantas de pepino, obteniendo valores significativos en variables morfológicas en las fases tempranas de germinación y desarrollo de raíces. En particular la inoculación de cepas de *Azotobacter* spp. y *Pseudomonas* spp. como resultado de su interacción sobre la rizosfera de las plantas de pepino, en la cual es capaz de acelerar la multiplicación celular.

Consecuentemente, una concentración adecuada de inóculo es fundamental para asegurar una colonización efectiva de la rizosfera para una expresión óptima de los mecanismos de promoción del crecimiento. Por lo tanto, la concentración empleada particularmente favoreció las cepas de *Azotobacter* sp. y *Pseudomonas* sp. reflejándose en los resultados observados.

El tratamiento con *Pseudomonas* sp. mostró un desempeño particularmente sobresaliente, lo cual sugiere que esta cepa de PGPR podría estar mejor adaptada para tolerar las condiciones ambientales específicas de la ubicación del estudio, caracterizada por su altitud y coordenadas geográficas.

9. Recomendaciones

Dentro del uso de microorganismos *Pseudomonas* spp. mostró una influencia positiva sobre diferentes variables de crecimiento y rendimiento en pepino, por lo tanto, se debería realizar un consorcio de estas cepas con las otras cepas y las microalgas con el objetivo de obtener resultados de colonización, debido a que hay antecedentes sobre la simbiosis entre dos o más Rizobacterias.

Se debería aumentar la concentración aplicada en el estudio sobre el efecto a nivel celular de *Chlorella* spp., principalmente en la fase semillero sobre diferentes cultivos, debido a mostrar nula influencia sobre el variables evaluadas en el presente estudio, para ello se podría utilizar cepas bacterianas que hayan mostrado una simbiosis favorable de manera que aumente la probabilidad de colonización y supervivencia en la rizosfera,

Es recomendable la identificación de cepas al final del ensayo para evaluar tanto la supervivencia de las cepas objetivo como la invasión de nuevas especies, de manera que se pueda saber la capacidad de sobrevivencia de las cepas a condiciones naturales de cultivo.

10. Bibliografía

- Abou-El-Hassan, S., Abdrabbo, M. A. A., & Desoky, A. H. (2014). Enhancing organic production of cucumber by using plant growth promoting rhizobacteria and compost tea under sandy soil condition. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 10(2), 162–169.
- Aguilera, O. (2022). *Efecto de la aplicación de calcio-boro y citoquininas durante la floración sobre el rendimiento y calidad de tomate “Solanum lycopersicum” bajo invernadero en La Argelia, Loja* [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional de Loja.
- Alipour Kafi, S., Arabhosseini, S., Karimi, E., Koobaz, P., Mohammadi, A., & Sadeghi, A. (2021). Pseudomonas putida P3-57 induces cucumber (Cucumis sativus L.) defense responses and improves fruit quality characteristics under commercial greenhouse conditions. *Scientia Horticulturae*, 280, 109942. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109942>
- Álvarez Morales, Y. M. (2018). *El cultivo de pepino (Cucumis sativus, L.), y su comportamiento agronómico por la aplicación de bioestimulantes orgánicos en la zona de Vinces-Ecuador* [Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/29147>
- Babalola, O. O. (2010). Beneficial bacteria of agricultural importance. *Biotechnology Letters*, 32(11), 1559–1570. <https://doi.org/10.1007/s10529-010-0347-0>
- Bai, L., Deng, H., Zhang, X., Yu, X., & Li, Y. (2016). Gibberellin Is Involved in Inhibition of Cucumber Growth and Nitrogen Uptake at Suboptimal Root-Zone Temperatures. *PLOS ONE*, 11(5), e0156188. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156188>
- Bhardwaj, D., Ansari, M. W., Sahoo, R. K., & Tuteja, N. (2014). Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. *Microbial Cell Factories*, 13(1), 66. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-13-66>
- Bhattacharyya, P. N., & Jha, D. K. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28(4), 1327–1350. <https://doi.org/10.1007/s11274-011-0979-9>
- Casilimas, H., Monsalve, O., Bojacá, C. R., Gil, R., Villagrán, E., Arias, L. A., & Fuentes, L. S. (2012). *Manual de producción de pepino bajo invernadero* (C. R. Bojacá & O. Monsalve, Eds.). Editorial Utadeo. <https://doi.org/10.2307/j.ctv2175q34>
- Chaitanya, K., & Meenu, S. (2015). *Plant growth promoting Rhizobacteria (PGPR): a review*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5171.2164>

- Chhandama, M. V. L., Ruatpuia, J. V. L., Ao, S., Chetia, A. C., Satyan, K. B., & Rokhum, S. L. (2023). Microalgae as a sustainable feedstock for biodiesel and other production industries: Prospects and challenges. *Energy Nexus*, 12, 100255. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100255>
- Chillogallo, F. (2010). *Efecto de diferentes granulometrías de carbón vegetal en la aireación de un suelo franco, en el cultivo de tomate de mesa (solanum lycopersicum l.) bajo invernadero en la estación experimental “la argelia”, fase II* [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional de Loja.
- Choudhary, D. K. (2012). Microbial rescue to plant under habitat-imposed abiotic and biotic stresses. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 96(5), 1137–1155. <https://doi.org/10.1007/s00253-012-4429-x>
- Cotrina, F. (1979). *Cultivo de pepinillo*. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1979_07.pdf
- Díaz, S., Mazo, D., & Rojas, D. (2021). Capítulo 2. Bacterias promotoras del crecimiento vegetal: filogenia, microbioma, y perspectivas. In *Bacterias promotoras de crecimiento vegetal; en Sistemas de Agricultura Sostenible*. https://www.researchgate.net/publication/357267234_Bacterias_promotoras_del_crecimiento_vegetal_filogenia_microbioma_y_perspectivas
- Díaz-Zorita, M., & Fernández-Canigia, M. V. (2009). Field performance of a liquid formulation of Azospirillum brasilense on dryland wheat productivity. *European Journal of Soil Biology*, 45(1), 3–11. <https://doi.org/10.1016/J.EJSOBI.2008.07.001>
- Eklund, E., & Sinda, E. (1971). Establishment and disappearance of introduced pseudomonads in the rhizoplane of peat grown cucumber plants. *Plant and Soil*, 35(1–3), 495–504. <https://doi.org/10.1007/BF01372682>
- Gamez, R., Cardinale, M., Montes, M., Ramirez, S., Schnell, S., & Rodriguez, F. (2019). Screening, plant growth promotion and root colonization pattern of two rhizobacteria (*Pseudomonas fluorescens* Ps006 and *Bacillus amyloliquefaciens* Bs006) on banana cv. Williams (*Musa acuminata* Colla). *Microbiological Research*, 220, 12–20. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.11.006>
- Glick, B. R. (2012). Plant Growth-Promoting Bacteria: Mechanisms and Applications. *Scientifica*, 2012, 1–15. <https://doi.org/10.6064/2012/963401>
- Gómez-Luna, L., Tormos-Cedeño, L., & Ortega-Díaz, Y. (2022). *Cultivo y aplicaciones de Chlorella vulgaris: principales tendencias y potencialidades en la agricultura*. Tecnología Química; scielocu.

- Google Earth. (2023). *Datos Geográficos del banco de Germoplasma de la Universidad de Loja* (v2023).
- Haifa Group. (2020). *Nutritional recommendations for Cucumber, in open fields, tunnels and greenhouse*. <https://www.haifa-group.com/files/Guides/Cucumber.pdf>
- Hatzinger, P. B., & Alexander, M. (1994). Relationship between the number of bacteria added to soil or seeds and their abundance and distribution in the rhizosphere of alfalfa. *Plant and Soil*, 158(2), 211–222. <https://doi.org/10.1007/BF00009496>
- Integrated Taxonomic Information System. (2023). *Cucumis sativus L.* <https://doi.org/https://doi.org/10.5066/F7KH0KBK>
- Loja, K. C. (2023). *Determinación del periodo crítico para el exceso hídrico y su influencia sobre el crecimiento y rendimiento en quinua (Chenopodium quinoa Willd) bajo condiciones controladas*. Universidad Nacional de Loja.
- López, B. (2020). *Pepino, Cucumis sativus, planta y cultivo. Beneficios -*. 2020. <https://naturaleza.animalesbiologia.com/plantas/verduras/pepino-cucumis-sativus>
- Loredo-Osti, C., López-Reyes, L., & Espinosa-Victoria, D. (2004). Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramíneas: Una revisión. *Terra Latinoamericana*, 22(2), 225–239. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57322211>
- Mangmang, J. S., Deaker, R., & Rogers, G. (2015). Early seedling growth response of lettuce, tomato and cucumber to Azospirillum brasilense inoculated by soaking and drenching. *Horticultural Science*, 42(1), 37–46. <https://doi.org/10.17221/159/2014-HORTSCI>
- Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca [MAGAP]. (2016). *La política agropecuaria ecuatoriana: hacia el desarrollo territorial rural sostenible: 2015-2025*.
- Monge Pérez, J. E., & Chacón Padilla, K. (2021). Manejo integrado de plagas en pepino (Cucumis sativus) cultivado bajo invernadero: una experiencia. *San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica*. <https://kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/83398>
- Newman, E. I. (1978). ROOT MICROORGANISMS: THEIR SIGNIFICANCE IN THE ECOSYSTEM. *Biological Reviews*, 53(4), 511–554. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1978.tb00863.x>
- Organización de Naciones Unidas. (2021). *Environmental and Health Impacts of Pesticides and Fertilizers and Ways of Minimizing Them*. <https://www.unep.org/resources/report/environmental-and-health-impacts-pesticides-and-fertilizers-and-ways-minimizing>
- Palmqvist, N. G. M., Bejai, S., Meijer, J., Seisenbaeva, G. A., & Kessler, V. G. (2015). Nanotitania aided clustering and adhesion of beneficial bacteria to plant roots to enhance

- crop growth and stress management. *Scientific Reports*, 5(1), 10146. <https://doi.org/10.1038/srep10146>
- Pattnaik, S., Mohapatra, B., Kumar, U., Pattnaik, M., & Samantaray, D. (2019). *Microbe-Mediated Plant Growth Promotion: A Mechanistic Overview on Cultivable Plant Growth-Promoting Members* (pp. 435–463). https://doi.org/10.1007/978-3-030-18933-4_20
- Pii, Y., Marastoni, L., Springeth, C., Fontanella, M. C., Beone, G. M., Cesco, S., & Mimmo, T. (2016). Modulation of Fe acquisition process by *Azospirillum brasilense* in cucumber plants. *Environmental and Experimental Botany*, 130, 216–225. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2016.06.011>
- Pii, Y., Mimmo, T., Tomasi, N., Terzano, R., Cesco, S., & Crecchio, C. (2015). Microbial interactions in the rhizosphere: beneficial influences of plant growth-promoting rhizobacteria on nutrient acquisition process. A review. *Biology and Fertility of Soils*, 51(4), 403–415. <https://doi.org/10.1007/s00374-015-0996-1>
- Posada, A. M., Mejía, D. P., Polanco-Echeverry, D., & Cardona-Arias, J. A. (2021). Rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR): una revisión sistemática 1990-2019. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 12(2), 161–178. <https://doi.org/10.22490/21456453.4040>
- Ramón, S. (2024). *Aplicación de rizobacterias en el desarrollo vegetativo del cultivo de tomate de riñón (Solanum lycopersicum L.) y sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo bajo condiciones de invernadero en la Quinta Experimental La Argelia*. [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional de Loja.
- Ramos, C., & Pomares, F. (2010). 23 Abonado de los cultivos hortícolas. In *GUÍA PRACTICA DE LA FERTILIZACIÓN RACIONAL DE LOS CULTIVOS EN ESPAÑA* (pp. 181–192). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3311024>
- Renuka, N., Guldhe, A., Prasanna, R., Singh, P., & Bux, F. (2018). Microalgae as multi-functional options in modern agriculture: current trends, prospects and challenges. *Biotechnology Advances*, 36(4), 1255–1273. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.04.004>
- Sah, S., Krishnani, S., & Singh, R. (2021). Pseudomonas mediated nutritional and growth promotional activities for sustainable food security. *Current Research in Microbial Sciences*, 2, 100084. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2021.100084>
- Saharan, B., & Nehra, V. (2011). Plant growth promoting rhizobacteria: a critical review. *Life Sci Med Res*, 21, 1–30.

- Sangoquiza Caiza, C. A., Yanez Guzmán, C. F., & Borges García, M. (2019). Respuesta de la absorción de nitrógeno y fósforo de una variedad de maíz al inocular *Azospirillum* sp. y *Pseudomonas fluorescens*. *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, 11(1). <https://doi.org/10.18272/aci.v11i1.943>
- Singh, B., & Nehra, V. (2011). Plant growth promoting rhizobacteria: a critical review. *Life Sci Med Res*, 21, 1–30.
- Sokolova, M. G., Akimova, G. P., & Vaishlya, O. B. (2011). Effect of phytohormones synthesized by rhizosphere bacteria on plants. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 47(3), 274–278. <https://doi.org/10.1134/S0003683811030148>
- Tian, Y., Zhang, X., Wang, J., & Gao, L. (2013). Soil microbial communities associated with the rhizosphere of cucumber under different summer cover crops and residue management: A 4-year field experiment. *Scientia Horticulturae*, 150, 100–109. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.025>
- Upadhyay, S. K., Srivastava, A. K., Rajput, V. D., Chauhan, P. K., Bhojiya, A. A., Jain, D., Chaubey, G., Dwivedi, P., Sharma, B., & Minkina, T. (2022). Root Exudates: Mechanistic Insight of Plant Growth Promoting Rhizobacteria for Sustainable Crop Production. *Frontiers in Microbiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.916488>
- Wani, S., Chand, S., & Ali, T. (2013). Potential Use of *Azotobacter chroococcum* in Crop Production: An Overview. *Current Agriculture Research Journal*, 1(1), 35–38. <https://doi.org/10.12944/CARJ.1.1.04>
- Zahir, Z. A., Arshad, M., & Frankenberger, W. T. (2003). *Plant Growth Promoting Rhizobacteria: Applications and Perspectives In Agriculture* (pp. 97–168). [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(03\)81003-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(03)81003-9)
- Zapata-Sifuentes, G., Hernandez-Montiel, L. G., Saenz-Mata, J., Fortis-Hernandez, M., Blanco-Contreras, E., Chiquito-Contreras, R. G., & Preciado-Rangel, P. (2022). Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Improve Growth and Fruit Quality of Cucumber under Greenhouse Conditions. *Plants*, 11(12), 1612. <https://doi.org/10.3390/plants11121612>

11. Anexos

Anexo 1. Efecto de inoculantes microbianos en parámetros de crecimiento de pepino

Tabla 8. Área foliar en el cultivo de pepino durante el crecimiento vegetativo

TRATAMIENTOS	ÁREA FOLIAR (cm)					
	15 DDT	29 DDT	43 DDT	57 DDT	71 DDT	85 DDT
	NS	NS	**	**	***	***
T1 (<i>Azospirillum</i> spp.)	41,82 ^a	141,04 ^a	156,61 ^{ab}	156,61 ^b	162,59 ^b	170,63 ^c
T2 (<i>Azotobacter</i> spp.)	40,38 ^a	141,75 ^a	186,54 ^a	176,22 ^{ab}	171,07 ^b	189,10 ^{bc}
T3 (<i>Pseudomonas</i> spp.)	44,25 ^a	144,4 ^a	169,88 ^{ab}	182,07 ^{ab}	228,49 ^a	262,08 ^a
T4 (<i>Chlorella</i> spp.)	45,34 ^a	138,9 ^a	151,33 ^b	161,65 ^b	176,68 ^b	186,07 ^{bc}
T5 (Agua)	41,57 ^a	139,04 ^a	149,82 ^b	164,09 ^{ab}	191,2 ^{ab}	190,49 ^{bc}
T6 (Newgibb)	37,73 ^a	156,62 ^a	167,53 ^{ab}	189,13 ^a	192,1 ^{ab}	213,50 ^b

NS = no significativo *p < 0.05 significativo **p < 0.01 muy significativo ***p < 0.001 altamente significativo

Tabla 9. Altura de la planta en el cultivo de pepino en respuesta a la aplicación de biofertilizantes

TRATAMIENTOS	ALTURA (cm)										
	15 DDT	22 DDT	29 DDT	36 DDT	43 DDT	50 DDT	57 DDT	64 DDT	71 DDT	78 DDT	85 DDT
	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	***	***	***	***
T1 (<i>Azospirillum</i> spp.)	11,64 ^a	15,16 ^a	21,30 ^a	37,33 ^a	57,7 ^a	71,20 ^a	84,24 ^{ab}	89,14 ^{abc}	89,50 ^{abc}	90,13 ^{abc}	90,85 ^{ab}
T2 (<i>Azotobacter</i> spp.)	11,46 ^a	14,53 ^a	21,35 ^a	39,11 ^a	55,05 ^a	73,74 ^a	84,28 ^{ab}	90,52 ^{abc}	91,66 ^{abc}	92,27 ^{abc}	92,90 ^{ab}
T3 (<i>Pseudomonas</i> spp.)	12,65 ^a	16,22 ^a	23,43 ^a	37,27 ^a	57,59 ^a	74,05 ^a	86,03 ^{ab}	94,07 ^{ab}	96,37 ^{ab}	97,22 ^{ab}	98,14 ^a
T4 (<i>Chlorella</i> spp.)	12,29 ^a	15,37 ^a	25,55 ^a	43,29 ^a	60,66 ^a	71,76 ^a	80,30 ^b	83,05 ^{bc}	83,20 ^{bc}	83,31 ^{bc}	83,98 ^b
T5 (Agua)	11,8 ^a	14,06 ^a	22,90 ^a	39,64 ^a	58,22 ^a	68,84 ^a	74,61 ^b	78,49 ^c	80,14 ^c	80,49 ^c	81,23 ^b
T6 (Newgibb)	10,18 ^a	13,01 ^a	21,54 ^a	39,89 ^a	60,90 ^a	77,02 ^a	92,37 ^a	99,19 ^a	99,76 ^a	100,34 ^a	102,30 ^a

NS = no significativo *p < 0.05 significativo **p < 0.01 muy significativo ***p < 0.001 altamente significativo

Tabla 10. Efecto de inoculantes microbianos en el diámetro del tallo de pepino.

TRATAMIENTOS	DIÁMETRO DE TALLO (cm)										
	15 DDT	22 DDT	29 DDT	36 DDT	43 DDT	50 DDT	57 DDT	64 DDT	71 DDT	78 DDT	85 DDT
	NS	NS	NS	NS	NS	***	***	***	***	***	***
T1 (<i>Azospirillum</i> spp.)	0,41 ^a	0,50 ^a	0,62 ^a	0,62 ^a	0,62 ^a	0,62 ^{bc}	0,61 ^{cd}	0,66 ^{ab}	0,67 ^{ab}	0,67 ^{ab}	0,67 ^{abc}
T2 (<i>Azotobacter</i> spp.)	0,36 ^a	0,49 ^a	0,60 ^a	0,63 ^a	0,65 ^a	0,65 ^{abc}	0,65 ^{ab}	0,67 ^a	0,69 ^a	0,70 ^a	0,71 ^{ab}
T3 (<i>Pseudomonas</i> spp.)	0,38 ^a	0,50 ^a	0,61 ^a	0,63 ^a	0,66 ^a	0,66 ^{ab}	0,67 ^a	0,69 ^a	0,70 ^a	0,71 ^a	0,72 ^a
T4 (<i>Chlorella</i> spp.)	0,36 ^a	0,49 ^a	0,59 ^a	0,60 ^a	0,61 ^a	0,61 ^c	0,60 ^d	0,63 ^{bc}	0,63 ^b	0,63 ^b	0,64 ^c
T5 (Agua)	0,36 ^a	0,48 ^a	0,60 ^a	0,59 ^a	0,60 ^a	0,62 ^{bc}	0,61 ^{bcd}	0,62 ^c	0,62 ^b	0,63 ^b	0,65 ^{bc}
T6 (Newgibb)	0,37 ^a	0,55 ^a	0,62 ^a	0,65 ^a	0,66 ^a	0,68 ^a	0,65 ^{abc}	0,67 ^a	0,68 ^a	0,69 ^a	0,70 ^a

NS = no significativo *p < 0.05 significativo **p < 0.01 muy significativo ***p < 0.001 altamente significativo

Tabla 11. Número de hojas en plantas de pepino con diferentes biofertilizantes.

TRATAMIENTOS	NÚMERO DE HOJAS (cm)										
	15 DDT	22 DDT	29 DDT	36 DDT	43 DDT	50 DDT	57 DDT	64 DDT	71 DDT	78 DDT	85 DDT
	NS	NS	*	NS	*	NS	***	***	***	**	**
T1 (<i>Azospirillum</i> spp.)	2,5 ^a	3,9 ^a	5,4 ^{ab}	6,3 ^a	7,9 ^a	7,7 ^a	8,2 ^{bc}	7,1 ^{bc}	7,1 ^b	8,1 ^b	8,9 ^{ab}
T2 (<i>Azotobacter</i> spp.)	2,4 ^a	3,8 ^a	5,20 ^b	6,3 ^a	7,2 ^{ab}	7,5 ^a	9,2 ^{ab}	7,5 ^{bc}	7,7 ^{ab}	8,2 ^b	9,0 ^{ab}
T3 (<i>Pseudomonas</i> spp.)	2,7 ^a	4,0 ^a	6,30 ^a	6,7 ^a	7,4 ^{ab}	7,4 ^a	9,3 ^{ab}	8,2 ^{ab}	9,1 ^a	9,5 ^{ab}	10,1 ^{ab}
T4 (<i>Chlorella</i> spp.)	2,9 ^a	4,1 ^a	5,60 ^{ab}	6,4 ^a	7,4 ^{ab}	7,7 ^a	8,8 ^{ab}	8,3 ^{ab}	8,4 ^{ab}	8,4 ^{ab}	8,8 ^b
T5 (Agua)	2,7 ^a	3,7 ^a	5,30 ^{ab}	6,3 ^a	7,0 ^b	7,0 ^a	7,4 ^c	6,7 ^c	7,6 ^b	8,2 ^b	8,8 ^b
T6 (Newgibb)	2,5 ^a	3,8 ^a	6,10 ^{ab}	6,5 ^a	7,5 ^{ab}	7,8 ^a	10,0 ^a	8,8 ^a	9,1 ^a	9,7 ^a	10,6 ^a

NS = no significativo *p < 0.05 significativo **p < 0.01 muy significativo ***p < 0.001 altamente significativo



Anexo 2. Preparación del sustrato (10/03/2023)



Anexo 3. Llenado de bolsas con el sustrato (13/03/2023).



Anexo 4.Etiquetado de tratamientos (14/03/2023).



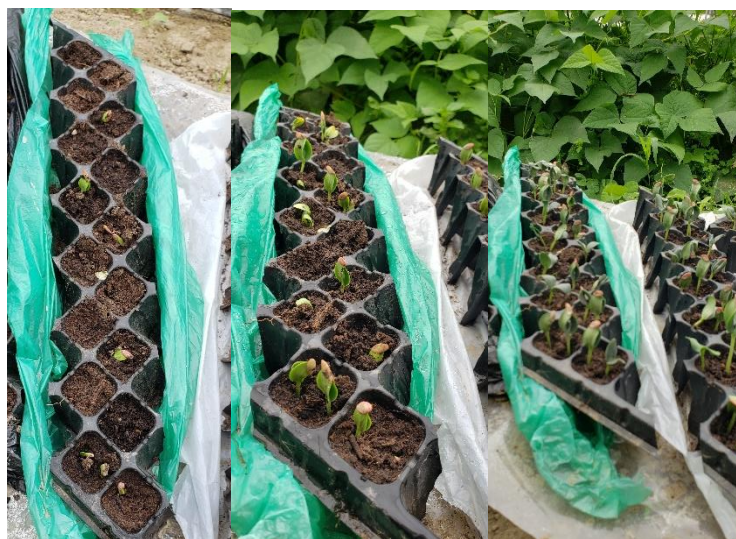
Anexo 5. Preparación del semillero (15/03/2023).



Anexo 6.Siembra e inoculación de semillas (20/03/2023)



Anexo 7. Inoculación de las semillas (23/03/2023)



Anexo 8. Monitoreo del crecimiento



Anexo 9. Cosecha y medición de frutos de pepino



Anexo 10. Monitoreo y control fitosanitario de plagas

Lic. Andrea Sthefanía Carrión Mgs

0984079037

andrea.s.carrion@unl.edu.ec

Loja-Ecuador

Loja, 2 de abril del 2024

La suscrita, Andrea Sthefanía Carrión Fernández, Mgs, **DOCENTE EDUCACIÓN SUPERIOR**
(registro de la SENESCYT número: 1008-12-1124463), **ÁREA DE INGLÉS-UNIVERSIDAD**
NACIONAL DE LOJA, a petición de la parte interesada y en forma legal.

CERTIFICA:

Que la traducción del resumen del documento adjunto, solicitado por el señor: **Cristian Eduardo Gualán Lozano** con cédula de ciudadanía **No. 1104296569**, cuyo tema de investigación se titula: **“Eficacia de la inoculación de microorganismos promotores del crecimiento vegetal en pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo invernadero”** ha sido realizado y aprobado por mi persona, Andrea Sthefanía Carrión Fernández, Mgs. en Pedagogía.

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 el uso legal pertinente.

ANDREA STHEFANIA
CARRION
FERNANDEZ

Firmado digitalmente
por ANDREA STHEFANIA
CARRION FERNANDEZ
Fecha: 2024.04.02
16:06:57 -06'00'

Andrea Sthefanía Carrión Fernández. Mgs.

English Professor

Anexo 11. Certificación de traducción del resumen