



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES

CARRERA DE AGRONOMÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE UN BIOFERTILIZANTE
CON DIFERENTES DOSIS Y FRECUENCIAS EN DOS
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN CON ACOLCHADO Y SIN
ACOLCHADO PLÁSTICO EN EL CULTIVO DE LECHUGA
DE HOJA DE LA VARIEDAD CARMIN (*Lactuca sativa* L.) EN
EL CAMPUS SALACHE 2024”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de
Ingeniera Agrónoma

AutorD:

Jiménez Bautista Vanessa Estefanía

TutorD: Marín Quevedo Karina

Paola

CotutorD:

López Guerrero Victoria Alicia

LATACUNGA – ECUADOR

Febrero 2025

i

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Jiménez Bautista Vanessa Estefania, con cédula de ciudadanía No. 0503107815, declaro ser autora el presente Proyecto de Investigación: **“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE UN BIOFERTILIZANTE CON DIFERENTES DOSIS Y FRECUENCIAS EN DOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN CON ACOLCHADO Y SIN ACOLCHADO PLÁSTICO EN EL CULTIVO DE LECHUGA DE HOJA DE LA VARIEDAD CARMIN (*Lactuca sativa* L.) EN EL CAMPUS SALACHE 2024”**, siendo la Ingeniera Mg. Karina Paola Marín Quevedo, Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 20 de febrero del 2025



Vanessa Estefania Jiménez Bautista
C.C: 0503107815
ESTUDIANTE

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **JIMÉNEZ BAUTISTA VANESSA ESTEFANÍA**, identificada con cédula de ciudadanía **0503107815** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora. Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Agronomía, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE UN BIOFERTILIZANTE CON DIFERENTES DOSIS Y FRECUENCIAS EN DOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN CON ACOLCHADO Y SIN ACOLCHADO PLÁSTICO EN EL CULTIVO DE LECHUGA DE HOJA DE LA VARIEDAD CARMIN (*Lactuca sativa* L.) EN EL CAMPUS SALACHE 2024**”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: abril 2021 - agosto 2021

Finalización de la carrera: octubre 2024 – marzo 2025

Aprobación en Consejo Directivo: 12 de diciembre del 2024

Tutora: Ing. Karina Paola Marín Quevedo, Mg.

Tema: “**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE BIOFERTILIZANTE CON DIFERENTES DOSIS EN ACOLCHADO PLÁSTICO Y SIN ACOLCHADO PLÁSTICO EN EL CULTIVO DE LECHUGA DE HOJA VARIEDAD CARMÍN (*Lactuca sativa* L.) EN EL CAMPUS SALACHE 2024**”

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.

- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial
- CLÁUSULA QUINTA.** - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 20 días del mes de febrero del 2025.

Vanessa Estefania Jiménez Bautista

LA CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.

LA CESIONARIA

AVAL DE LA TUTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutora del Proyecto de Investigación con el título:

“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE UN BIOFERTILIZANTE CON DIFERENTES DOSIS Y FRECUENCIAS EN DOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN CON ACOLCHADO Y SIN ACOLCHADO PLÁSTICO EN EL CULTIVO DE LECHUGA DE HOJA DE LA VARIEDAD CARMIN (*Lactuca sativa* L.) EN EL CAMPUS SALACHE 2024”, de Jiménez Bautista Vanessa Estefanía, de la carrera de Agronomía, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 20 de febrero del 2025



Ing. Karina Paola Marín Quevedo, Mg.

C.C: 0502672934

DOCENTE TUTORA

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, la postulante: Jiménez Bautista Vanessa Estefania, con el título del Proyecto de Investigación: **“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE UN BIOFERTILIZANTE CON DIFERENTES DOSIS Y FRECUENCIAS EN DOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN CON ACOLCHADO Y SIN ACOLCHADO PLÁSTICO EN EL CULTIVO DE LECHUGA DE HOJA DE LA VARIEDAD CARMIN (*Lactuca sativa* L.) EN EL CAMPUS SALACHE 2024”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 20 de febrero del 2025



Ing. Cristian Jiménez Jácome, Mg.
CC: 0501946263
LECTOR 1 (PRESIDENTE)



Ing. Emerson Jácome Mogro, Ph.D.
CC: 0501974703
LECTOR 2 (MIEMBRO)



Ing. Wilman Paolo Chasi Vizuete, Mg.
CC: 0502409725
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Al concluir una fase invaluable de mi vida, quiero manifestar mi más profundo agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi, un ambiente donde el saber germina y prospera, convirtiendo anhelos en éxitos. Ha sido el entorno en el que he desarrollado, adquirido conocimientos y trazado la ruta hacia mis metas.

Mi especial agradecimiento a la Ingeniera Karina Marín, por su inestimable respaldo y guía durante este trayecto. Su compromiso y profesionalidad han sido un manantial constante de inspiración, orientándome con paciencia y conocimiento.

Al Ingeniero Santiago Jiménez, por su orientación y dedicación a la educación. Su entusiasmo por difundir el saber ha dejado una marca indeleble en mí, incentivándome a superarme diariamente y a desarrollarme tanto a nivel personal como profesional.

A la Ingeniera Victoria López y a todos los miembros del INIAP y KOPIA, por ofrecerme la posibilidad de llevar a cabo este estudio bajo su asesoramiento. Su respaldo y seguridad fueron esenciales en este proceso, mostrándome la relevancia del trabajo colaborativo y la tenacidad.

No puedo dejar de agradecer a mis grandes amigos Mateo, Daniela, Nataly y Stiven, quienes, gracias a su respaldo incondicional, entendimiento y estímulo, hicieron que esta travesía fuera más agradable y llena de significado.

Agradezco profundamente a Daniel Bonilla, por su apoyo incondicional y amor durante todo el proceso a la vez por su paciencia y comprensión fueron fundamentales para mí, y su motivación me ayudó a superar los obstáculos y alcanzar mi objetivo.

Con agradecimiento y valoración, concluyo este capítulo con el corazón repleto de conocimientos, memorias y la aspiración de nuevos retos.

Vanessa Estefania Jiménez Bautista

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada paso de este camino. A mi madre Marlene, por su amor incondicional, su sacrificio y su entrega, porque, aun cuando no tenía mucho, siempre me dio todo y me enseñó a luchar sin rendirme. A mi hija Victoria, mi mayor motor, la razón por la que cada esfuerzo ha valido la pena, porque su existencia me impulsa a seguir adelante con determinación y esperanza. A mi tía Lelo, quien fue como una segunda madre, por su amor infinito, su apoyo inquebrantable y sus palabras de aliento que siempre estuvieron cuando más las necesité. A mis sobrinos Alveiro y André, por su alegría y cariño. A mi hermana Yajaira y a mi cuñado Dimas, por su apoyo constante. A mis tíos Liliana, Wuacharo, Fanny, Edmundo y Consuelo, por su apoyo incondicional. A mi abuelita Melba, por su amor y enseñanzas. A mi prima Anais, por su compañía y apoyo. A mi abuelo Polivio, por su ejemplo de lucha. A mi padre Víctor, quien, aunque ausente en ocasiones, forma parte de mi historia. A mi angelito Vanessa, cuya luz sigue iluminando mi camino.

A quienes, sin saberlo, dejaron huella en este trabajo.

Vanessa Estefania Jiménez Bautsita

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: “EVALUACIÓN DEL EFECTO DE UN BIOFERTILIZANTE CON DIFERENTES DOSIS Y FRECUENCIAS EN DOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN CON ACOLCHADO Y SIN ACOLCHADO PLÁSTICO EN EL CULTIVO DE LECHUGA DE HOJA DE LA VARIEDAD CARMIN (*Lactuca sativa* L.) EN EL CAMPUS SALACHE 2024”.

Autor:

Jiménez Bautista Vanessa Estefania

RESUMEN

La presente investigación se realizó en el Campus Salache de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Universidad Técnica de Cotopaxi, ubicada en la parroquia Eloy Alfaro del cantón Latacunga. Se propuso evaluar el efecto de diferentes dosis y frecuencias de un biofertilizante en dos sistemas de producción con y sin acolchado plástico sobre el rendimiento y la calidad de lechuga de hoja (*Lactuca sativa* L.) variedad Carmín. La investigación se realizó en dos fases: pilonera y campo. En la fase de pilonera se evaluó dosis y frecuencias, se utilizó un diseño de parcelas divididas en franjas con tres repeticiones con un total de 8 tratamientos, se utilizó Prueba de Tukey al 5% para las fuentes de variación con significación estadística. Las variables a evaluar fueron el porcentaje de germinación, altura de planta cotiledón, altura de planta, número de hojas, longitud de raíz, volumen de raíz y clorosis. En la fase de campo se evaluó dosis, frecuencias y cobertura, se utilizó un diseño de bloques completos al azar con un arreglo factorial de 2*4*2 con 16 tratamientos y tres repeticiones, la Prueba de Tukey al 5% se utilizó para las fuentes de variación con significación estadística. Las variables a evaluar fueron: altura de planta, número de hojas, porcentaje de malezas, clorosis, longitud y volumen de raíz, peso y grado de madurez. Los resultados obtenidos en la fase de pilonera fueron de 96,5% en el porcentaje de germinación a una dosis de 4 ccl⁻¹, en número de hojas, altura de planta y longitud de raíz la dosis 6 ccl⁻¹ obtuvo los mejores resultados con una aplicación cada 7 días. En la fase de campo la dosis 6 cc l⁻¹ junto a la aplicación cada 7 días obtuvieron los mejores resultados en número de hojas, mientras que en el porcentaje de presencia de malezas la misma dosis, la aplicación cada 15 días y el cultivo con cobertura resultaron satisfactorios. Finalmente, se indica que las dosis de 6 ccl⁻¹ la frecuencia de aplicación cada 7 días del biofertilizante enriquecido con microorganismos y el uso de cobertura plástica resulta beneficioso para el desarrollo y la calidad del cultivo de lechuga.

Palabras clave: *Lactuca sativa*, biofertilizante, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, rizobacterias

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

THEME: “EVALUATION OF THE EFFECT OF A BIOFERTILIZER WITH DIFFERENT DOSES AND FREQUENCIES IN TWO PRODUCTION SYSTEMS WITH AND WITHOUT PLASTIC MULCHING IN THE CROP OF LEAF LETTUCE OF THE CARMIN VARIETY (*Lactuca sativa* L.) AT THE SALACHE 2024 CAMPUS”.

Autor:
Jiménez Bautista Vanessa Estefania

ABSTRACT

This research was carried out at the Salache Campus of the Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources of the Technical University of Cotopaxi, located in the parish of Eloy Alfaro in the canton of Latacunga. It was proposed to evaluate the effect of different doses and frequencies of a biofertilizer in two production systems with and without plastic mulch on the yield and quality of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) Carmin variety. The research was carried out in two phases: pile and field. In the field phase, doses and frequencies were evaluated, using a strip-plot design with three replications and a total of 8 treatments, using Tukey's test at 5% for the sources of variation with statistical significance. The variables to be evaluated were germination percentage, cotyledon plant height, plant height, number of leaves, root length, root volume and chlorosis. In the field phase, doses, frequencies and coverage were evaluated using a randomized complete block design with a factorial arrangement of 2*4*2 with 16 treatments and three replications, Tukey's 5% test was used for sources of variation with statistical significance. The variables to be evaluated were: plant height, number of leaves, percentage of weeds, chlorosis, root length and volume, weight and degree of maturity. The results obtained in the pylon phase were 96.5% in the germination percentage at a dose of 4 ccl-1, in number of leaves, plant height and root length, the dose of 6 ccl-1 obtained the best results with an application every 7 days. In the field phase, the dose 6 ccl-1 together with the application every 7 days obtained the best results in number of leaves, while in the percentage of weed presence the same dose, the application every 15 days and the cover crop were satisfactory. Finally, it is indicated that the doses of 6 ccl-1 , the frequency of application every 7 days of the biofertilizer enriched with microorganisms and the use of plastic cover resulted beneficial for the development and quality of the lettuce crop.

KEYWORDS: *Lactuca sativa*, biofertilizer, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, rhizobacteria.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR	iii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	v
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	vi
AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x

ÍNDICE DE CONTENIDOS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xv
índice de gráficos	xvi
índice de imágenes	xvii
ÍNDICE DE ANEXOS	xvii
1. INFORMACIÓN GENERAL.	1
2. justificación	3
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	3
3.1. Beneficiarios directos	3
3.2. Beneficiarios indirectos.	4
4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4
5. OBJETIVOS	5
5.1. Objetivo General	5
5.2. Objetivos Específicos	5
6. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	6
[i	
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA	6
7.1. Cultivo de la Lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.)	6
7.2. Requerimientos de cultivo	7
7.3. Fenología de la lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)	8
7.3.1. Fase de germinación	8
7.3.2. Fase vegetativa	8
7.3.3. Fase reproducción o emisión de tallo floral	8
7.4. Manejo Fitotécnico del cultivo	8
7.4.1. Semillero	8

7.4.2. Trasplante	9
7.4.3. Riego	9
7.4.4. Fertilización del cultivo de lechuga	9
7.4.5. Cosecha	10
7.4.6. Plagas y enfermedades	10
7.5. Variedades	11
7.6. Lechuga de hoja variedad Carmín	12
7.7. Coberturas plásticas o acolchados plásticos	12
7.8. Ventajas del uso de coberturas plásticas	13
7.9. Desventajas del uso del acolchado plástico	13
7.10. Manejo de malezas con acolchado plástico	13
7.11. Biofertilizantes	14
7.12. Tipos de biofertilizantes	15
7.13. Biofertilizante enriquecido con microorganismos	16
7.14. Bacillus subtilis	17
7.15. Pseudomonas fluorescens	18

8.	VALIDACIÓN DE LAS HIPÓTESIS	19
9.	METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL	21
9.1.1.	Experimental	21
9.1.2.	Descriptiva	21
9.3.1.	Fuentes de información	22
9.3.2.	Observación Directa	22
9.3.3.	Análisis estadístico	22
9.5.	Materiales y equipos	23
9.6.1.	Factores en estudio	24
9.6.2.	Tratamientos	24
9.6.3.	Diseño Experimental	25
9.6.4.	Análisis estadístico	25
9.6.5.	Análisis funcional	25
9.6.6.	Unidad experimental	25
9.7.	Fase Campo	26
9.1.1.	Factores en estudio	26
9.1.2.	Tratamientos	27
9.1.3.	Diseño Experimental	28
9.1.4.	Análisis funcional	28
9.1.5.	Unidad experimental	28
10.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN FASE PILONERA	34
	10.2. Variable Altura de Planta Cotiledón	36
	10.3. Variable Altura de Planta	36
10.4.1.	ADEVA para la variable Número de hojas	42

10.4.2.	Prueba de Tukey al 5% para Frecuencias en la variable Número de Hojas	43
10.5.1.	ADEVA para la variable Longitud de raíz	45
10.5.2.	Prueba de Tukey al 5% para Frecuencias en la variable Longitud de raíz	45
10.6.1.	Prueba de Tukey al 5% para Dosis en la variable Volumen de raíz	47
10.7.	Variable Clorosis	48
11.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN FASE CAMPO	49
11.3.	Variable Porcentaje de Malezas	54
11.4.	Variable Incidencia de plagas y enfermedades	57
11.5.	Variable Clorosis	57
11.6.	Variable Longitud de raíz	57
11.7.	Variable Volumen de raíz	59
11.8.	Variable Peso de la lechuga de hoja	59
11.9.	Variable Grado de madurez	60
12.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
12.1.	Conclusiones	61
12.2.	Recomendaciones	61
13.	BIBLIOGRAFÍA	62
14.	ANEXOS	67
ÍNDICE DE TABLAS		
Tabla 1.	Actividades por objetivo.	6
Tabla 2.	Clasificación taxonómica de la lechuga	7
Tabla 3.	Principales Plagas y enfermedades de la lechuga	10
Tabla 4.	Tipos de lechuga y variedades	11
Tabla 5.	Clasificación de los biofertilizantes	16
Tabla 6.	Composición de Biofertilizante Maíz	17
Tabla 7.	Operacionalización de las variables	20

Tabla 8. Frecuencia de aplicación de biofertilizante Biofertilizante	24
Tabla 9. Dosis de aplicación de biofertilizante Biofertilizante	24
Tabla 10. Descripción de los Tratamientos	24
Tabla 11. Esquema del Análisis de Varianza para pilonera	25
Tabla 12. Características de la unidad experimental en campo	25
Tabla 13. Frecuencia de aplicación de biofertilizante Biofertilizante	26
Tabla 14. Dosis de aplicación de biofertilizante Biofertilizante	26
Tabla 15. Cobertura de suelo para cultivo de lechuga	27
Tabla 16. Descripción de los Tratamientos	27
Tabla 17. Esquema del Análisis de Varianza para campo	28
Tabla 18. Características de la unidad experimental en campo	28
Tabla 19. Grado de clorosis visual en lechuga variedad Carmín	32
Tabla 20. ADEVA para la variable Porcentaje de Germinación	34
Tabla 21. Prueba de Tukey al 5% para Frecuencias en Porcentaje de germinación	34
Tabla 22. ADEVA para la variable Altura de planta cotiledón	36
Tabla 23. ADEVA para la variable Altura de planta	38
Tabla 24. Prueba de Tukey al 5% para Frecuencias en la variable Altura de planta	39
Tabla 25. Prueba de Tukey al 5% para Dosis en la variable Altura de planta	40
Tabla 26. Prueba de Tukey al 5% para Frecuencias x Dosis en la variable Altura de planta	41
Tabla 27. Análisis de varianza para la variable Número de hojas	42
Tabla 28. Prueba de Tukey al 5% para Frecuencias en la variable Número de hojas	43
Tabla 29. Prueba de Tukey al 5% para Dosis en la variable Número de hojas	44
Tabla 30. Análisis de varianza para la variable Longitud de raíz	45
Tabla 31. Prueba de Tukey al 5% para Frecuencias en la variable Longitud de raíz	45

Tabla 32. Análisis de varianza para la variable Volumen de raíz	46
Tabla 33. Prueba de Tukey al 5% para Dosis en la variable Volumen de raíz	47
Tabla 34. ADEVA para la variable Altura de planta	49
Tabla 35. ADEVA para la variable Número de hojas	50
Tabla 36. Prueba de Tukey al 5% para Tratamientos en la variable Número de hojas a los 45 DDT	51
Tabla 37. ADEVA para la variable Porcentaje de malezas a los 15 y 45 DDT	54
Tabla 38. Prueba de Tukey al 5% para Tratamientos en la variable Porcentaje de malezas a los 15 y 45 DDT	55
Tabla 39. Prueba de Tukey al 5% para Cobertura en la variable Porcentaje de malezas a los 15 y 45 DDT	56
Tabla 40. ADEVA para la variable Longitud de raíz a los 52 DDT	58
Tabla 41. Prueba de Tukey al 5% para Cobertura en la variable Longitud de raíz a los 52 DDT	58
Tabla 42. ADEVA para la variable Volumen de raíz a los 52 DDT	59
Tabla 43. ADEVA para la variable Peso de la lechuga de hoja a los 52 DDT	59

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Promedios para Frecuencias en la variable Porcentaje de germinación	35
Gráfico 2. Promedios para Frecuencias de aplicación en Altura de planta	39
Gráfico 3. Promedios para Dosis de aplicación en Altura de planta	40
Gráfico 4. Promedios para Frecuencia x Dosis de aplicación en Altura de planta	41
Gráfico 5. Promedios para Frecuencias en la variable Número de hojas a los 35 DDS	43
Gráfico 6. Promedios para Frecuencias en la variable Número de hojas a los 42 DDS	44
Gráfico 7. Promedios para Frecuencia en la variable Longitud de raíz	46
Gráfico 8. Promedios para Dosis en la variable Volumen de raíz	47
Gráfico 9. Promedios para Tratamientos en la variable Número de hojas a los 45 DDT	51
Gráfico 10. Promedios para Tratamientos en la variable Porcentaje de malezas a los 15 y 45 DDT	56
Gráfico 11. Promedios para Cobertura en la variable Porcentaje de malezas	

a los 15 y 45 DDT	57
Gráfico 12. Promedios para Cobertura en la variable Longitud de raíz a los 52 DDT	58
ÍNDICE DE IMÁGENES	
Imagen 1. Ubicación del área de investigación	23

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Datos de las variables en pilonera	67
Anexo 2. Datos de las variables en campo	71
Anexo 3. Fotografías	77
Anexo 4. Aval del Traductor	84

1. INFORMACIÓN GENERAL.

Título

“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE UN BIOFERTILIZANTE CON DIFERENTES DOSIS Y FRECUENCIAS EN DOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN CON ACOLCHADO Y SIN ACOLCHADO PLÁSTICO EN EL CULTIVO DE LECHUGA DE HOJA DE LA VARIEDAD CARMIN (*Lactuca sativa* L.) EN EL CAMPUS SALACHE 2024”.

Fecha de inicio: agosto 2024 **Fecha**

de finalización: marzo 2025.

Lugar de ejecución.

Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Campus Salache

Institución que auspicia.

Universidad Técnica de Cotopaxi.

Facultad académica que auspicia.

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP-KOPIA

Carrera que auspicia.

Carrera de Ingeniería Agronómica.

Equipo de trabajo

Responsable del proyecto: Jiménez Bautista Vanessa Estefania **Tutora:**

Ing. Karina Paola Marín Quevedo Mg.

Cotutor: Ing. Victoria López – INIAP - Cotopaxi

Lector 1: Ing. Cristian Santiago Jiménez Jácome Mg.

Lector 2: Ing. Emerson Javier Jácome Mogro PhD.

Lector 3: Ing. Wilman Paolo Chasi Vizúete Mg.

Coordinador del proyecto

Nombre: Jiménez Bautista Vanessa Estefania

CC. 0503107815

Correo electrónico: vanessa.jimenez7815@utc.edu.ec

Área de conocimiento

Agricultura, Silvicultura y Pesca – Producción agropecuaria

Línea de investigación

Procesos tecnológicos, bioquímica, biomateriales, desarrollo y seguridad alimentaria

Sublínea de investigación

Tecnologías para la agricultura

Línea de vinculación de la carrera:

Gestión de los recursos naturales, biodiversidad tecnológica y gestión para el desarrollo humano y social.

2. JUSTIFICACIÓN

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es una de las hortalizas más cultivadas y consumidas en el mundo debido a su uso en la preparación de ensaladas, sopas y currys de verduras; además, posee excelentes propiedades medicinales y potencial farmacológico donde se incluye efectos antimicrobianos, antioxidantes, neuroprotectores e hipnóticos (Noumedem et al., 2017), su ciclo de desarrollo es corto, siendo un cultivo atractivo tanto para grandes agricultores como para pequeños productores. No obstante, la búsqueda de prácticas agrícolas más sostenibles ha impulsado la necesidad de investigar métodos que mejoren su productividad sin comprometer el medio ambiente. Actualmente la producción de alimentos se sigue manejando mediante la agricultura convencional y esto ha generado varios problemas ambientales como la contaminación de agua y suelo, salinización y degradación de suelo, justamente por la aplicación de fertilizantes químicos.

El uso de fertilizantes biológicos ofrece una alternativa ecológica frente a los fertilizantes químicos convencionales, promoviendo la fertilidad del suelo y reduciendo la dependencia de insumos sintéticos. Según Hernández et al, (2022), una combinación adecuada de fuentes orgánicas de nutrientes ayuda a incrementar el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Beltrán y Bernal (2022) mencionan que para el desarrollo de una agricultura sostenible es preciso la reducción del uso de agroquímicos y reemplazarlos por el uso de abonos orgánicos y biofertilizantes para incrementar la dinámica poblacional del microbiota del suelo y mejorar el proceso de producción de alimentos más sanos e inocuos y conservando el medio ambiente. La evaluación de diferentes dosis de biofertilizante con y sin acolchado plástico en la lechuga de hoja variedad Carmín es necesaria para entender cómo estas técnicas pueden ser implementadas de manera óptima en las condiciones locales del Campus Salache. La investigación permitirá establecer las dosis adecuadas de biofertilizante para maximizar el rendimiento de la lechuga, al mismo tiempo que se analiza el impacto del acolchado plástico como una práctica complementaria.

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

3.1. Beneficiarios directos

Los beneficiarios directos del proyecto fueron tres investigadores por parte de la Universidad Técnica de Cotopaxi y cinco investigadores por parte del INIAP.

3.2. Beneficiarios indirectos.

Los beneficiarios indirectos de este proyecto son todos los estudiante y docentes académicos y los productores de hortalizas de la provincia de Cotopaxi y de todo el Ecuador, donde la información será una herramienta importante para una producción más limpia.

4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo a datos de la FAO (2024) en su base de datos FAOSTAT se indica que para el año 2020 la producción mundial de lechuga fue de 27660187 toneladas en una superficie total de 1226370 hectáreas; además, China fue el país productor principal con 14318667 toneladas (51,8%), seguido de los Estados Unidos con 4402375 toneladas (15,9%) y luego India con 1121379 toneladas (4,1%) donde estos tres países representan el 71.7% a nivel mundial. En nuestro país el cultivo de lechuga de acuerdo a los datos de SIPA (2024) fue de 11445 hectáreas, con un rendimiento promedio de 7942 Kg/ha, donde la mayor producción se centra en las provincias de Cotopaxi con 481 ha, Tungurahua con 325 ha y Carchi con 96 ha., las variedades más comunes son criolla y algunos híbridos.

Es importante implementar el cambio de agricultura convencional a tecnologías más sustentables como la agricultura orgánica para contrarrestar la contaminación ambiental, el uso de biofertilizantes en los cultivos es una alternativa dentro de la inocuidad y soberanía alimentaria, apoyando el equilibrio ecológico (Vlahova, 2020). Además, de los problemas relacionados con el uso de fertilizantes, los sistemas agrícolas tradicionales enfrentan desafíos climáticos y de manejo del suelo, como la evaporación excesiva del agua y la proliferación de malezas.

El cultivo de lechuga (*Lactuca sativa L.*) tiene gran importancia a nivel nacional e internacional, siendo la lechuga uno de los alimentos básicos y una parte importante de su dieta ordinaria. Es una de las hortalizas más cultivadas y consumidas en el mundo; también presenta propiedades medicinales farmacológicas con propiedades antimicrobianas y antioxidantes. Tiene un ciclo de desarrollo corto, donde se busca aplicar prácticas agrícolas más que ayuden a incrementar su productividad sin afectar el medio ambiente.(Noumedem et al., 2017; Zea et al., 2020). Según KUNAK (2024), el avance de la humanidad depende en gran medida del avance de la ciencia y de la producción agrícola, esto promueve al uso excesivo de fertilizantes químicos para incrementar la producción de alimentos, a sabiendas que la planta aprovecha solamente entre el 30 y 50 % del fertilizante, mientras que el restante pasa a ser un ente contaminante del suelo, agua y aire.

El suelo tiene un papel muy importante para el sustento y supervivencia de la vida, por lo tanto, es de vital importancia la conservación y preservación de la salud del suelo, la agricultura moderna depende en gran medida del uso de los fertilizantes químicos debido a que aumenta la productividad de los cultivos, sino que altera las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo, el uso excesivo es responsable de la disminución de la materia orgánica, la calidad del suelo, endurece el suelo, reduce la fertilidad, altera el pH y disminuye la actividad microbiana (Hamid et al., 2021).

De acuerdo a Cisneros y Nonones (2024) algunos países presentan degradaciones severas del suelo por uso de fertilizantes donde se incluye a Perú (1%), Chile (5%), Brasil (4%), México (18%), China (10%) y Egipto (2%), recalando la deficiencia de nutrientes en el suelo y la dependencia del uso de fertilizantes químicos, altamente volátiles o se lixivian causando eutrofización y contaminación ambiental.

En nuestro país de acuerdo a los datos del INEC (2024) donde la Información Agroambiental y Tecnificación Agropecuaria nos indica que para el año 2023 se utilizó un total de 5210,38 kg de fertilizante químico en cultivos transitorios, mientras que en cultivos permanentes se utilizaron 6042,37 Kg.

Los problemas fitosanitarios producidos por hongos que atacan a la raíz (*Rhizoctonia* sp) y hojas que están en contacto con el suelo (*Bremia lactucae* y *Sclerotinia sclerotiorum*), la competencia de nutrientes provocada por la presencia de malezas genera un inconveniente para los productores de lechuga del cantón, especialmente a aquellos ubicados en el sector de San Buenaventura donde el cultivo de lechuga aún no se ha tecnificado e industrializado como es el caso del brócoli (*Brassica oleracea*), utilizando la agricultura convencional, el abuso de agrotóxicos para el control de agentes patógenos y malezas, siendo una alternativa importante el uso de bioproductos para cambiar el paradigma agrícola del cultivo de lechuga.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo General

- Evaluar el efecto de diferentes dosis de un biofertilizante en pilonera y campo, aplicadas con y sin acolchado plástico sobre el rendimiento de la lechuga de hoja variedad Carmín (*Lactuca sativa* L.) en el campus Salache durante el año 2024.

5.2. Objetivos Específicos

- Determinar la mejor dosis y frecuencia del biofertilizante en la fase de pilonera

- Determinar la mejor dosis y frecuencia del biofertilizante en la fase de campo y sistema de siembra.

6. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 1. Actividades por objetivo.

Objetivos	Actividades	Metodología	Resultados
Determinar la mejor dosis y frecuencia del biofertilizante en la fase de pilonera	Preparación de bandejas de germinación con sustrato Siembra de semillas en bandejas de germinación Diseño de disposición de tratamientos Aplicación de biofertilizante en las dosis recomendadas Toma de datos	Una vez realizada las actividades mencionadas, se procedió a tomar datos en pilonera con respecto a: Germinación (%) Altura de planta	Identificación de la dosis y frecuencia ideal de biofertilizante para evaluar las características agromorfológicas de la lechuga de hoja en pilonera.
Determinar la mejor dosis y frecuencia del biofertilizante en la fase de campo y sistema de siembra.	Preparación de suelo Colocación de acolchado plástico Preparación de biofertilizante Diseño de disposición de tratamientos Trasplante Riego (con y sin acolchado) Toma de datos	Una vez realizada las actividades mencionadas, se procedió a tomar datos en campo con respecto a: Altura de planta Grado Madurez Porcentaje de malezas	Identificación de la dosis y frecuencia ideal de biofertilizante para evaluar las características agromorfológicas de la lechuga de hoja en campo.

Elaborado por: Jiménez, V. (2025)

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA

7.1. Cultivo de la Lechuga (*Lactuca sativa* L.)

7.1.1. Antecedentes

La lechuga perteneciente a la familia Asteraceae, presenta una gran diversidad por los diferentes tipos de hojas y crecimiento de sus plantas, distinguiendo diversas variedades y cultivadas en varias regiones del mundo (Saavedra et al., 2017).

Jaramillo et al. (2014), menciona que el origen de este vegetal es muy antiguo que data del año 4500 AC en Egipto, originaria de Asia Menor en la costa sur del Mediterráneo, indica que

algunos autores creen que su origen fue en la India, mientras que Vavilov citado por el autor, indica que es nativa de Turquestán, Transcaucasia e Irán.

7.1.2. Características botánicas y taxonomía

La lechuga es una planta anual autógama, con una raíz pivotante con una profundidad de más de 0,6 m, las hojas son sésiles distribuidas en forma de espiral y alrededor de un tallo corto, de color verde claro a verde oscuro según la variedad, aunque también presenta otras tonalidades. El tallo puede llegar hasta 1 m de altura cuando llega a su madurez, donde se presenta una inflorescencia de tipo panícula corimbosa. Las flores agrupadas en capítulos, presentan 5 estambres, pétalos ligulados de color amarillo o blanco, el gineceo es unicarpelar e ínfero. El fruto es un aquenio y las semillas son planas y picudas de forma aovada de color blanco, amarillo, marrón o negro, de 2 a 5 mm (Saavedra et al., 2017) (Jaramillo et al., 2014).

Tabla 2. Clasificación taxonómica de la lechuga

Reino	Vegetal
División	Espermatofita
Clase	Angiospermas
Subclase	Dicotiledónea
Familia	<i>Asteraceae</i>
Genero	<i>Lactuca</i>
Especie	<i>Lactuca sativa</i> L.

Nota: Tomado de Jaramillo et al. (2014)

7.2. Requerimientos de cultivo

Los suelos para el cultivo de lechuga pueden ser francos, franco-arenosos y franco-arcillosos, con un buen contenido de materia orgánica, buena retención de humedad y drenaje, es tolerante a la salinidad y acidez, el pH óptimo de cultivo se encuentra en el rango de 6,5 a 7,5 (Catagña, 2024).

Jaramillo et al. (2014) indica que la altura para el cultivo oscila entre 1800 a 2400 msnm y una temperatura entre 15 y 18 °C, la humedad relativa conveniente para su cultivo está entre el 60 y el 80 %; además, el fotoperíodo para que el cultivo se desarrolle normalmente es alto debido a que es una planta anual muy exigente de luminosidad para el desarrollo del follaje en volumen, peso y calidad.

7.3. Fenología de la lechuga (*Lactuca sativa*)

7.3.1. Fase de germinación

López y Frezza (2022) menciona que las condiciones para la germinación deben tener una serie de condiciones ambientales favorables como la humedad del sustrato, disponibilidad del oxígeno que facilite la respiración y una temperatura adecuada. En esta etapa se distinguen tres procesos importantes:

- **Etapa de imbibición de la semilla:** la absorción de agua hacia el interior de la semilla es el primer proceso, aumentando la tasa respiratoria
- **Etapa de germinación:** aparecen las transformaciones metabólicas para el desarrollo ideal de la planta, la absorción de agua se reduce llegando a detenerse.
- **Etapa de crecimiento:** se asocia a la emergencia de la radícula, nuevamente la absorción de agua vuelve a incrementarse al igual que la actividad respiratoria.

7.3.2. Fase vegetativa

Esta fase sucede posterior a la emergencia y termina en la floración, se desarrolla toda la estructura vegetativa, se distingue la fase de formación de una roseta de hojas y la formación de un cogollo o cabeza, esto de acuerdo a la genética de la variedad, esto varía de acuerdo a los factores ambientales como la luz, temperatura y la fertilización (Lardizabal, 2014).

7.3.3. Fase reproducción o emisión de tallo floral

En esta fase se inicia el elongamiento de los entrenudos que originan que el tallo se desarrolle y aparezca el desarrollo de las estructuras florales, posteriormente viene la fecundación del ovario y la fructificación, esta fase permite generar producción de semillas (López & Frezza, 2022).

7.4. Manejo Fitotécnico del cultivo

7.4.1. Semillero

Para la implementación del semillero es importante según Saavedra et al. (2017), tener presente la calidad de la semilla considerando la pureza varietal, es decir el uso de semilla certificada, Jaramillo et al. (2014) indica que la siembra puede ser directa o por trasplante, la multiplicación de la lechuga debe realizarse mediante cepellón obtenida de semilleros, donde la temperatura óptima de germinación es de 15 a 20 °C.

Saavedra et al., (2017) refiere que la temperatura es muy importante para la germinación de las semillas de lechuga, teniendo un rango óptimo de 18 a 21 °C, una vez las semillas salgan de la termidormancia germinarán alrededor de los 7 días. Lo primero que verás serán los cotiledones (hojas falsas).

7.4.2. Trasplante

Para el trasplante se debe tener listo el suelo, el cual debe estar suelto utilizando maquinaria agrícola o herramientas adecuadas, las camas se construyen entre 10 a 15 cm de altura y un metro de ancho, una vez preparado el suelo se procede a la incorporación de los fertilizantes químicos y orgánicos de acuerdo a la recomendación derivada del análisis de suelo (Jaramillo et al., 2014).

Las plántulas deben estar listas luego de 25 – 30 días de su germinación, es decir cuando presenten entre tres a cuatro hojas verdaderas, el trasplante se debe realizar en las primeras horas de la mañana con el suelo húmedo a una distancia de 35 – 40 cm entre planta y 40 cm entre surco (Saavedra et al., 2017).

7.4.3. Riego

Es importante saber cuándo y cuánto regar, el exceso de riego puede ser causante de pérdidas debido al damping off, mientras que la escasez de agua retrasa el crecimiento de la planta por la falta de oxígeno, proporcionar la cantidad adecuada de agua y la frecuencia justa permitirá un desarrollo adecuado de las plantas de lechuga (Bernau y Matsushita-Tseng, 2019). El riego en la lechuga debe ser ligero y frecuente, el suelo superficial debe estar seco para evitar la podredumbre del cuello, el horario recomendable de riego es en la mañana o en las últimas horas de la tarde, el cultivo demanda unos 400 a 500 mm de agua durante el ciclo vegetativo (Mollehuanca, 2019).

7.4.4. Fertilización del cultivo de lechuga

La disponibilidad de nutrientes para el cultivo depende totalmente del análisis de suelo, donde se indica la cantidad de fertilizantes a utilizar, se debe ajustar el plan de nutrición en base a estas condicionantes mencionadas. La lechuga es exigente en potasio, las cantidades promedio de extracción de nutrientes para un rendimiento de 45 toneladas/ha según Jaramillo et al. (2014) son: 100 Kg de N; 50 Kg de P₂O₅; 250 Kg de K₂O; 51 Kg de Cao; y, 22 Kg de MgO, aplicados en dos períodos, la primera a los tres días antes del trasplante y la segunda a los 20 días después.

7.4.5. Cosecha

La madurez de la lechuga depende de la compactación de la cabeza, se considera que se requiere una fuerza manual moderada para ser comprimida, su recolección debe realizarse en las primeras horas de la mañana, donde sus propiedades nutricionales estarán oportunas y presentan un sabor inmejorable (Catagña, 2024).

Para cosechar lechugas de hoja, es preciso tener en cuenta que lleguen a una altura de 10 cm, esto se realiza retirando completamente la planta, en algunos lugares se procede a cosechar la hojas individualmente utilizando una tijera, cortando a 2,5 cm sobre la corona, con el objetivo de que vuelva a retoñar (Jaramillo et al., 2014).

7.4.6. Plagas y enfermedades

Según la FAO (2018) en sus Normas Internacionales de Medidas Fitosanitarias N° 5 referidas al glosario de términos fitosanitarios, menciona que plaga es “cualquier especie, raza o biotipo vegetal o animal o agente patógeno dañino para las plantas o productos vegetales”.

Las principales plagas y enfermedades de la lechuga se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 3. Principales Plagas y enfermedades de la lechuga

Plagas	Enfermedades
<p>Áfidos (<i>Myzus persicae</i>): una de las plagas más importantes, daño directo por succión de la savia de la planta, vector de virus, causan deformaciones de las hojas, clorosis, marchitamiento y muerte de plantas.</p>	<p>Mildeo veloso (<i>Bremia lactucae</i>): produce lesiones en el follaje viejo, manchas de color amarillento o verde claro en el haz y crecimiento micelar blanquecino de aspecto veloso en el envés</p>
<p>Babosas (<i>Deroceras sp</i>, <i>Limax sp</i>): se alimentan del tejido vegetal tierno mediante raspaduras, a veces cortan plántulas recién trasplantadas y las consumen totalmente, por lo general el ataque es en horas nocturnas.</p>	<p>Mancha de la hoja, septoriosis (<i>Septoria lactucae</i>): se presenta en condiciones de humedad prolongada y mucha lluvia, aparecen manchas irregulares y cloróticas creciendo progresivamente y tomando un color marrón claro donde se distinguen minúsculas estructuras negras denominadas picnidios</p>
<p>Trozadores y tierreros (<i>Agrotis ipsilon</i>, <i>Spodoptera frugiperda</i>): el daño más importante lo ocasionan las larvas cortando los tallos a ras de suelo y tumbándoles provocando la muerte.</p>	<p>Cercosporiosis (<i>Cercospora longissima</i>): presencia de manchas húmedas en hojas viejas, presentan un color pardo que al extenderse afectan las nervaduras y se cubren de una pelusa grisácea que son las esporas del hongo.</p>

Pudrición blanda, moho blanco (*Sclerotinia sclerotiorum*): se presenta por altas humedades, suelos contaminados, es una de las enfermedades más destructivas de la lechuga, aparece un marchitamiento de las hojas presentando un color amarillo, descomposición acuosa con presencia de micelio blanco y posterior presencia de esclerocios de color negro en la superficie inferior de la hoja.

Moho gris, pudrición basal (*Botrytis cinerea* Pers): una de las enfermedades más severas, se presenta cuando las condiciones de humedad son favorables para el desarrollo del hongo, luego de la infección y penetración aparece una capa grisácea afelpada que es las fructificaciones del hongo

Nota: Adaptado de Jaramillo et al. (2014)

7.5. Variedades

De acuerdo al modo de crecimiento, Jaramillo et al. (2014) clasifica a las lechugas según los materiales evaluados por Corpoica, clasificando a la lechuga como se presenta en la tabla 4 que a continuación se presenta:

Tabla 4. Tipos de lechuga y variedades

Tipo de lechuga	Variedad
Americana, repollada o Crisp Head	Icevic
	Coolguard
	Winter Haven
	Arizona
	Grandes Lagos 118
	Luana
	Salinas 88 supreme
	Alpha
	Badger
Mantequilla o Butter Head	Albert
	Justine
	White Boston
	Elisa

Romana	Parris island cos Green Forest Mirella Cogollos de <i>Tudela rose gem</i> Cogollos de Tudela
<hr/>	
	Red romaine cos
Gourmet	Baby leaf Red salad bowl
Hojas sueltas o loose leaf	Casabella Lollo rosa Verónica Veneza roxa Grega Vera Vanda Bergamo Sanguine Falbala

Nota: Tomado de (Jaramillo et al., 2014)

7.6. Lechuga de hoja variedad Carmín

La variedad Carmín presenta las siguientes características: tiene un color morado intenso desde la base hasta el borde de la hoja, presenta una alta uniformidad a la cosecha y es de muy fácil comercialización por su calidad visual. Además, dentro de los problemas fitosanitarios, presenta alta resistencia al virus del mosaico de la lechuga (VML) y a *Bremia lactucae* y mediana resistencia al ataque de *Pythium spp.* Las características morfofisiológicas son plantas medianas a grandes, hojas anchas de color violeta intenso y muy crespas, su ciclo promedio es de 60 días y se puede cultivar durante todo el año, tanto en campo abierto como hidroponía, la densidad de siembra recomendada es distancia entre filas: 0,4 m; distancia entre plantas: 0,3 m; con un total de 80 mil plantas por hectárea (Sakata, 2024).

7.7. Coberturas plásticas o acolchados plásticos

Las tecnologías de coberturas plásticas son usadas netamente para conservar la evaporación de la humedad en el suelo, siendo una técnica muy antigua, donde inicialmente se colocaba materiales como paja, aserrín, cáscara de arroz o plástico para cubrir el suelo y proteger el cultivo de las adversidades del clima, promover cosechas precoces, mejorar el rendimiento y calidad de los productos (Sarmiento-Sarmiento et al., 2023).

Martínez et al, (2004), menciona que esta técnica consiste en cubrir el suelo con algún material plástico sobre el suelo, aumentando la eficiencia del uso del agua, evitando la pérdida de humedad por evaporación y tornándose el cultivo más precoz para la cosecha debido al aumento de temperatura por la conservación de calor en el suelo.

7.8. Ventajas del uso de coberturas plásticas

De acuerdo a Saavedra et al, (2017) indica las siguientes ventajas:

Incrementa el rendimiento al conservar el producto limpio sin salpicaduras, reduce la presencia de plagas y enfermedades debido a la reflexión de la luz que produce el acolchado plástico, el control de malezas se favorece porque limita el desarrollo por el impedimento del paso de luz, controla la erosión y endurecimiento del suelo permitiendo que este permanezca suelto, aireado y no sea arrastrado; y, también incremental crecimiento debido al acumulamiento de CO₂ bajo el plástico generando que este salga por los agujeros donde se encuentra la planta y favoreciendo el proceso fotosintético.

7.9. Desventajas del uso del acolchado plástico

Una de las desventajas es la forma manual de realizar la actividad que es muy laboriosa, también el costo del material para el acolchado condiciona para que sea utilizado en cultivos altamente rentables, se requieren conocimientos técnicos debido a que puede ocasionar problemas por exceso de humedad que ocasionan enfermedades y aumento de plagas y salinización del suelo (Martínez et al., 2004).

7.10. Manejo de malezas con acolchado plástico

Al igual que en muchos cultivos, las malezas en el cultivo de lechuga son causantes de grandes pérdidas en rendimiento y calidad de la cabeza, estas compiten por absorción de luz, humedad, minerales del suelo y espacio; también causan daños por alelopatía y ser hospederos de plagas y enfermedades. (Saavedra et al., 2017)

Jaramillo et al. (2014) indica que el cultivo debe permanecer libre de malezas empleando métodos mecánicos mediante deshierbes manuales, el primer deshierbe se realiza una vez las plantas hayan iniciado su crecimiento a los 20 días después del trasplante (ddt) y la segunda dos semanas después alrededor de los 45 ddt, evitando remover excesivamente el suelo para evitar dañar raíces y evitando utilizar productos químicos.

Otra forma para controlar malezas es el uso de coberturas plásticas, que evita el brote de malezas, reduce el consumo de agua, disminuye la evaporación, protege el suelo de la erosión, favorece la absorción de nutrientes debido a un mayor desarrollo radicular, genera un microclima que favorece el desarrollo del cultivo (Jaramillo et al., 2014).

7.11. Biofertilizantes

Chávez-Díaz et al., (2020) define a los biofertilizantes como bioformulados que contienen microorganismos vivos promotores del crecimiento vegetal para ser aplicados al suelo, en el riego o de manera foliar, promoviendo el desarrollo de las plantas actuando de manera directa o indirecta.

Macedo et al., (2023) menciona que son muchos los beneficios que aportan los biofertilizantes al suelo y a las plantas cultivadas: aumento de la actividad microbiana del suelo; suministro equilibrado de los elementos esenciales a las plantas superiores; aumento de la resistencia a las tensiones ambientales, plagas y enfermedades; mejora del desarrollo de la planta en todas sus etapas e incremento de la producción en cantidad y calidad.

Para Beltrán y Bernal (2022), los biofertilizantes los define como sustancias que contienen microorganismos benéficos del suelo con características mutualistas, que promueven el desarrollo de las plantas y reducir el consumo de insumos químicos que se pueden aplicar a las semillas, superficies de las plantas y al suelo, colonizando la rizósfera e impulsando el crecimiento vegetal.

Canseco et al., (2020) indica que el uso y la implementación de alternativas ecológicas y sostenibles como la agricultura orgánica es de vital importancia, siendo la incorporación de abonos orgánicos al suelo una de las prácticas importantes que ayuda a mejorar las características físicas, químicas, biológicas y sanitarias del suelo incrementado su fertilidad; además, en las plantas ayuda a incrementar el crecimiento de las raíces, follaje, floración y fructificación; también, el uso de biofertilizantes es otra alternativa por su contenido de microorganismos vivos o latentes que al ser utilizados en los cultivos estimulan el crecimiento e incremento de los rendimientos y producción de los cultivos.

Los biofertilizantes son añadidos por los microbios vivos que habitan las raíces de forma endógena, impulsando así la entrega de nutrientes a los cultivos hospedantes, mejorando así el crecimiento y desarrollo de las plantas, una vez que se ponen en funcionamiento con semillas, superficies de plantas o suelos (Hamid et al., 2021).

Los procesos realizados por los microorganismos son ampliamente acelerados por los biofertilizantes que amplifican la disponibilidad de nutrientes para una fácil absorción por la planta. Al transformar el nitrógeno atmosférico en formas utilizables y solubilizar el fósforo inaccesible en fosfatos, mejoran la fertilidad del suelo al secretar sustancias químicas que promueven el desarrollo de las plantas en el suelo (Dervash et al., 2020).

El objetivo principal de los biopesticidas y/o biofertilizantes es evitar o inhibir las enfermedades de las plantas, habitualmente la rizósfera y las partes aéreas de las plantas están habitadas por protozoos, bacterias, algas, actinomicetos y hongos, donde las bacterias constituyen el 95% de los microorganismos colonizadores. El desarrollo de las plantas está profundamente influenciado por procesos directos e indirectos llevados a cabo por bacterias que habitan las raíces de las plantas, ya sea de forma exógena o endógena, constituyendo las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas o rizobacterias, lo que las hace elegibles para ser llamadas biopesticidas y biofertilizantes. El suelo que rodea las raíces de las plantas es una fuente principal de agentes bacterianos que promueven el crecimiento y desarrollo de las plantas (Hamid et al., 2021).

Se puede mencionar que dentro de los modos de acción de los microorganismos presentes en los biofertilizantes tenemos las capacidades para fijar el N_2 atmosférico; solubilizar el fósforo, modificar positivamente la arquitectura de las raíces para facilitar la absorción de nutrientes; modificar la partición de los fotoasimilados, promover la simbiosis entre raíces y micorrizas; fitohormonas, enzimas, sustancias señalizadoras y sideróforos; además, existe un enorme potencial para el uso de PGPR como agentes activos en biofertilizantes para una amplia variedad de plantas cultivadas en una amplia gama de condiciones climáticas y edáficas (Macedo et al., 2023)

7.12. Tipos de biofertilizantes

Los biofertilizantes pueden agruparse basados en su función y naturaleza en los grupos mencionados en la tabla que a continuación se presenta (Tabla 5). Estos biofertilizantes participan en la incorporación de los procesos de movilización de nutrientes que son biológicamente accesibles, mejorando así enormemente el estado de fertilidad de los suelos; y, posteriormente, el rendimiento de los cultivos (Hamid et al., 2021).

Existen numerosos tipos de biofertilizantes, principalmente debido a los materiales utilizados y a la forma en que se fabrican. Sin embargo, algunos destacan por varias razones: ya sea porque ya son muy utilizados por los agricultores, o porque han sido desarrollados por instituciones de

investigación científica de renombre, o porque han sido validados por la experimentación agrícola (Macedo et al., 2023).

Tabla 5. Clasificación de los biofertilizantes

Nitrógeno	Fijadores	Vida Libre	<i>Azotobacter</i> , <i>Anabaena</i>
		Simbiosis	<i>Azorhizobium</i> , <i>Sinorhizobium</i>
		Simbiosis asociativa	<i>Acetobacter</i> , <i>Diazotrophics</i>
Fósforo	Solubilizadores	Bacteria	<i>Bacillus megaterium</i> , <i>Bacillus subtilis</i>
		Hongo	<i>Aspergillus awamori</i> , <i>Trichoderma</i>
	Micorrizas	Micorrizas arbusculares	<i>Glomus</i>
Micronutrientes	Solubilizadores de Silicio	Ectomicorrizas	<i>Basidiomycetes</i>
		Solubilizadores de Zinc	<i>Thiobacillus thooxidans</i> , <i>Bacillus subtilis</i>
Promotores de crecimiento	de	Rhizobacterias promotoras de crecimiento vegetal	<i>Bacillus pumilus</i> , <i>Bacillus licheiformis</i>

Nota: Tomado y adaptado de Hamid et al, (2021)

7.13. Biofertilizante enriquecido con microorganismos

Yáñez et al, (2015) indica que es un biofertilizante que contiene bacterias del género *Azospirillum*, que tienen la capacidad de promover el crecimiento de los cultivos, estimulando

el desarrollo radicular que aumenta la superficie de absorción de nutrientes; además, esta bacteria tiene la habilidad de fijar el nitrógeno atmosférico y lo hace aprovechable para la planta. Pincay et al, (2023) señala que es un biofertilizante a base de bacterias de los géneros *Bacillus* y *Pseudomonas* que aportan beneficios al suelo y la nutrición vegetal.

Tabla 6. Composición de Biofertilizante Maíz

Ingredientes	Concentración
Microorganismo (<i>Bacillus subtilis</i> y <i>Pseudomonas fluorescens</i>)	10 ⁹ UFC/ml
Melaza	2%

Nota: Tomado de Pincay et al, (2023)

7.14. *Bacillus subtilis*

Algunos *Bacillus* spp. promotores de crecimiento vegetal son microorganismos reconocidos como agentes de control biológico que forman una estructura de resistencia denominada endospora, permitiéndoles sobrevivir en ambientes hostiles y estar en casi todos los agroecosistemas. Han sido reportados como alternativa debido a que sus mecanismos de acción se pueden dividir en: producción de compuestos antimicrobianos, como son péptidos de síntesis no ribosomal (NRPs) y policétidos (PKs); producción de hormonas, capacidad de colonización, formación de biopelículas y competencia por espacio y nutrientes; síntesis de enzimas líticas como quitinasas, glucanasas, proteasas y acil homoserin lactonasas (AHSL); producción de compuestos orgánicos volátiles (VOCs); e inducción de resistencia sistémica (ISR) (Pedraza et al., 2020).

González et al., (2022), Yang et al., (2024) y Blake et al., (2021) concuerdan que *Bacillus subtilis* es un procarionta con una distribución cosmopolita, tiene forma de bacilo con un diámetro de 0,85 µm, siendo una bacteria Gram-positiva termófila, aeróbica, formadora de esporas con forma de bastón, es resistente al calor, la sequía, la luz ultravioleta, produce endosporas, posee movimiento mediante flagelos peritricos, es una bacteria aerobia o anaerobia facultativa, pudiendo desarrollarse en pH de 4,9 a 9,3 y temperaturas de 10 °C a 48 °C siendo su óptimo entre 28 a 35 °C.

Yang et al., (2024) indica que *B. subtilis* es un agente de biocontrol ideal ya que tiene un amplio rango de inhibición en diferentes partes de la planta, es un agente de biocontrol ideal ya que tiene un amplio rango de inhibición en diferentes partes de la planta. Se ha demostrado que

Bacillus subtilis puede colonizar las raíces de las plantas y la rizósfera de las raíces del suelo. Puede secretar sustancias que dificultan el crecimiento y desarrollo de los patógenos y desencadenan la actividad enzimática necesaria para la defensa de las plantas.

Su ciclo de vida se divide en dos fases: la primera fase de crecimiento vegetativo o somático y esporulación, ocurre en condiciones bióticas y abióticas favorables, en donde la población bacteriana se desarrolla de forma exponencial dividiéndose de manera simétrica por fisión binaria. En situaciones de inanición o estrés nutricional, se da lugar a la segunda fase: la formación de endosporas. Estas estructuras, que poseen una notable capacidad de resistencia, pueden mantenerse viables durante largos períodos, incluso en condiciones extremas de temperatura, desecación, pH y radiación solar. Además, tienen la capacidad de germinar cuando reciben señales químicas del entorno que indican que las condiciones son favorables para el desarrollo vegetativo (González-León et al., 2022).

La colonización de las raíces por *Bacillus subtilis* es beneficiosa tanto para la bacteria como para la planta huésped. Aproximadamente el 30% del carbono fijado producido por las plantas se secreta a través de los exudados de las raíces. La colonización de las raíces por bacterias proporciona una fuente de nutrientes y, a cambio, las plantas son receptoras de compuestos bacterianos y actividades que estimulan el crecimiento vegetal y brindan protección contra el estrés a sus huéspedes. *Bacillus subtilis* forma una biopelícula delgada en las raíces para la colonización a largo plazo de la rizósfera. La quimiotaxis es necesaria para que *B. subtilis* localice y colonice raíces jóvenes (Hashem et al., 2019).

7.15. *Pseudomonas fluorescens*

David et al., (2018) menciona que *Pseudomonas fluorescens* es un organismo aerobio, gramnegativo, ubicuo presente en suelos agrícolas y bien adaptado para crecer en la rizósfera, posee muchas características para actuar como agente de biocontrol y promover la capacidad de crecimiento de las plantas, puede utilizar rápidamente los exudados de las semillas y las raíces para colonizar y multiplicarse en las cercanías de la rizósfera donde produce un amplio espectro de metabolitos bioactivos (antibióticos, sideróforos, sustancias volátiles y promotoras del crecimiento); suprime el crecimiento de microorganismos patógenos por diversos mecanismos, a saber, la producción de antibióticos, bacteriocinas, sideróforos, enzimas hidrolíticas como β -1,3-glucanasa y quitinasas, y otros metabolitos como fitoalexinas e inducción de resistencia sistémica.

Kahli et al., (2022) reporta que *Pseudomonas* es una bacteria Gram-negativa adaptada a diferentes ambientes y ecosistemas, es, por lo tanto, ubicua en muchos hábitats como suelos, sedimentos, plantas y animales, así como aguas dulces y marinas. Las especies de *Pseudomonas* se pueden dividir en dos grupos, dependiendo de si son fluorescentes o no. Las especies fluorescentes incluyen *P. aeruginosa*, *P. putida* y *P. fluorescens*, que se caracterizan por la producción de altos niveles de sideróforos, como las pioverdinas fluorescentes de color amarillo-verde solubles en agua.

Pseudomonas fluorescens es una bacteria Gram negativa, representada por una varilla unicelular con un eje largo curvo o recto, uno o más flagelos polares, sin formación de esporas, vaina o motilidad del tallo (Guo et al., 2021). Mehmood et al., (2023) menciona que el género *Pseudomonas* se utiliza principalmente como inóculo de cultivos debido a su abundante presencia y capacidad metabólica versátil; además, promueve el crecimiento de las plantas de muchas maneras, incluida la actividad de la desaminasa ACC, la absorción de nutrientes y las actividades antioxidantes.

Las cepas particulares de *Pseudomonas fluorescens* se han utilizado como inóculos de semillas en diversas plantas de cultivo para estimular los parámetros de crecimiento y mejorar el rendimiento de los cultivos. Estos agentes bacterianos se instalaron rápidamente en las raíces de la papa, el rábano y la remolacha azucarera, lo que aumentó significativamente el rendimiento de las plantas. *P. fluorescens* puede ayudar a estimular los procesos relacionados con el crecimiento del repollo, especialmente promoviendo el crecimiento rápido de las plántulas y reduciendo el impacto del trasplante (Karmegham et al., 2020).

En la actualidad, menciona Mohammed et al., (2020) que las especies de *Pseudomonas* beneficiosas para las plantas colonizan competitivamente la rizósfera y muestran actividades de promoción del crecimiento de las plantas y/o supresión de enfermedades; además, la bacteria es antagonista de muchos hongos fitopatógenos y muestra un biocontrol eficaz contra los fitopatógenos fúngicos, los tratamientos de biocontrol de enfermedades de las plantas con especies de *Pseudomonas* han demostrado ser ecológicos y efectivos contra muchos patógenos de las plantas y se han considerado como una solución a largo plazo para el manejo de las enfermedades de las plantas. El uso de rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas, especies de *Pseudomonas*, es uno de los módulos de control biológico prometedores, y sus formulaciones comerciales se han probado contra varias enfermedades de los cultivos causadas por patógenos.

8. VALIDACIÓN DE LAS HIPÓTESIS

8.1. Hipótesis nula

Ho₁: La aplicación del biofertilizante en diferentes dosis no mejorará las características morfológicas y productivas del cultivo de lechuga.

Ho₂: La aplicación del acolchado plástico no ayudará al manejo de malezas y la productividad del cultivo de lechuga

8.2. Hipótesis alternativa

Ha₁: La aplicación del biofertilizante en diferentes dosis mejorará las características morfológicas y productivas del cultivo de lechuga

Ha₂: La aplicación del acolchado plástico ayudará al manejo de malezas y la productividad del cultivo

8.3. Operacionalización de variables

Tabla 7. Operacionalización de las variables

Variables	Indicadores	Índice/unidad medida	
VD	Porcentaje de germinación	%	
	Altura de cotiledón	cm	
	Pilonera	Altura de plántula	cm
	Morfología del cultivo	Número de hojas	unidad
		Longitud de raíz	cm
		Volumen de raíz	cm ³
		Clorosis	Escala
Campo	Altura de planta	cm	
	Número de hojas	unidad	
	Morfología del cultivo	Porcentaje de malezas	%
		Incidencia de plagas y enfermedades	%
		Longitud de raíz	Escala cm
		Volumen de raíz	cm ³
		Peso	gramos
Grado de madurez	Escala		

VI	Biofertilizante	ml días
	Biofertilizante	de aplicación
	Dosis	
	Frecuencia	

Elaborado por: Jiménez, V. (2025)

9. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL

La presente investigación se desarrolló en la provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga, parroquia Eloy Alfaro, Barrio Salache, en la pilonera del campus Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

9.1. Modalidad básica de investigación

9.1.1. Experimental

Según Ramos (2021) manifiesta que la investigación experimental se caracteriza por la manipulación intencionada de la variable independiente y el análisis de impacto en la variable dependiente

En la presente investigación la propuesta fue aplicar el biofertilizante en diferentes dosis y frecuencias y observar su influencia en el desarrollo fenológico y características morfológicas de la lechuga.

9.1.2. Descriptiva

La investigación descriptiva es un procedimiento usado por la ciencia para describir las características de un fenómeno, sujeto o población de estudio, se encuadra dentro de la investigación cualitativa y este método trata de entender en profundidad a la población estudiada (Cabezas et al., 2018).

Las variables evaluadas fueron descritas de acuerdo a las características morfológicas que presentaron luego de la aplicación del biofertilizante Biofertilizante.

9.2. Tipo de Investigación

9.2.1. Hipotético – Deductivo

Feinsinger (2013) menciona que la hipótesis científica está dentro del enfoque del método hipotético deductivo donde la propuesta del investigador sea propuesta como la hipótesis alterna evitando el riesgo de la confusión lógica y que el investigador cumpla con la hipótesis o predicción propuesta.

En la presente investigación es importante la aplicación de este método debido a que el investigador propuso la aplicación del biofertilizante en diferentes dosis y frecuencias con la finalidad de mejorar las características morfológicas y fenológicas del cultivo de lechuga.

9.3. Técnicas de Investigación

9.3.1. Fuentes de información

Para Hernández Sampieri et al. (2014) las fuentes bibliográficas pueden ser primarias o secundarias. Las fuentes primarias están referidas a la información original de primera mano donde se consideran a los libros, revistas, periódicos, diarios, informes técnicos y de investigación de instituciones públicas o privadas, etc.

Las fuentes secundarias están relacionadas con la información que ya se encuentra organizada o elaborada que ha sido producto de un análisis primario y de extracción de fuentes primarias originales. Como ejemplo de fuentes secundarias se puede citar a las enciclopedias, antologías, directorios, libros o artículos que interpretan otros trabajos o investigaciones (Rodríguez et al., 2017).

9.3.2. Observación Directa

La observación directa se refiere cuando el investigador se pone en contacto directo con el hecho o fenómeno a estudiar. Durante el ensayo se utilizó esta técnica para medir cada una de las variables propuestas.

9.3.3. Análisis estadístico

El análisis estadístico utiliza metodologías estadísticas para explicar los datos obtenidos en la investigación, permitiendo la toma de decisiones o la explicación de los condicionantes que determinan la ocurrencia de algún fenómeno (Hernández et al., 2014) Para el análisis estadístico de los datos se empleó el software estadístico Infostat v 17.0.

9.4. Ubicación del Ensayo

Provincia:	Cotopaxi
Cantón:	Latacunga
Parroquia:	Eloy Alfaro
Barrio:	Salache
Latitud:	0° 59' 56" S
Longitud:	78° 37' 32" O
Altitud:	2750 msnm



Imagen 1. Ubicación del área de investigación

Elaborado por: Jiménez, V. (2025)

9.5. Materiales y equipos

- Semillas de lechuga de hoja variedad Carmín (*Lactuca sativa* L.)
- Biofertilizante
- Bandejas de polietileno de 338 alveólos
- Sustrato
- Estacas
- Flexómetro
- Manguera
- Balde de 10 litros
- Azadón
- Rastrillo

- Piola
- Bomba de fumigación
- Cuaderno
- Lápiz
- Computadora
- Impresora

9.6. Fase Pilonera

9.6.1. Factores en estudio

Factor A. Frecuencia de aplicación

Tabla 8. Frecuencia de aplicación de biofertilizante Biofertilizante

N°	Código	Descripción
1	F1	7 días
2	F2	15 días

Elaborado por: Jiménez, V. (2025)

Factor B. Dosis de aplicación

Tabla 9. Dosis de aplicación de biofertilizante Biofertilizante

N°	Código	Descripción
1	D1	0 ccl ⁻¹
2	D2	2 ccl ⁻¹
3	D3	4 ccl ⁻¹
4	D4	6 ccl ⁻¹

Elaborado por: Jiménez, V. (2025)

9.6.2. Tratamientos

Al realizar la interacción de los factores en estudio se obtuvieron 8 tratamientos, donde se combina la frecuencia y la dosis de aplicación del biofertilizante y la cobertura de suelo utilizados en la investigación; a continuación, se presenta la tabla de tratamientos con su respectiva descripción.

Tabla 10. Descripción de los Tratamientos

Tratamientos	Código	Descripción
t1	F1 D1	7 días + 0 ccl ⁻¹
t2	F1 D2	7 días + 2 ccl ⁻¹
t3	F1 D3	7 días + 4 ccl ⁻¹
t4	F1 D4	7 días + 6 ccl ⁻¹
t5	F2 D1	15 días + 0 ccl ⁻¹
t6	F2 D2	15 días + 2 ccl ⁻¹
t7	F2 D3	15 días + 4 ccl ⁻¹
t8	F2 D4	15 días + 6 ccl ⁻¹

Elaborado por: Jiménez, V. (2025)

9.6.3. Diseño Experimental

Se utilizó un diseño de parcelas divididas en franjas para la fase de pilonera obteniendo 8 tratamientos.

9.6.4. Análisis estadístico

Tabla 11. Esquema del Análisis de Varianza para pilonera

Fuente de Variación	Grados de Libertad
Bloque R	2
Factor A	1
Error (a) R*A	2
Factor B	3
Error (b) R*B	6
A B	3
Error (e) R*A*B	17
Total	23

Elaborado por: Jiménez, V. (2025)

9.6.5. Análisis funcional

Para el análisis funcional se utilizó la prueba de Tukey al 5%. Se utilizó esta prueba para frecuencias y dosis de aplicación y las interacciones correspondientes a los factores en estudio.

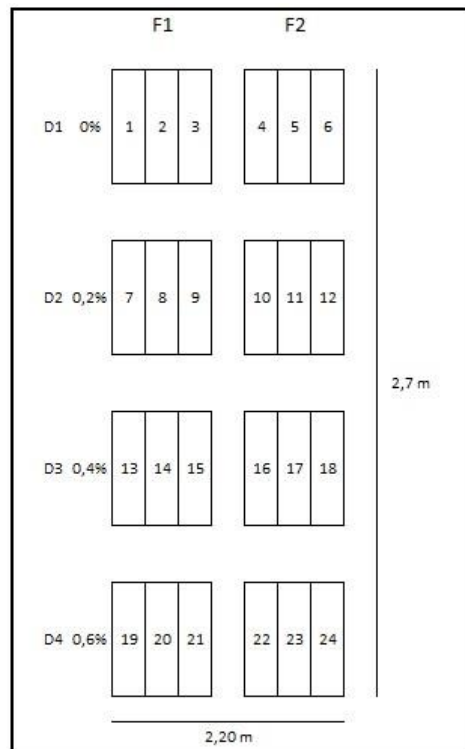
9.6.6. Unidad experimental

Para la unidad experimental se utilizaron un total de 338 semillas de lechuga para cada bandeja, con un total de 1014 semillas en cada tratamiento.

Tabla 12. Características de la unidad experimental en campo

Descripción	Cantidad
Área total del ensayo:	5,94 m ²
Dimensión bandejas de germinación	67 x 34 x 4,6 cm
Número total de plantas:	1344
Número de plantas por bandeja:	338
Número de plantas por tratamiento:	8112

Elaborado por: Jiménez, V. (2025)

**Figura 1. Distribución de los tratamientos en el ensayo en pilonera**

Elaborado por: Jiménez, V. (2025)

9.7. Fase Campo

9.7.1. Factores en estudio

Factor A. Frecuencia de aplicación

Tabla 13. Frecuencia de aplicación de biofertilizante Biofertilizante

Nº	Código	Descripción
1	F1	7 días
2	F2	15 días

Elaborado por: Jiménez, V. (2025)

Factor B. Dosis de aplicación

Tabla 14. Dosis de aplicación de biofertilizante Biofertilizante

N°	Código	Descripción
1	D1	0 ccl ⁻¹
2	D2	2 ccl ⁻¹
3	D3	4 ccl ⁻¹
4	D4	6 ccl ⁻¹

Elaborado por: Jiménez, V. (2025)

Factor C. Cobertura de suelo

Tabla 15. Cobertura de suelo para cultivo de lechuga

N°	Código	Descripción
1	C1	Con cobertura plástica
2	C2	Sin cobertura plástica

Elaborado por: Jiménez, V. (2025)

9.7.2. Tratamientos

Al realizar la interacción de los factores en estudio se obtuvieron 16 tratamientos, donde se combina la frecuencia, la dosis de aplicación del biofertilizante y la cobertura de suelo utilizados en la investigación; a continuación, se presenta la tabla de tratamientos con su respectiva descripción.

Tabla 16. Descripción de los Tratamientos

Tratamientos	Código	Descripción
t1	F1 D1 C1	7 días + 0 ccl ⁻¹ + Acolchado
t2	F1 D2 C1	7 días + 2 ccl ⁻¹ + Acolchado
t3	F1 D3 C1	7 días + 4 ccl ⁻¹ + Acolchado
t4	F1 D4 C1	7 días + 6 ccl ⁻¹ + Acolchado
t5	F2 D1 C1	15 días + 0 ccl ⁻¹ + Acolchado
t6	F2 D2 C1	15 días + 2 ccl ⁻¹ + Acolchado
t7	F2 D3 C1	15 días + 4 ccl ⁻¹ + Acolchado
t8	F2 D4 C1	15 días + 6 ccl ⁻¹ + Acolchado
t9	F1 D1 C2	7 días + 0 ccl ⁻¹ + Sin Acolchado
t10	F1 D2 C2	7 días + 2 ccl ⁻¹ + Sin Acolchado
t11	F1 D3 C2	7 días + 4 ccl ⁻¹ + Sin Acolchado

t12	F1 D4 C2	7 días + 6 ccl ⁻¹ + Sin Acolchado
t13	F2 D1 C2	15 días + 0 ccl ⁻¹ + Sin Acolchado
t14	F2 D2 C2	15 días + 2 ccl ⁻¹ + Sin Acolchado
t15	F2 D3 C2	15 días + 4 ccl ⁻¹ + Sin Acolchado
t16	F2 D4 C2	15 días + 6 ccl ⁻¹ + Sin Acolchado

Elaborado por: Jiménez, V. (2025)

9.7.3. Diseño Experimental

Para realizar el diseño experimental se utilizó un arreglo factorial de 2*4*2 implementado en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones.

Tabla 17. Esquema del Análisis de Varianza para campo

<u>Fuente de Variación</u>	<u>Grados de Libertad</u>
Total	47
Repeticiones	2
Tratamientos	15
Frecuencias	1
Dosis	3
Cobertura	1
A x B	3
A x C	1
B x C	3
A x B x C	3
Error	30

Elaborado por: Jiménez, V. (2025)

9.7.4. Análisis funcional

Para el análisis funcional se utilizó la prueba de Tukey al 5%.

Se utilizó esta prueba para tratamientos, frecuencias, dosis de aplicación y cobertura de suelo y las interacciones correspondientes a los factores en estudio.

9.7.5. Unidad experimental

Para la unidad experimental se utilizaron un total de 14 plantas de lechuga para cada tratamiento, con un total de 224 plantas por cada repetición.

Tabla 18. Características de la unidad experimental en campo

<u>Descripción</u>	<u>Cantidad</u>
Área total del ensayo:	361 m ²
Número de repeticiones	3

Largo de la platabanda	4,50 m
Ancho de la platabanda	1,00 m
Número total de plantas:	1344
Número de plantas por repetición:	448
Número de plantas por tratamiento:	28

Elaborado por: Jiménez, V. (2025)

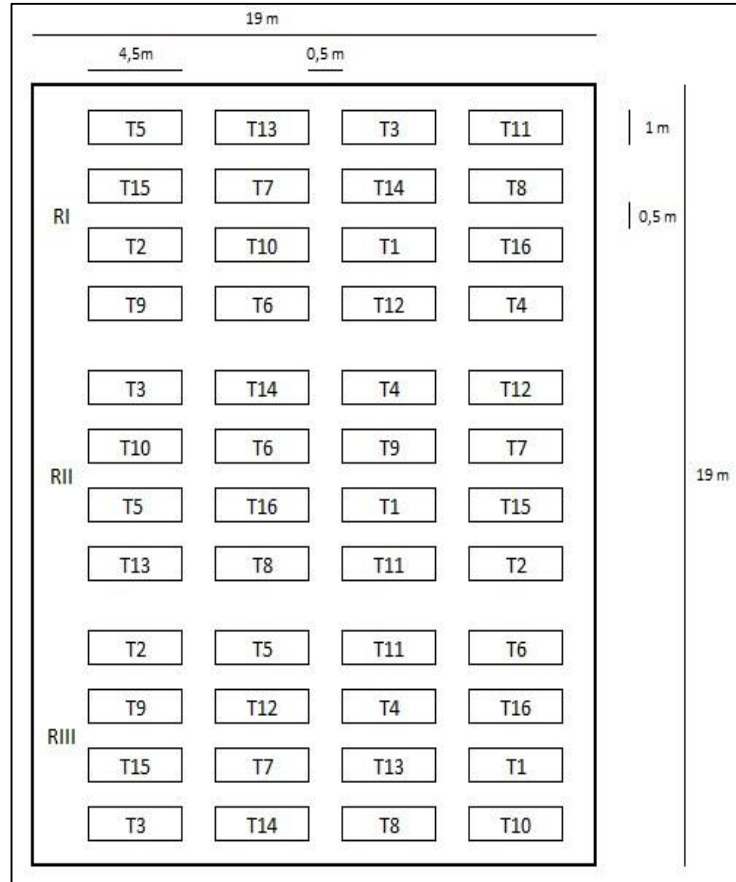


Figura 2. Distribución de los tratamientos en campo

Elaborado por: Jiménez, V. (2025)

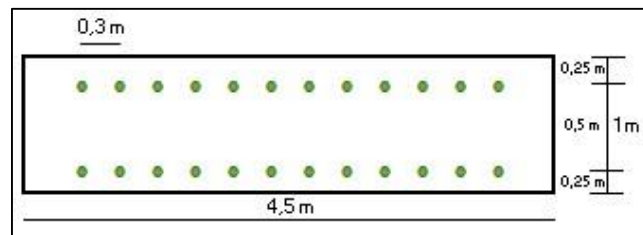


Figura 3. Distribución de la parcela experimental

Elaborado por: Jiménez, V. (2025)

9.8. Manejo del experimento

9.8.1. Selección de semillas

Las semillas fueron adquiridas en un centro agrícola, fueron de la variedad Carmín, estas semillas tienen certificación, por lo que la calidad de las mismas está garantizada.

9.8.2. Preparación de sustratos

Se colocó el sustrato en las bandejas de germinación y se rellenó cada uno de los alvéolos con la cantidad especificada para la posterior siembra de la semilla de lechuga.

9.8.3. Siembra de semillas

Se procedió a sembrar una semilla de lechuga variedad Carmín en cada uno de los alvéolos de las bandejas de germinación sobre el sustrato ya ubicado para posterior a esta labor se procedió a tapar con una capa de sustrato.

9.8.4. Aplicación de tratamientos en semillero

Se procedió a preparar los tratamientos utilizando las dosis establecidas de Biofertilizante en la tabla 9 y la disolución se hizo en agua, posteriormente se aplicó en las bandejas de germinación con semillas y se etiquetó cada bandeja especificando la dosis y tratamiento aplicado.

9.8.5. Preparación del suelo

Con la ayuda de un flexómetro se midió el terreno y se estableció las unidades experimentales para cada tratamiento de acuerdo a la distribución en la figura 3.

Se procedió a acolchar las unidades experimentales de acuerdo a los tratamientos establecidos y las otras unidades experimentales quedaron descubiertas.

9.8.6. Trasplante

Una vez la planta de lechuga llegó a obtener su tercera hoja verdadera; es decir a los 35 días después de la siembra se procedió a trasplantar en el terreno que se encontraba listo y preparado, utilizando las medidas presentadas en la tabla 18.

9.8.7. Manejo fitotécnico

Luego del trasplante se procedió a regar de acuerdo al requerimiento del cultivo, la deshierba se realizó cada 15 días en el suelo que no estaba con acolchado para evitar la competencia. La sanidad vegetal fue controlada de acuerdo a los monitoreos y observación de plagas y enfermedades presentes en la lechuga.

9.8.8. Toma de datos

Con la ayuda de una libreta de campo se procedió a registrar los datos medibles de las variables a evaluar de acuerdo a los días establecidos para la toma de datos.

9.8.9. Tabulación de datos

Una vez registrados todos los datos se procedió a registrar en una hoja de cálculo para ordenarlos y luego realizar el análisis estadístico con la ayuda del paquete informático InfoStat versión Estudiantil 2020.

9.9. Variables a Evaluar

9.9.1. Porcentaje de germinación

Se evaluó esta variable tomando en cuenta el número de plantas emergidas luego de la siembra luego de los 12 días después de la siembra de la semilla por cada tratamiento y determinando el porcentaje de acuerdo a la fórmula propuesta por Caroca et al. (2016):

$$\% \text{ germinación} = \frac{\# \text{ plantas emergidas}}{\# \text{ total de semillas sembradas}} \times 100$$

9.9.2. Altura de planta cotiledón

Esta variable se evaluará a los 7 y 15 días después de la siembra, utilizando como herramienta un flexómetro y teniendo en cuenta la totalidad de plantas por cada tratamiento se evaluó a 30 plantas, se registrará en el libro de campo para su posterior tabulación.

9.9.3. Altura de planta

Se seleccionaron 30 plantas de cada tratamiento para medir la longitud de la planta utilizando un flexómetro, se tomó la medida desde el cuello de la raíz hasta el punto extremo más elevado de la planta, se valoró cada 7 días y los datos obtenidos se registró en el libro de campo.

9.9.4. Número de hojas pilonera

Se procedió a contar el número de hojas cada 8 y 12 días después de la siembra de las plantas de cada tratamiento tomando a 30 plantas y se registró en el libro de campo.

9.9.5. Longitud de raíz en pilonera

Se seleccionaron 30 plantas de cada tratamiento para medir la longitud de la raíz con un flexómetro, las cuales fueron lavadas con agua cuidadosamente para evitar daños en la misma, la medida se tomó desde el cuello de la raíz hasta el extremo final de la raíz. Los datos fueron registrados en el libro de campo.

9.9.6. Volumen de raíz en pilonera

Para evaluar esta variable se procedió a tomar 30 plantas de cada tratamiento y por el método de desplazamiento de líquido se procedió a medir el volumen de la raíz, los datos se registraron en el libro de campo.

9.9.7. Clorosis pilonera

La clorosis o deficiencia de hierro en plantas está ligada a la degradación de los cloroplastos y disminución de síntesis de clorofila produciendo un amarillamiento en el follaje joven de las plantas (Tlatilpa-Santamaría et al., 2023).

Para determinar la clorosis de las hojas de lechuga se procedió a adaptar la escala propuesta por Carpena-Artes et al. (1995), donde asigna una escala de valoración del 1 al 5, se presenta a continuación en la siguiente tabla. Se procedió a tomar una muestra de 30 plantas de cada tratamiento y se procedió a evaluar de acuerdo a la escala presentada.

Tabla 19. Grado de clorosis visual en lechuga variedad Carmín

Característica	Grado de clorosis
Planta morada	1
Planta ligeramente clorótica. Incipiente clorosis internerval	2
Planta clorótica. Típica clorosis internerval	3
Planta muy clorótica. Hojas con zonas amarillas. Incipiente caída de hojas	4

Planta extremadamente clorótica. Todas las hojas amarillas y caída de follaje

5

Nota: Tomado y adaptado de Carpena-Artes et al. (1995)

9.9.8. Altura de planta campo

Para evaluar esta variable se procedió a seleccionar 30 plantas por cada tratamiento y se registró los datos cada 15 días luego del trasplante, se utilizó un flexómetro y se procedió a medir desde la base del cuello de la raíz hasta la punta de la hoja más alta.

9.9.9. Grado de madurez

La madurez de la lechuga se basa específicamente en la compactación de la cabeza de acuerdo a (Jaramillo et al., 2014). Para Saavedra et al. (2017), las variedades de lechuga de hoja su grado de madurez depende del número de hojas y de la altura de las mismas que puede ser hasta 15 cm.

Para esta variable se procedió a seleccionar las plantas de lechuga de la variedad Carmín que cumplan los 15 cm de altura en sus hojas y determinar en porcentaje el grado de madurez de acuerdo al total de plantas que cumplan el requisito.

$$\% \text{ madurez} = \frac{\# \text{ plantas cosechadas}}{\# \text{ total de plantas sembradas}} \times 100$$

9.9.10. Rendimiento

Para la variable de rendimiento se procedió a pesar las plantas cosechadas de cada tratamiento en cada unidad experimental y se interpoló a la producción de una hectárea.

10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN FASE PILONERA

10.1. Variable Porcentaje de Germinación

Tabla 20. ADEVA para la variable Porcentaje de Germinación

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Bloque	522	26	5,03	0,1658	(Bloque*Frec)	NS
Frecuencias	140,17	1	140,17	27,13	0,0349	(Bloque*Frec) *
Bloque*Frecuencias	10,33	2	5,17	0,130	0,8763	NS
Dosis	122,173	40,72	1,21	0,3827	(Bloque*Dosis)	NS
Bloque*Dosis	201,336	33,56	0,880	0,5615		NS
Frecuencias*Dosis	182,83	3	60,94	1,59	0,287	NS
Error	229,676	38,28				
Total	938,5	23				
CV (%)	6,63					
PROMEDIO (%)	93,25					

Se observa en la tabla 20 el análisis de varianza para el porcentaje de germinación donde hubo significación estadística para la fuente de variación Frecuencias, esto manifiesta que si existió incidencia en la germinación de la semilla; el resto de fuentes de variación no tuvieron significación estadística. El coeficiente de variación fue de 6,63 % y el promedio general llegó a promediar 93,25 %

10.1.1. Prueba de Tukey al 5% para Frecuencias en la variable de Porcentaje de Germinación

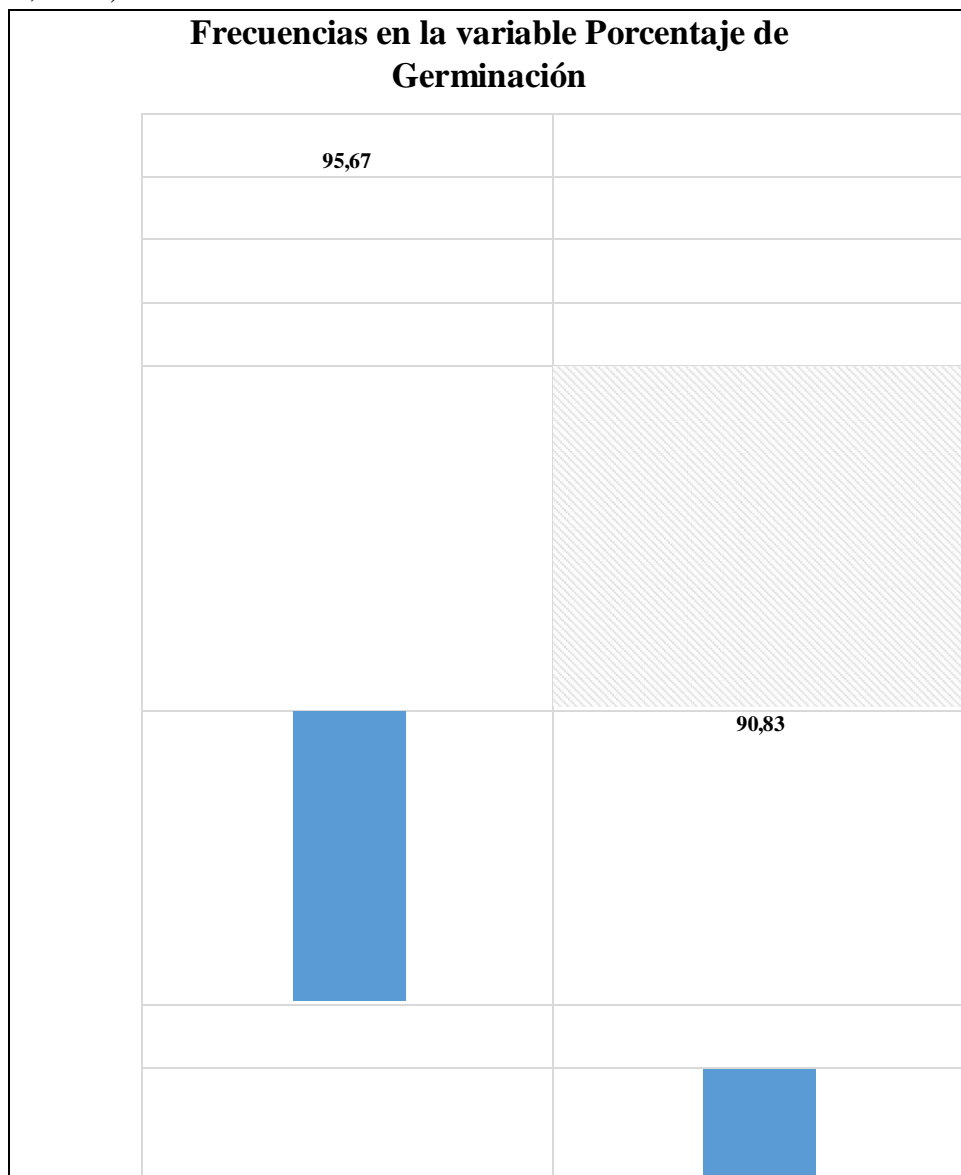
Tabla 21. Prueba de Tukey al 5% para Frecuencias en Porcentaje de germinación

<u>Frecuencias Medias Rangos</u>		
7 días	95,67	A
15 días	90,83	B

En la tabla 21 se observa las medias obtenidas al realizar la Prueba de Tukey al 5% donde hubo dos rangos de significación, la frecuencia cada 7 días ocupó el primer rango con el promedio más alto en el porcentaje de germinación con un valor de 95,67%, seguido de la frecuencia cada 15 días con un promedio de 90,83%. Se observa que hubo cierto grado de diferencia entre las medias obtenidas

Los microorganismos pueden mejorar el crecimiento de las plantas mediante la fijación de nitrógeno atmosférico, son capaces de solubilizar fósforo insoluble, suelen producir fitohormonas como el ácido indolacético (IAA) y los ácidos giberélicos (GA); además, las bacterias PGPR (Plant growing promoting) tienen la capacidad de producir metabolitos supresores (cianuro de hidrógeno, sideróforos) para patógenos nocivos que actúan indirectamente para mejorar el crecimiento de las plantas (Tahiri et al., 2022).

Cabra et al., (2017) indica que utilizó biofertilizantes a base de bacterias del género *Bacillus* spp. En la germinación de semillas de tomate (*Lycopersicon esculentum*) obtuvo un promedio de 86,7 %, mientras que el promedio obtenido fue de 96,5 % con una dosis de 4 ccl⁻¹, se atribuye a que una de las características de esta bacteria es la capacidad de producir la fitohormona auxina en un rango de 16 a 55 gml⁻¹, ocasionando un aumento en la germinación de semillas, debido a que la auxina estimula la división celular promoviendo el crecimiento del embrión (Luna et al., 2013).



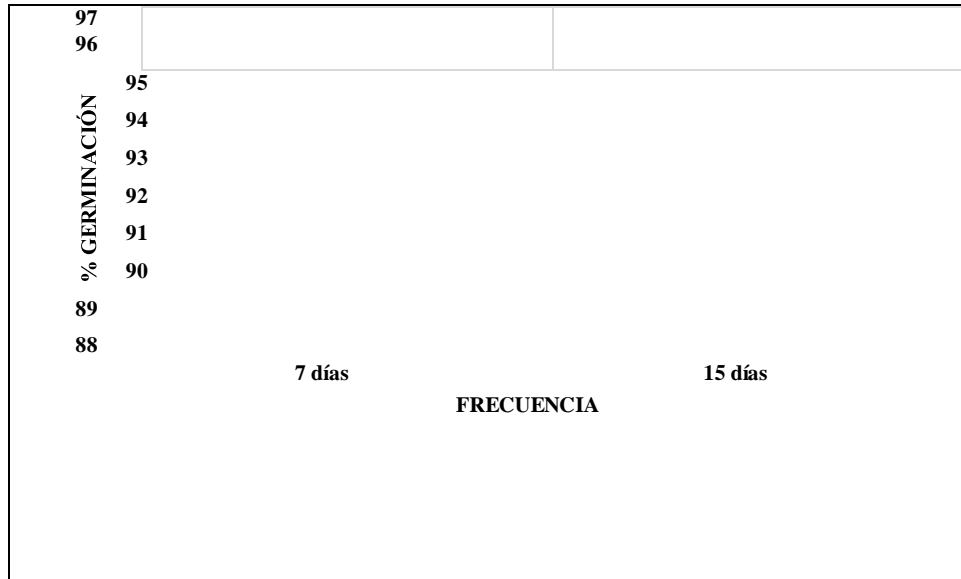


Gráfico 1. Promedios para Frecuencias en la variable Porcentaje de germinación

Elaborado por: Jiménez, V. (2025)

Según Daza-Martínez et al., (2018) indican que estas bacterias no suelen ser productoras importantes de auxinas, sin embargo, algunas cepas tienen la capacidad de producir entre 16 y 55 $\mu\text{g/ml}$ de AIA. Algunas especies del género *Bacillus* producen ácidos orgánicos como mecanismo primario de solubilización de fosfato, también lograron un incremento en la germinación y masa fresca en plántulas de tomate. Cabra et al., (2017) confirma lo mencionado por Daza (2018) que uno de los beneficios de las bacterias del género *Pseudomonas* puede estar relacionado con la producción de metabolitos de tipo AIA por parte de la cepa inoculada. El IAA induce el crecimiento de las plantas al incrementar la división celular y la diferenciación de los tejidos, efectos que se reflejan en un mayor contenido de biomasa.

De igual manera Álvarez et al., (2020) menciona que las bacterias nombradas anteriormente habitan el suelo cerca de la rizósfera de las plantas promoviendo el desarrollo y crecimiento vegetal, ofreciendo efectos directos e indirectos cuando interactúan con las plantas, siendo estos la síntesis de fitohormonas, la producción de sideróforos, la solubilización de minerales y la síntesis de compuestos volátiles, como también la inhibición de hongos fitopatógenos.

10.2. Variable Altura de Planta Cotiledón

Tabla 22. ADEVA para la variable Altura de planta cotiledón

F.V.	7 DDS				14 DDS			
	gl	CM	F	p-valor (Error)	CM	F	p-valor (Error)	
Bloque	2	1,30E-05	0,06	0,94 (Bloque*Frecuencia) NS	3,00E-04	2,7	0,27 (Bloque*Frecuencia) NS	NS
Frecuencia	1	1,70E-05	0,08	0,80 (Bloque*Frecuencia) NS	8,30E-04	0,33	0,622 (Bloque*Frecuencia) NS	NS
Bloque*Frecuencia	2	2,00E-04	3,13	0,12	NS	1,00E-02	0,24	0,7915
Dosis	3	7,80E-05	1,06	0,43 (Bloque*Dosis)	NS	1,00E-02	0,56	0,6633 (Bloque*Dosis)
Bloque*Dosis	6	7,40E-05	1,13	0,44	NS	3,50E-03	0,41	0,8518
Frecuencia*Dosis	3	2,80E-05	0,43	0,74	NS	0,51	0,6878	NS
Error	6	6,50E-05			0,00	0,00E+00		
Total	23							
CV (%)			5,39				5,40	
PROMEDIO (cm)			0,15				0,40	

En la tabla 22 se observa el análisis de varianza para la variable altura planta cotiledón, donde a los 7 Y 14 días después de la siembra (DDS) no hubo diferencia significativa estadística para ninguna de las fuentes de variación. El coeficiente de variación fue de 5,39 % para los 7 DDS y de 5,40 para los 14 DDS. Los promedios generales fueron de 0,15 cm y 0,40 cm para los dos períodos mencionados anteriormente.

10.3. Variable Altura de Planta

En la tabla 23 se observa el análisis de varianza de la variable Altura de planta donde a los 14 días después de la siembra (DDS) se observa significación estadística para frecuencia y alta significación estadística para dosis y la interacción de frecuencia y dosis, con un coeficiente de variación de 0,95% y un promedio general de 0,76 cm.

A los 21 DDS, la significación estadística fue para frecuencia y alta significación estadística para dosis, no hubo significación estadística para la interacción entre frecuencia y dosis, el coeficiente de variación fue de 3,03% y un promedio general de 1,62 cm

Para los 28 DDS hubo alta significación estadística para la fuente de variación dosis, mientras que para el resto de fuentes de variación no hubo significación estadística, el coeficiente de variación fue de 2,56% y el promedio de 2,62 cm.

Dosis	3	3,00E-01	300,20	<0,0001	(Bloque*Dosis)	**	7,80E-01	497,51	<0,0001	(Bloque*Dosis)	**
Bloque*Dosis	6	1,00E-03	0,31	0,9126		NS	1,60E-03	0,68	0,6736		NS
Frecuencia*Dosis	3	1,00E-02	2,51	0,1556		NS	3,00E-02	11,86	0,0062		**
Error	6	3,30E-03					2,30E-03				
Total	23										

CV (%)	1,57	1,02
PROMEDIO (cm)	3,66	4,68

A los 35 DDS hubo significación estadística para frecuencia y alta significación estadística para dosis, las demás fuentes de variación como la interacción de frecuencia y dosis no tuvieron significación estadística. El coeficiente de variación fue de 1,57 % y el promedio llegó a 3,66 cm para los 35 DDS. A los 42 DDS hubo alta significación estadística para frecuencia, dosis y la interacción de frecuencia y dosis. El coeficiente de variación fue de 1,02 % y el promedio llegó 4,68 cm.

Tabla 24. Prueba de Tukey al 5% para Frecuencias en la variable Altura de planta

	14 DDS		21 DDS		35 DDS		42 DDS	
	Medias	Rangos	Medias	Rangos	Medias	Rangos	Medias	Rangos
7 días	0,77	A	1,66	A	3,75	A	4,78	A
15 días	0,74	B	1,57	B	3,58	B	4,58	B

En la tabla 24 se realizó la prueba de Tukey al 5% para la fuente de variación Frecuencias, donde se observa dos rangos de significación en cada período de toma de datos; la frecuencia 1 referida a la aplicación cada 7 días obtuvo los mejores promedios llegando a valores de 0,77 cm a los 14 DDS; 1,66 cm a los 21 DDS, 2,66 cm a los 28 DDS; 3,75 cm a los 35 DDS y 4,78 cm a los 42 DDS. El segundo rango fue para la frecuencia 2 que se refiere a la aplicación cada 15 días llegando a promediar 0,74 cm a los 14 DDS; 1,57 cm a los 21 DDS, 2,57 cm a los 28 DDS; 3,58 cm a los 35 DDS y 4,58 cm a los 42 DDS.

Los promedios obtenidos en la investigación de Campos Rodríguez et al., (2022) menciona que la altura a los 45 días alcanzó los 4,58 para el testigo, de 5,29 cm para el biofertilizante y de 4,94 para el tratamiento químico, estos valores son semejantes a los obtenidos a los 42 DDS llegando a 4,78 cm; corroborando con el autor con promedios similares.

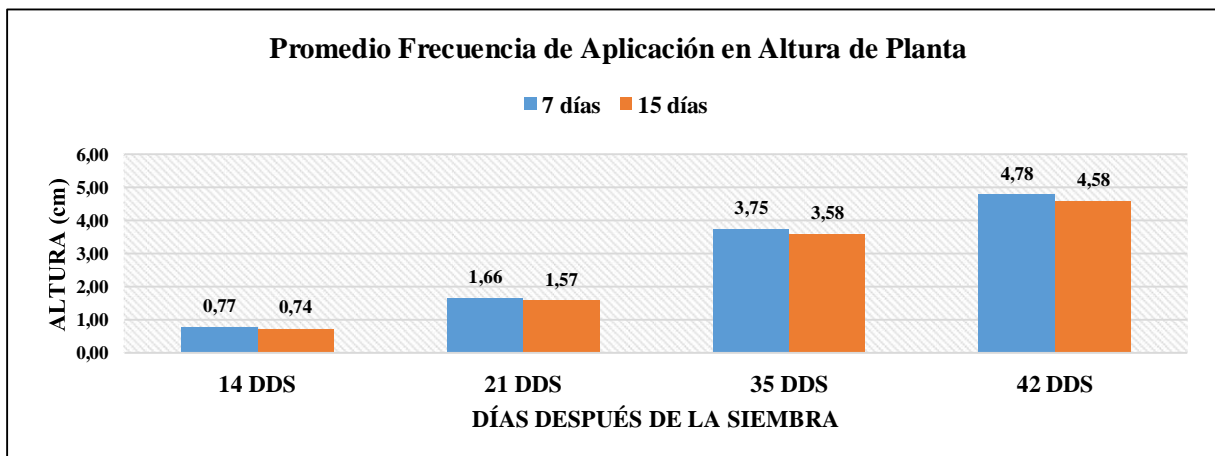


Gráfico 2. Promedios para Frecuencias de aplicación en Altura de planta

Elaborado por: Jiménez, V. (2025)

Tabla 25. Prueba de Tukey al 5% para Dosis en la variable Altura de planta

	14 DDS		21 DDS		28 DDS		35 DDS		42 DDS	
Dosis	Medias	Rangos	Medias	Rangos	Medias	Rangos	Medias	Rangos	Medias	Rangos
6 cc/l	0,84	A	1,74	A	2,83	A	3,98	A	5,18	A
4 cc/l	0,79	B	1,69	A	2,66	B	3,67	B	4,70	B
0 cc/l	0,70	C	1,46		2,43		3,51	C	4,38	D
2 cc/l	0,69	C	1,58	B	2,54	C	3,50	C	4,47	C

En la tabla 25 se observa la prueba de Tukey al 5% realizada para dosis en la variable altura de planta donde la dosis 4 (6 cc l^{-1}) ocupa el primer lugar y el primer rango de significación estadística, obtuvo promedios de 0,84 cm a los 14 DDS; 1,74 cm y 1,69 cm a los 21 DDS; 2,83 cm a los 28 DDS; 3,98 a los 35 DDS y 5,18 cm a los 42 DDS. Ocupando el último rango se ubica a la dosis 2 (2 cc l^{-1}) con promedios de 0,69 cm a los 14 DDS; 2,54 cm a los 28 DDS; 3,50 cm a los 35 DDS y 4,47 cm a los 42 DDS. A los 21 DDS la dosis 1 (0 cc l^{-1}) obtuvo 1,46 cm de la misma manera se ubicó en el último rango.

Se observa que la dosis más alta de 6 cc/l presentó los mejores promedios en comparación a las dosis restantes, Liriano González et al., (2023), menciona que las plantas de lechuga están listas para el trasplante a una altura de 8 a 10 cm, si comparamos los promedios obtenidos no se cumple el parámetro establecido, el autor menciona que la aplicación del biofertilizante elaborado obtuvo un valor de 9 cm a una dosis de 1,5 cc/l, siendo este un hidrolizado de sustancias biológicas de alta energía, a comparación del Biofertilizante que contiene microorganismos como *Bacillus* y *Pseudomonas*.

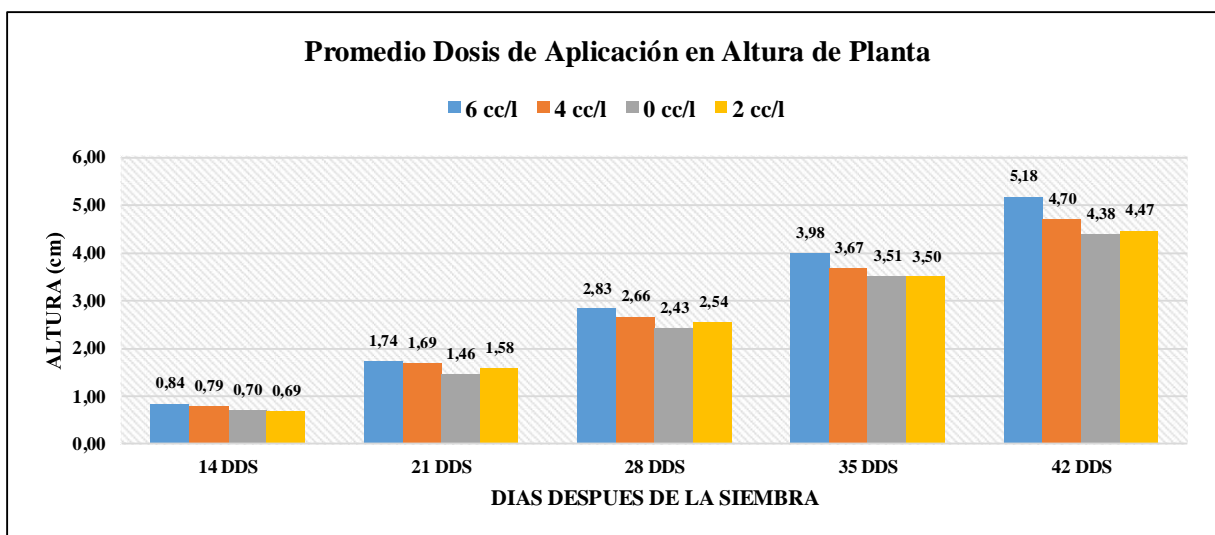


Gráfico 3. Promedios para Dosis de aplicación en Altura de planta

Elaborado por: Jiménez, V. (2025)

Se observa en el gráfico 3 cada uno de los promedios alcanzados en cada período de toma de datos para cada una de las dosis propuestas de la aplicación del biofertilizante Biofertilizante, donde la dosis más alta obtuvo los mejores promedios en comparación con el resto.

Tabla 26. Prueba de Tukey al 5% para Frecuencias x Dosis en la variable Altura de planta

		14 DDS		42 DDS	
Frecuencia	Dosis	Medias	Rangos	Medias	Rangos
7 d	6 cc/l	0,90	A	5,22	A
15 d	4 cc/l	0,79	B	4,63	C
7 d	4 cc/l	0,79	B	4,78	B
15 d	6 cc/l	0,78	B	5,14	A
15 d	0 cc/l	0,71	C	4,18	E
7 d	0 cc/l	0,70	C	4,57	C
7 d	2 cc/l	0,70	C	4,55	C
15 d	2 cc/l	0,69	C	4,38	D

La tabla 26 indica la prueba de Tukey al 5% para la interacción entre las frecuencias y las dosis de aplicación en la variable altura de planta donde la frecuencia de aplicación cada 7 días junto a la dosis 4 (6 ccl⁻¹) a los 14 dds obtuvo el mejor promedio ocupando el primer rango de significación con un valor de 0,90 cm; a los 35 dds, la misma interacción ocupó el primer rango con un promedio de 4,06 cm, mientras que a los 42 dds el primer rango lo compartió la frecuencia 1 de 7 días y la dosis 6 ccl⁻¹ y la frecuencia 2 de 14 días junto a la dosis 6 ccl⁻¹ con promedios de 5,22 cm y 5,14 cm respectivamente. El último rango de significación fue para la frecuencia 2 referida a cada 15 días y la dosis 2 (2 ccl⁻¹) con promedios de 0,69 cm a los 14 dds; 3,40 a los 35 dds y 4,38 a los 42 dds.

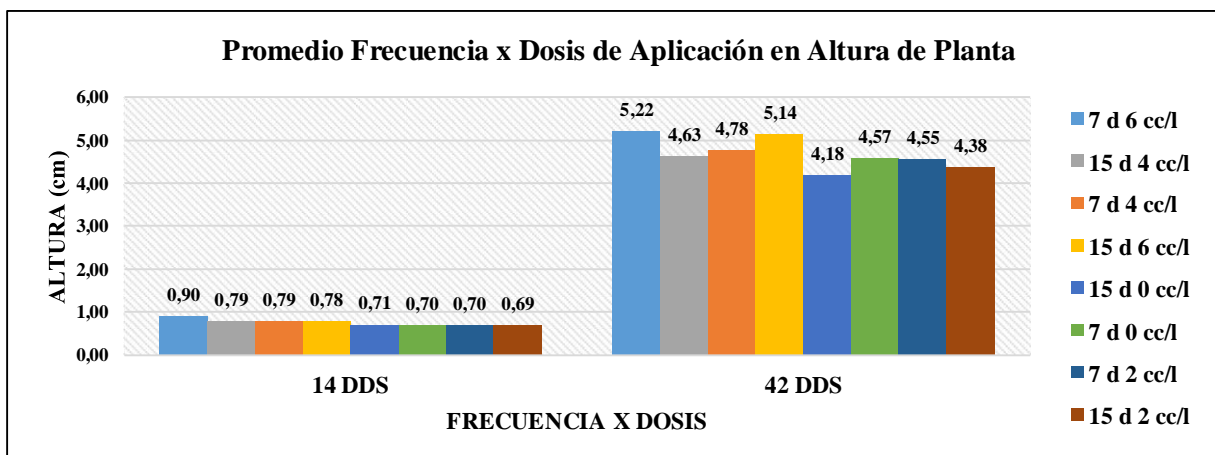


Gráfico 4. Promedios para Frecuencia x Dosis de aplicación en Altura de planta

Elaborado por: Jiménez, V. (2025)

10.4. Variable Número de Hojas

10.4.1. ADEVA para la variable Número de hojas

Tabla 27. Análisis de varianza para la variable Número de hojas

F.V.	21 DDS					28 DDS				
	gl	CM	F	p-valor	(Error)	CM	F	p-valor	(Error)	
Bloque	2	2,00E-02	42,84		0,02 (Blo*Frec)	NS	1,90E-03	0,380,7246	(Blo*Frec)	NS
Frecuencia	1	1,00E-02	16,32		0,06 (Blo*Frec)	NS	1,00E-02	2,140,281	(Blo*Frec)	NS
Bloque*Frecuencia	2	4,30E-04		0,06	0,94	NS	4,90E-03	1,380,3205		NS
Dosis	3	2,60E-03		1,18	0,39 (Bloq*Dosis)	NS	8,30E-04	0,13	0,9385 (Bloq*Dosis)	NS
Bloque*Dosis	6	2,20E-03		0,31	0,91	NS	1,00E-02	1,80,2455		NS
Frecuencia*Dosis	3	1,00E-02		0,75	0,56	NS	1,00E-02	2,610,1463		NS
Error	6	1,00E-02					3,50E-03			
Total	23									
CV (%)			3,42					1,7		
PROMEDIO (cm)			2,49					3,49		
F.V.	35 DDS					42 DDS				
	gl	CM	F	p-valor	(Error)	CM	F	p-valor	(Error)	
Bloque	2	2,00E-02	29,31	0,033	(Blo*Frec)	NS	3,00E-02	46,31	0,0211	(Blo*Frec) NS
Frecuencia	1	1,00E-02	20,83	0,0448	(Blo*Frec)	*	9,40E-04	1,53	0,3416	(Blo*Frec) NS
Bloque*Frecuencia	2	6,50E-04	0,06	0,9416		NS	6,10E-04	0,06	0,9431	NS
Dosis	3	4,40E-03	0,48	0,711	(Bloq*Dosis)	NS	9,90E-01	55,11	0,0001	(Bloq*Dosis) **
Bloque*Dosis	6	1,00E-02	0,87	0,5654		NS	2,00E-02	1,73	0,2605	NS
Frecuencia*Dosis	3	1,00E-02	0,91	0,4906		NS	1,00E-02	0,67	0,602	NS
Error	6	1,00E-02					1,00E-02			
Total	23									
CV (%)			2,30					2,17		
PROMEDIO (cm)			4,50					4,69		

Se observa en la tabla 27 el análisis de varianza realizado a la variable número de hojas donde a los 7 y 14 DDS no hubo datos estadísticos debido a que los valores registrados fueron iguales. A los 21 DDS, 28 DDS no hubo significación estadística para ninguna fuente de variación; mientras que, a los 35 DDS hubo significación únicamente para Frecuencia; a los 42 DDS se

presentó alta significación estadística solamente para dosis, el resto de fuentes de variación no tuvo significancia estadística. Los coeficientes de variación fueron 3,42 % a los 21 DDS; 1,70 % a los 28 DDS; 2,30 % a los 35 DDS y 2,17 a los 42 DDS. Los promedios generales fueron 2,49; 3,49; 4,50 y 4,69 hojas respectivamente para cada uno de los períodos mencionados anteriormente.

10.4.2. Prueba de Tukey al 5% para Frecuencias en la variable Número de Hojas

Tabla 28. Prueba de Tukey al 5% para Frecuencias en la variable Número de hojas

35 DDS		
Frecuencias	Medias	Rangos
15 días	4,53	A
7 días	4,48	B

Se observa en la tabla 28 la Prueba de Tukey realizada a Frecuencias en la variable número de hojas, aparece dos rangos de significación, donde la dosis D4 (6 ccl⁻¹) ocupó el primer rango con el promedio más alto con un valor de 5,3 hojas, seguido de la dosis D3 (4 ccl⁻¹) con un promedio de 4,5 hojas; D1 (0 ccl⁻¹) con 4,48 hojas y la dosis D2 (2 ccl⁻¹) igual con 4,48 hojas se ubicaron en el segundo rango de significación.

Para Wong Barreiro et al., (2023) al evaluar agronómicamente de varias formulaciones en lechuga, menciona que el comportamiento del número de hojas aumenta a medida que pasa las semanas de forma gradual obteniendo entre 2,1 a 2,6 hojas comparándose con los promedios obtenidos se observa que el biofertilizante utilizado en la investigación ayuda a incrementar la formación de hojas. Sánchez González et al., (2024) indica que el número de hojas está directamente correlacionado con el crecimiento y la productividad, obtuvo a los 60 días un promedio de 21,7 a 28, 7 hojas, siendo un promedio mayor debido a que los valores obtenidos solamente se registraron hasta los 42 DDS.

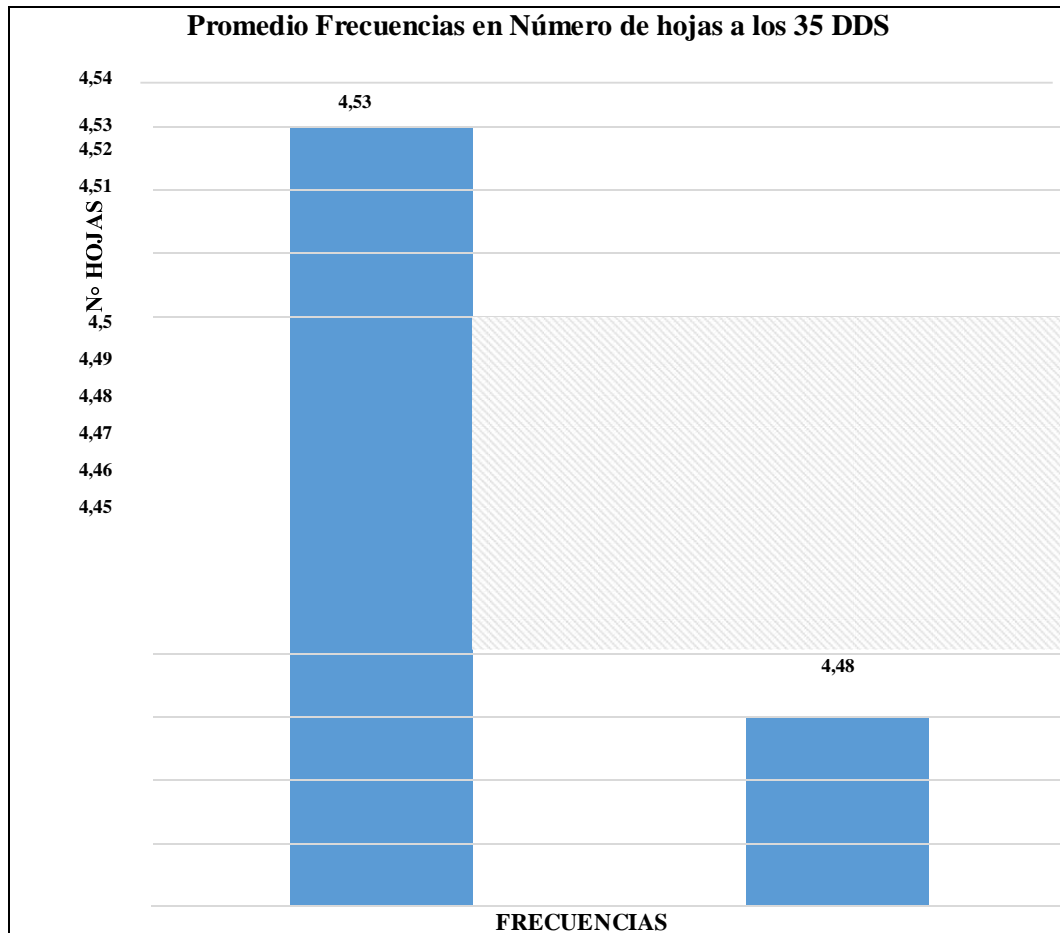


Gráfico 5. Promedios para Frecuencias en la variable Número de hojas a los 35 DDS

Elaborado por: Jiménez, V. (2025)

Tabla 29. Prueba de Tukey al 5% para Dosis en la variable Número de hojas

42 DDS		
Dosis	Medias	Rangos
6 cc/l	5,30	A
4 cc/l	4,50	B
0 cc/l	4,48	B
2 cc/l	4,48	B

Se observa en la tabla 29 la Prueba de Tukey realizada a dosis en la variable número de hojas, aparece dos rangos de significación, donde la dosis D4 (6 ccl⁻¹) ocupó el primer rango con el promedio más alto con un valor de 5,3 hojas, seguido de la dosis D3 (4 ccl⁻¹) con un promedio de 4,5 hojas; D1 (0 ccl⁻¹) con 4,48 hojas y la dosis D2 (2 ccl⁻¹) igual con 4,48 hojas se ubicaron en el segundo rango de significación.

Chávez-Merino et al., (2024) reporta que con la aplicación de un biofertilizante de biol a dosis de 10 cc/l donde tuvo diferencias significativas llegando a obtener 23,8 hojas a los 45 días siendo muy superior a los reportados en la investigación donde se alcanzó solamente hasta 5,3 hojas con una dosis de 6 cc/l.

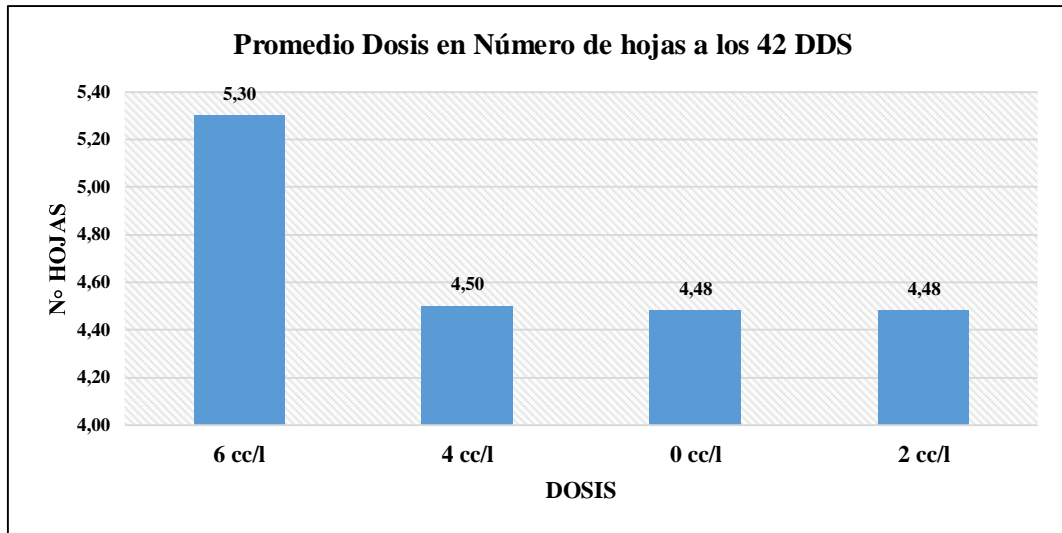


Gráfico 6. Promedios para Frecuencias en la variable Número de hojas a los 42 DDS

Elaborado por: Jiménez, V. (2025)

10.5. Variable longitud de raíz

10.5.1. ADEVA para la variable Longitud de raíz

Tabla 30. Análisis de varianza para la variable Longitud de raíz

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Bloque	0,49	2	0,25	13,70	0,0680	(Bloque*Frecuencia) NS
Frecuencia	10,01	1	10,01	558,72	0,0018	(Bloque*Frecuencia) **
Bloque*Frecuencia	0,04	2	0,02	0,220	0,8117	NS
Dosis	0,15	3	0,05	1,000	0,4547	(Bloque*Dosis) NS
Bloque*Dosis	0,31	6	0,05	0,620	0,7111	NS
Frecuencia*Dosis	0,43	3	0,14	1,730	0,2591	NS
Error	0,5	6	0,08			
Total	11,93	23				

CV (%)	4,48
PROMEDIO	6,4

En la tabla 30 se realizó el análisis de varianza para la variable longitud de raíz, hubo alta significación estadística solamente para la fuente de variación frecuencia, el resto de fuentes de variación no tuvieron significación estadística. El coeficiente de variación fue de 4,48% y el promedio general fue de 6,4 cm.

10.5.2. Prueba de Tukey al 5% para Frecuencias en la variable Longitud de raíz

Tabla 31. Prueba de Tukey al 5% para Frecuencias en la variable Longitud de raíz

Frecuencia Medias		Rangos
15 días	7,08	A
7 días	5,78	B

Al realizar la prueba de Tukey al 5% para la fuente de variación frecuencia hubo dos rangos de significación, donde la frecuencia 2 que se refiere a la aplicación cada 15 días ocupó el primer rango con promedio de 7,18 cm, el último rango de significación fue para la frecuencia 1, es decir, cada 7 días con un promedio de 5,78 cm.

Sánchez González et al., (2024) reporta una longitud radicular entre 11,12 a 13,75 cm con una dosis de 3l/ha de biofertilizante foliar a los 60 días después de la siembra mientras que el reporte de la presente investigación a los 15 días obtuvo un promedio de 7,08 cm; Lau et al., (2020) menciona que las microorganismos *Bacillus* y *Pseudomonas*, producen ácido indolacético en cantidades de 10,5 µg/ml, siendo relacionados específicamente en el crecimiento del sistema radicular y estimulando la producción de raíces laterales.

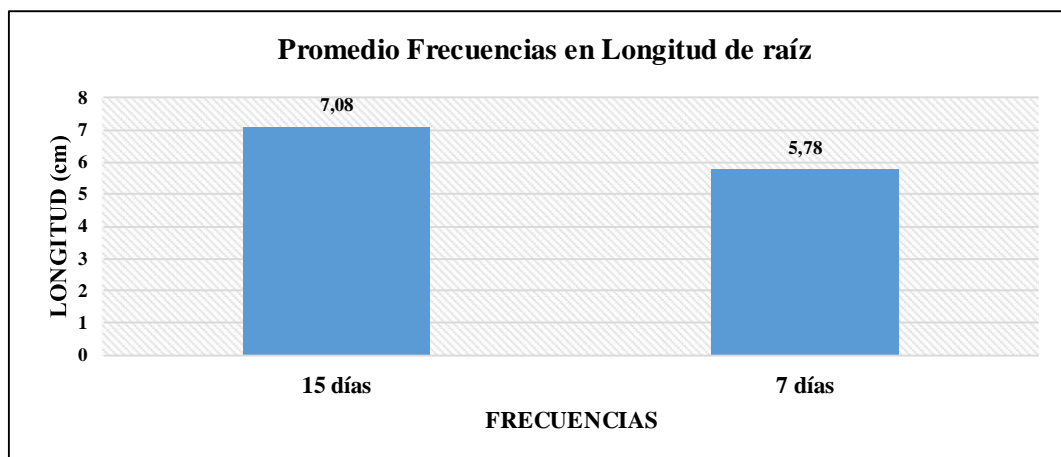


Gráfico 7. Promedios para Frecuencia en la variable Longitud de raíz

Elaborado por: Jiménez, V. (2025)

En el gráfico 6 se visualiza los promedios alcanzados por las frecuencias de aplicación donde la frecuencia cada 15 días obtuvo el mejor promedio en comparación con la frecuencia 1 cada 7 días que se ubicó en el último lugar.

10.6. Variable Volumen de raíz

Tabla 32. Análisis de varianza para la variable Volumen de raíz

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)	
Bloque	0,03	2	0,01	0,72	0,5811	(Bloque*Frecuencia)	
Frecuencia	0,17	1	0,17	9,3	0,0928	(Bloque*Frecuencia)	NS
Bloque*Frecuencia	0,04	2	0,02	0,71	0,5276		NS
Dosis	0,7	3	0,23	8,36	0,0146	(Bloque*Dosis)	*
Bloque*Dosis	0,17	6	0,03	1,11	0,451		NS
Frecuencia*Dosis	0,23	3	0,08	3,01	0,1166		NS
Error	0,15	6	0,03				
Total	1,47	23					
CV (%)		10,81					
PROMEDIO (cm³)		1,4					

En la tabla 32 se observa el análisis de varianza para la variable volumen de raíz, hubo significación estadística para la fuente de variación dosis y para el resto de fuentes de variación no hubo significación estadística. El coeficiente de variación fue de 10,81% y el promedio general fue de 1,4 cm³.

10.6.1. Prueba de Tukey al 5% para Dosis en la variable Volumen de raíz

Tabla 33. Prueba de Tukey al 5% para Dosis en la variable Volumen de raíz

Dosis Medias Rangos		
6 cc/l	1,62	A
4 cc/l	1,58	A
2 cc/l	1,48	A B

0 cc/l 1,18 B

En la tabla 33 se observa la prueba de Tukey al 5% realizada a dosis en la variable volumen de raíz, se muestra tres rangos de significación, las dosis D4 (6 cc/l) y D3 (4 cc/l) ocuparon el primer rango de significación con un promedio de 1,62 y 1,58; mientras que la dosis D2 (2 cc/l) en el segundo rango de significación presentó un promedio de 1,48; la dosis D1 (0 cc/l) se ubicó en el último rango con un promedio de 1,18.

Vargas-Martinez et al.,(2023) indica que los efectos observados en los tratamientos con microorganismos donde se aplicaron un consorcio de PGPR y bacterias fijadoras de N el resultado fue que las bacterias aumentaron el número de puntas de raíces y ramificaciones en un 65% en comparación de control no inoculado. Sin embargo, los valores del volumen de raíz pueden estar influenciados por el método de separación de la raíz del sustrato, ya que el crecimiento de raíces en contenedores generalmente se caracteriza por una extensa colonización de raíces en el borde del contenedor.

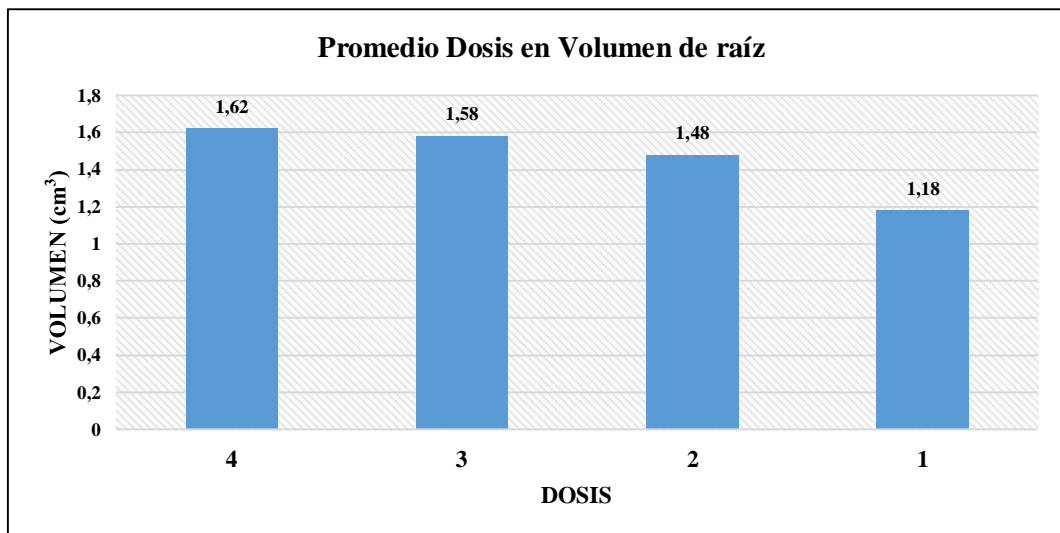


Gráfico 8. Promedios para Dosis en la variable Volumen de raíz

Elaborado por: Jiménez, V. (2025)

10.7. Variable Clorosis

Para la evaluación de la variable clorosis, se tomó como referencia la escala presentada en la tabla 19 adaptada de Carpena-Artes et al., (1995), donde se valoró con el valor de 1 (planta completamente morada) a las plantas muestreadas de cada tratamiento, siendo esta valoración igual en la toma de datos, al realizar el análisis de varianza, los resultados arrojados al ser iguales no arrojó ningún resultado significativo.

Tratamientos	15	0,65	1,1	0,400	ns	2,77	1,06	0,430	ns	3,53	1,44	0,190	ns
Repeticiones	2	1,78	2,99	0,066		4,64	1,77	0,188		2,81	1,15	0,331	
Frecuencia (A)	1	0,5	0,83	0,369	ns	0,87	0,33	0,569	ns	0,87	0,36	0,556	ns
Dosis (B)	3	0,23	0,38	0,766	ns	5,81	2,22	0,107	ns	5,81	2,37	0,090	ns
Cobertura (C)	1	0,23	0,38	0,540	ns	9,38	3,58	0,068	ns	9,38	3,83	0,060	ns
A*B	3	1,29	2,15	0,115	ns	0,75	0,29	0,835	ns	0,75	0,31	0,821	ns
A*C	1	0,01	0,02	0,898	ns	0,15	0,06	0,813	ns	0,15	0,06	0,806	ns
B*C	3	0,56	0,93	0,437	ns	2,9	1,11	0,362	ns	2,9	1,18	0,333	ns
A*B*C	3	0,94	1,57	0,218	ns	0,92	0,35	0,789	ns	0,92	0,38	0,771	ns
Error	30	0,6				2,62				2,45			

11. RESULTADOS Y DISCUSIÓN FASE CAMPO

11.1. Variable Altura de Planta

Tabla 34. ADEVA para la variable Altura de planta

		47											
		14,32											
		15 DDT			30 DDT			45 DDT					
F.V.	gl	CM	F	p-valor	CM	F	p-valor	CM	F	p-valor			
Total													
CV (%)	17,96								12,9				
PROMEDIO (cm)	5,39				9,01				12,13				

Se observa en la tabla 34 el análisis de varianza para la variable altura de planta en campo donde no hubo significación estadística para ninguna fuente de variación en ningún período de tiempo de toma de datos. El coeficiente de variación fue de 14,32 % y el promedio fue de 5,39 cm para los 15 DDT; 17,96 % y promedio de 9,01 cm a los 30 DDT y 12,9 % con un promedio de 12,13 cm.

11.2. Variable Número de Hojas

Se observa en la tabla 35 el análisis de varianza para la variable número de hojas en campo donde no hubo significación estadística para ninguna fuente de variación a los 15 DDT. El coeficiente de variación fue de 8,67 % y el promedio fue de 5,28 hojas

A los 30 DDT se observa significación estadística únicamente para el factor C referido a Cobertura, el resto de fuentes de variación no tuvo significación estadística; el coeficiente de variación fue de 12,76 % y el promedio alcanzado fue de 7,44 hojas.

A los 45 DDT se observa que hubo significación estadística para las fuentes de variación Tratamientos, Dosis y Coberturas, las demás fuentes de variación no tuvieron significación estadística. El coeficiente de variación fue de 10,82% y el promedio fue de 11,56 hojas.

Tratamientos	15	0,16	0,77	0,697	ns	1,45	1,61	0,131	ns
Repeticiones	2	0,36	1,73	0,1947		1,99	2,2	0,128	
Frecuencia (A)	1	8,30E-04	0,004	0,950	ns	2,10E-04	0,0002	0,988	ns 52
Dosis (B)	3	0,09	0,4290	0,734	ns	2,47	2,7444	0,060	ns
Cobertura (C)	1	0,56	2,6670	1,113	ns	8,09	8,9889	0,005	*
A*B	3	0,07	0,3330	0,801	ns	0,13	0,1444	0,932	ns
A*C	1	0,1	0,4760	0,495	ns	0,2	0,2222	0,641	ns
B*C	3	0,04	0,1900	0,902	ns	1,79	1,9889	0,137	ns
A*B*C	3	0,38	1,8100	0,167	ns	0,09	0,1000	0,959	ns
Error	30	0,21				0,9			

Tabla 35. ADEVA para la variable Número de hojas

		47				8,67		
		15 DDT				30 DDT		
F.V.	gl	CM	F	p-valor	CM	F	p-valor	
Total								
CV (%)	12,76	PROMEDIO (N° Hojas)		5,28	7,44			
		45 DDT						
F.V.	gl	CM	F	p-valor				
Tratamientos	15	4,17	2,66	0,0109	*			
Repeticiones	2	0,84	0,54	0,5908				
Frecuencia (A)	1	0,23	0,1465	0,705	ns			
Dosis (B)	3	6	3,8217	0,020	*			
Cobertura (C)	1	25,96	16,5350	0,0003	*			
A*B	3	1,31	0,8344	0,486	Ns			
A*C	1	3,36	2,1401	0,154	Ns			
B*C	3	3,59	2,2866	0,099	Ns			
A*B*C	3	0,09	0,0573	0,982	Ns			
Error	30	1,57						
Total	47							
CV (%)	8,67	10,82						
PROMEDIO (N° Hojas)	5,28	11,56						

11.2.1. Prueba de Tukey al 5% para Tratamientos en la variable de Número de Hojas a los 45 DDT

En la tabla 36 se observa las medias obtenidas al realizar la Prueba de Tukey al 5% a los tratamientos en la variable número de hojas a los 45 DDT, donde hubo cinco rangos de significación, el primer rango fue para el tratamiento T12 (7 días + 6 ccl⁻¹ + Sin Acolchado), alcanzando un promedio de 13 hojas, en segundo rango se ubicó el tratamiento T10 (7 días + 2

ccl⁻¹ + Sin Acolchado) con un promedio de 12,67 hojas, el resto de tratamientos se ubicaron en un rango de 12,43 hasta 9,13 hojas; finalmente, el tratamiento T8 (15 días + 6 ccl⁻¹ + Acolchado) ocupó el último rango con un promedio de 8,80 hojas.

Tabla 36. Prueba de Tukey al 5% para Tratamientos en la variable Número de hojas a los 45 DDT

Tratamientos Medias Rangos		
T12	13,00	A
T10	12,67	A B
T11	12,43	A B C
T9	12,43	A B C
T14	12,33	A B C
T13	12,33	A B C
T15	12,10	A B C
T5	12,00	A B C
T7	11,67	A B C
T6	11,63	A B C
T1	11,27	A B C
T3	11,20	A B C
T16	11,10	A B C
T2	10,93	A B C
T4	9,13	B C
T8	8,80	C

Filippini y Greco (2019) mencionan que aplicaron un biofertilizante a base de purín de ortigas (*Urtica dioica*) en el cultivo de lechuga donde obtuvieron promedios para el número de hojas de 27,5 hojas a la cosecha, siendo notablemente superior al promedio obtenido en la investigación que fue de 13 hojas.

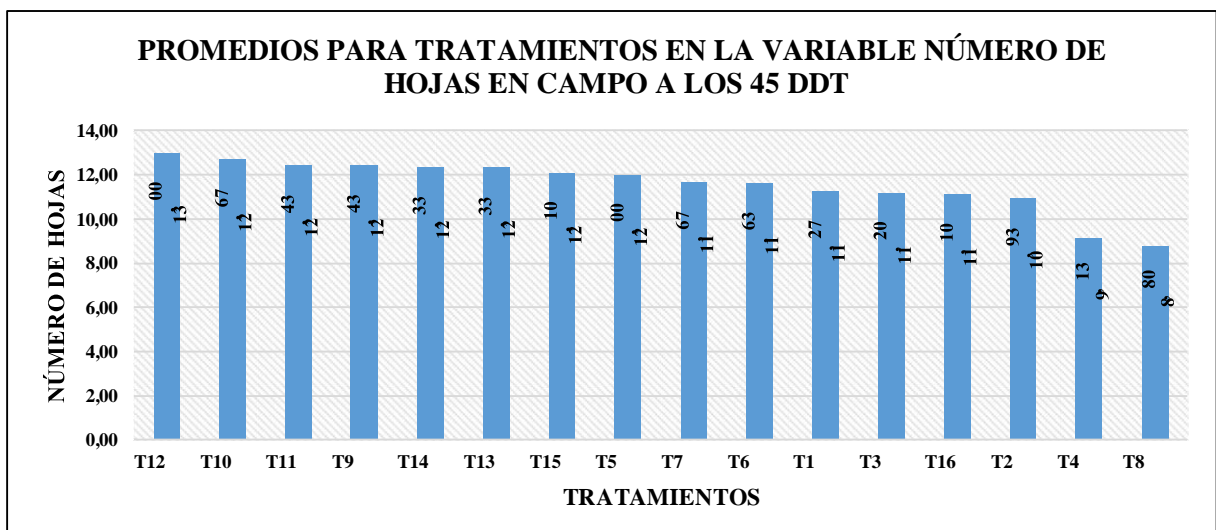


Gráfico 9. Promedios para Tratamientos en la variable Número de hojas a los 45 DDT

Elaborado por: Jiménez, V. (2025)

11.2.2. Prueba de Tukey al 5% para Dosis en la variable de Número de Hojas a los 45 DDT

En la tabla 37 se observa las medias obtenidas al realizar la Prueba de Tukey al 5% a las dosis en la variable número de hojas a los 45 DDT, donde hubo tres rangos de significación, el primer rango fue para la dosis D4 (6 ccl⁻¹), alcanzando un promedio de 12,01 hojas, en el segundo rango se ubicaron las dosis D3 (4 ccl⁻¹) con un promedio de 11,89 hojas y la dosis D2 (2 ccl⁻¹) con promedio de 11,85 hojas y en el último rango se ubicó la dosis D1 (0 ccl⁻¹) con un promedio de 10,51 hojas

Tabla 37. Prueba de Tukey al 5% para Dosis en la variable Número de hojas a los 45 DDT

Dosis	Medias	Rangos	
6 cc l ⁻¹	12,01	A	
4 cc l ⁻¹	11,89	A	B
2 cc l ⁻¹	11,85	A	B
0 cc l ⁻¹	10,51		B

Funes et al., (2019) obtuvo promedios de 10,4 hojas con la aplicación de bocashi; 10,55 hojsa con la aplicación de bocashi enriquecido con microorganismos eficientes, mientras que el tratamiento control llegó a promediar 9,20 hojas, la aplicación fue a una dosis de 25 gramos por planta de lechuga; valores similares se observan en los resultados obtenidos en la investigación donde la dosis más lata promedio 12,01 hojas; corroborando con lo indicado por el investigador.

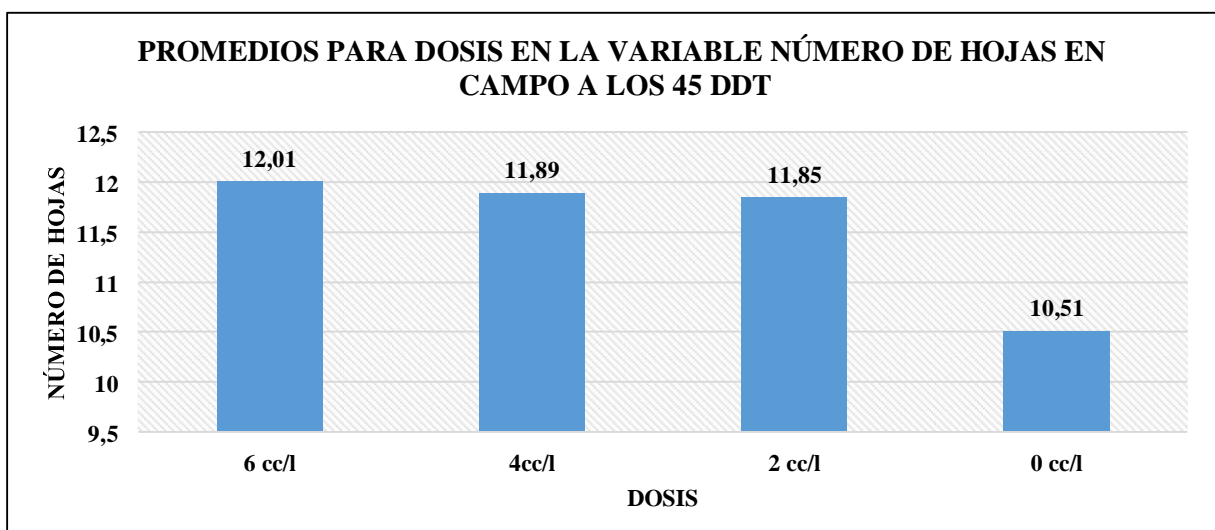


Gráfico 10. Promedios para Dosis en la variable Número de hojas a los 45 DDT

Elaborado por: Jiménez, V. (2025)

11.2.3. Prueba de Tukey al 5% para Cobertura en la variable de Número de Hojas a los 30 y 45 DDT

Tabla 38. Prueba de Tukey al 5% para Cobertura en la variable Número de hojas a los 45 DDT

	30 DDT		45 DDT	
Cobertura	Medias	Rangos	Medias	Rangos
Sin Cobertura	7,85	A	12,3	A
Con Cobertura	7,03	B	10,83	B

En la tabla 38 se observa las medias obtenidas al realizar la Prueba de Tukey al 5% para el factor cobertura en la variable número de hojas a los 30 y 45 DDT, donde hubo dos rangos de significación, el primer rango fue para cultivo sin cobertura, alcanzando promedios de 7,85 hojas a los 30 DDT y 12,3 hojas a los 45 DDT, en el segundo rango se ubicó el cultivo con cobertura con un promedio de 7,03 hojas a los 30 DDT y 10,83 hojas a los 45 DDT.

Salas et al., (2008) reporta haber obtenido un promedio de 26 hojas al utilizar cubierta plástica y 19,33 hojas sin cobertura en lechuga crespita cv. Hortencia a los 45 DDT, estos valores son superiores a los promediados en el ensayo, donde a los 45 DDT se obtuvo 12,3 hojas sin cobertura.

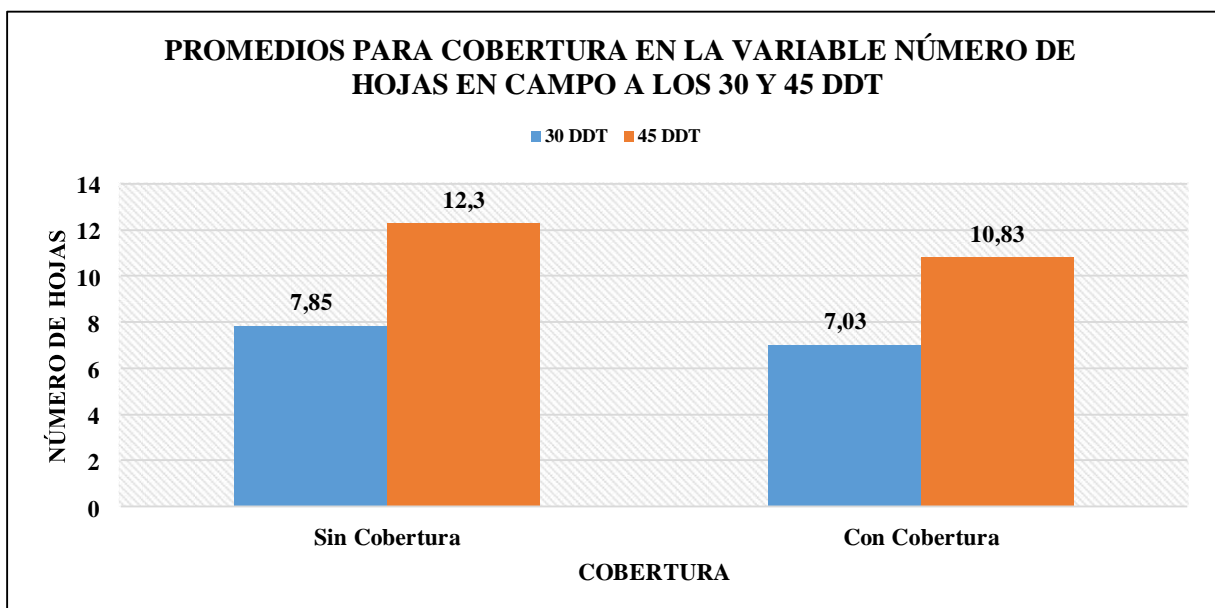


Gráfico 11. Promedios para Cobertura en la variable Número de hojas a los 45 DDT Elaborado

por: Jiménez, V. (2025)

11.3.1. Prueba de Tukey al 5% para Tratamientos en la variable Porcentaje de malezas a los 15 y 45 DDT

En la tabla 40 se observa los promedios obtenidos al realizar la Prueba de Tukey al 5% a los tratamientos en la variable porcentaje de malezas a los 15 DDT, donde hubo tres rangos de significación, el primer rango fue compartido por los tratamientos T5 (15 días + 0 ccl⁻¹ + Acolchado), T6 (15 días + 2 ccl⁻¹ + Acolchado) y T8 (15 días + 6 ccl⁻¹ + Acolchado) alcanzando un promedio de 0,67 % de presencia de malezas, el segundo rango fue compartido por los tratamientos en un rango de porcentaje que va desde 1,33 hasta 2,67 % en la presencia de malezas, estos tratamientos fueron con acolchado plástico, mientras que el último rango fue para los tratamientos donde no se colocó acolchado plástico presentando un rango de porcentaje que va desde 21,67 hasta 51,67 %.

A los 45 DDT se presentaron tres rangos de significación donde el tratamiento T6 (15 días + 2 ccl⁻¹ + Acolchado) ocupó el primer rango de significación estadística con un promedio de 0%, es decir, no hubo presencia de malezas, el segundo rango fue compartido por los tratamientos donde se colocó el acolchado plástico con un rango de promedios de 0,67 hasta 1,67 %, el último rango al igual que en el período mencionado anteriormente fue compartido por todos los tratamientos donde no se aplicó la cobertura plástica, con promedios que fueron desde 13,33 hasta el 40 % de presencia de malezas en el cultivo.

Una de las propiedades de utilizar coberturas plásticas es el impedimento para el desarrollo y crecimiento de malezas que compiten por nutrientes y agua con el cultivo de lechuga, mejorando la eficiencia del uso del agua, la fijación de carbono y la cantidad de materia orgánica en el suelo (Zambrano et al., 2022). Se puede observar claramente los resultados obtenidos donde el porcentaje de presencia de malezas es inferior en los tratamientos con cobertura en comparación con los tratamientos que no fueron cubiertos con el plástico negro.

Tabla 40. Prueba de Tukey al 5% para Tratamientos en la variable Porcentaje de malezas a los 15 y 45 DDT

Tratamientos	15 DDT			45 DDT		
	Medias	Rangos		Medias	Rangos	
T5	0,67	A		0,67	A	B
T6	0,67	A		0,00	A	
T8	0,67	A		0,67	A	B
T7	1,33	A	B	1,00	A	B
T3	1,33	A	B	0,67	A	B

T2	1,67	A	B	1,67	A	B
T1	2,00	A	B	0,67	A	B
T4	2,67	A	B	1,33	A	B
T9	21,67		B	33,33		B
T15	23,33		B	23,33		B
T11	33,33		B	31,67		B
T12	35,00		B	13,33		B
T14	36,67		B	13,33		B
T13	40,00		B	33,33		B
T16	43,33		B	40,00		B
T10	51,67		B	23,33		B

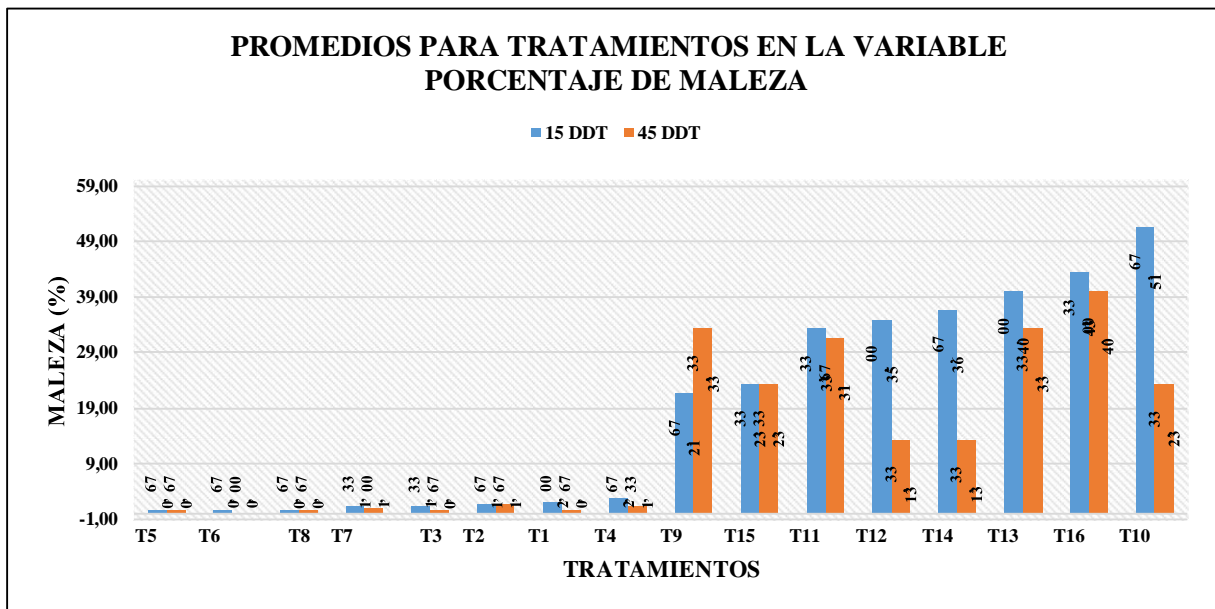


Gráfico 12. Promedios para Tratamientos en la variable Porcentaje de malezas a los 15 y 45 DDT Elaborado por: Jiménez, V. (2025)

11.3.2. Prueba de Tukey al 5% para Cobertura en la variable de Porcentaje de malezas a los 15 y 45 DDT

Tabla 41. Prueba de Tukey al 5% para Cobertura en la variable Porcentaje de malezas a los 15 y 45 DDT

Cobertura	15 DDT		45 DDT	
	Medias	Rangos	Medias	Rangos
Con Cobertura	1,38	A	0,83	A

Sin cobertura 35,63 B 26,46 B

La tabla 41 se informa los resultados obtenidos al realizar la prueba de Tukey al 5% para el factor Cobertura donde a los 15 DDT se presentó dos rangos de significación, el primer rango lo ocupó el acolchado plástico con un porcentaje de 1,38% en presencia de malezas en el cultivo, mientras que el segundo rango fue para el cultivo sin acolchado plástico con un promedio de 35,63 %.

A los 45 DDT se presentaron dos rangos de significación donde el cultivo con cobertura alcanzó el primer rango de significancia con un promedio de 0,83 %, mientras que el cultivo sin cobertura ocupó el ultimo rango con un promedio de 26,46 % en presencia de malezas. Iqbal et al., (2020) reporta que el acolchado es una herramienta importante para controlar las poblaciones de malezas, mencionando que se reduce hasta un 92% de la población de malezas en diferencia con el suelo sin acolchado, corroborando con los resultados obtenidos donde el suelo con cobertura o acolchado a los 15 DDT presentó un promedio de presencia de 1,38% donde hubo una reducción de 98,62% y a los 45 DDT tuvo presencia de 0,83% obteniendo un control del 99,17%.

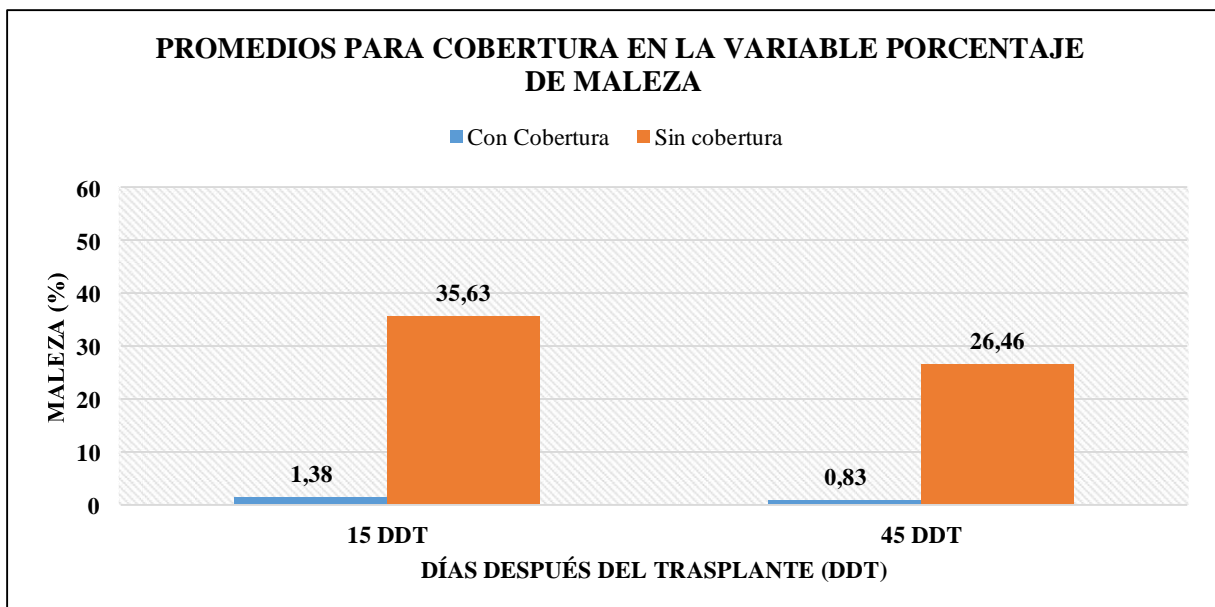


Gráfico 13. Promedios para Cobertura en la variable Porcentaje de malezas a los 15 y 45 DDT

Elaborado por: Jiménez, V. (2025)

11.4. Variable Incidencia de plagas y enfermedades

En esta variable no se presenta el análisis de varianza debido a que no se registró ningún dato medible para la incidencia de plagas y enfermedades, esto debido a que ninguna de las plantas de los tratamientos propuestos tuvo ataque; por lo tanto, la incidencia fue de cero.

11.5. Variable Clorosis

Para esta variable se tomó en cuenta la escala de Carpena-Artes et al. (1995) mediante el grado de clorosis visual, tomando como referencia el ítem 1 que tiene como descriptor a la planta totalmente morada para todos los tratamientos evaluados; por lo que no existe análisis de varianza.

11.6. Variable Longitud de raíz

En la tabla 42 se indica el análisis de varianza para la variable longitud de raíz, donde solamente hubo significación estadística para el factor C (cobertura), el resto de fuentes de variación no tuvieron significación estadística. El coeficiente de variación fue de 19,27% y el promedio general de la variable fue de 8,73 cm.

Tabla 42. ADEVA para la variable Longitud de raíz a los 52 DDT

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	60,77	15	4,05	1,43
Tratamientos	0,1966	ns							
Repeticiones	3,97	2	1,99	0,7	0,5041				
Frecuencia (A)	0,06	1		0,06	0,02120141	0,88520555	ns		
Dosis (B)	5,09	3	1,7	0,60070671	0,61958209	ns			
Cobertura (C)	40,92			1 40,92	14,459364	0,00065501	*		
A*B	3,71	3		1,24	0,43816254	0,72733477	ns		
A*C	0,85	1		0,85	0,30035336	0,58771614	ns		
B*C	9,2	3		3,07	1,08480565	0,37053121	ns		
A*B*C	0,93	3		0,31	0,10954064	0,95386243	ns		
Error	85,01	30	2,83						
Total	149,74	47							
CV (%)	19,27								
PROMEDIO (cm)	8,73								

11.6.1. Prueba de Tukey al 5% para Cobertura en la variable de Longitud de raíz a los 52 DDT

Tabla 43. Prueba de Tukey al 5% para Cobertura en la variable Longitud de raíz a los 52 DDT

En la tabla 44 se indica el análisis de varianza para la variable volumen de raíz, donde no hubo significación estadística para ninguna de las fuentes de variación El coeficiente de variación fue de 17,15% y el promedio general de la variable fue de 2,36 cm³.

11.8. Variable Peso de la lechuga de hoja

Tabla 45. ADEVA para la variable Peso de la lechuga de hoja a los 52 DDT

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Tratamientos	5617,94	15	374,53	0,93	0,5465	ns
Repeticiones	1609,41	2	804,7	1,99	0,1541	
Frecuencia (A)	82,16	1	82,16	0,2033613	0,65526403	ns
Dosis (B)	1386,7		3 462,23	1,14410534	0,34726671	ns
Cobertura (C)	406	1	406	1,00492562	0,32413923	ns
A*B	449,1	3	149,7	0,37053538	0,77480663	ns
A*C	25,23	1	25,23	0,06244895	0,80436965	ns
B*C	2594,75		3 864,92	2,1408381	0,11588041	ns
A*B*C	674		3 224,67	0,5561001	0,64807688	ns
Error	12120,33	30	404,01			
	<u>19347,68</u>		Total			<u>47</u>
	17,18					
CV (%)						
PROMEDIO (g)	54,06					

En la tabla 45 se indica el análisis de varianza para la variable Peso de la lechuga de hoja, donde no hubo significación estadística para ninguna de las fuentes de variación El coeficiente de variación fue de 17,18% y el promedio general de la variable fue de 54,06 gramos.

11.9. Variable Grado de madurez

Para esta variable se tomó en cuenta la escala de Carpena-Artes et al. (1995) mediante el grado de clorosis visual, tomando como referencia el ítem 1 que tiene como descriptor a la planta totalmente morada para todos los tratamientos evaluados; por lo que no existe análisis de varianza.

12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

12.1. Conclusiones

- Se determinó que las frecuencias y dosis de aplicación del biofertilizante enriquecido con microorganismos se concluye que el T4 - D4 (6 ccl-1) y la frecuencia de aplicación cada 7 días resultó obtener los mejores resultados, en la variable porcentaje de germinación obtuvo 95,67%, en altura de planta con 5,22 cm; número de hojas 5,31 hojas; en volumen de raíz 1,62 cm³; y longitud de raíz 7,08 cm.
- Se estableció que en la fase de campo la mejor dosis fue el T12 - D4 (6 ccl⁻¹) al igual que la frecuencia de aplicación del biofertilizante cada 7 días, presentando promedios superiores en número de hojas y porcentaje de presencia malezas con 0,67 %. En segundo lugar, se indica que el tratamiento con mejores resultados fue la frecuencia de aplicación cada 7 días con la dosis D2 (2 ccl-1) en número de hojas junto a la dosis D3 (4 ccl-1) con promedios de 12,67 hojas y 11,87 hojas respectivamente.

12.2. Recomendaciones

- Se recomienda aplicar el biofertilizante enriquecido con microorganismos a una dosis de 6 cc/l y aplicado cada 7 días en el cultivo de lechuga de hoja debido a que presenta un incremento en el desarrollo del vegetal siendo una alternativa tecnológica para la aplicación en cualquier cultivo de hortalizas. Además, para futuras investigaciones se recomienda evaluar la humedad y temperatura del suelo con acolchado plástico.

13. BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, J., Santoyo, G., & Rocha, M. del C. (2020). *Pseudomonas fluorescens*: Mecanismos y aplicaciones en la agricultura sustentable. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 16(1), 1–10. <https://revista.itson.edu.mx/index.php/rlrn/article/view/286/260>
- Blake, C., Christensen, M. N., & Kovacs, A. T. (2021). Molecular aspects of plant growth promotion and protection by *Bacillus subtilis*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 34(1), 15–25. <https://doi.org/10.1094/MPMI-08-20-0225-CR/ASSET/IMAGES/LARGE/MPMI-08-20-0225-CRF2-1608308485950.JPEG>
- Cabra, T., Rodríguez, C., Villota, C., Tapasco Alzate, O. A., & Hernández Rodríguez, A.

- (2017). Efecto de *Bacillus* sobre la germinación y crecimiento de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Acta Biologica Colombiana*, 22(1), 37–44. <https://doi.org/10.15446/abc.v22n1.57375>
- Campos Rodríguez, R., Torres-Contreras, A., Castro-Brenes, A. G., & Calderón-Cerdas, R. (2022). Capacidad productiva de un fertilizante orgánico elaborado a partir de residuos sólidos para el cultivo de lechuga. *Revista Tecnología En Marcha*, 36(1), 3–17. <https://doi.org/10.18845/tm.v36i1.5823>
- Carpesa-Artes, O., Moreno, J. J., Lucena, J. J., & Carpena-Ruiz, R. O. (1995). Response to iron chlorosis of different hydroponically grown Citrus varieties. *Iron Nutrition in Soils and Plants*, 165(2), 147–151. https://doi.org/10.1007/978-94-011-0503-3_21
- Chávez-Merino, I. P., Gutiérrez-Collao, J. E., Saldaña-Chafloque, C. F., Palomino-Santos, E. R., Chavarría-Márquez, E. Y., & Pantoja-Medina, B. (2024). Use of biol with fish waste in the cultivation of *Lactuca sativa* in Huancavelica. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 11(2), 30–36. <https://doi.org/https://doi.org/10.53287/iddb9973jm14n>
- David, B. V., Chandrasehar, G., & Selvam, P. N. (2018). *Pseudomonas fluorescens*: A Plant Growth-Promoting Rhizobacterium (PGPR) With Potential Role in Biocontrol of Pests of Crops. In *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering: Crop Improvement through Microbial Biotechnology* (pp. 221–243). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63987-5.00010-4>
- Daza-Martínez, Y. M., Almaraz-Suarez, J. J. ., Rodríguez-Mendoza, M. N., Angulo-Castro, A., & Silva-Rojas, H. V. (2018). Aislamiento de rizobacterias asociadas a tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y su potencial para promover crecimiento vegetal. *Informacion Técnica Económica Agraria*, 118, 345–360. <https://doi.org/10.12706/itea.2021.036>
- Filippini, M. F., & Greco, S. (2019). *Libro de Resúmenes Otra agricultura es posible : Cultivando interacciones para el mañana* (M. F. Filippini & S. Greco (eds.); 1a Ed.). Universidad Nacional de Cuyo. Secretaría de Ciencia, Técnica y Posgrado.
- Funes, I., Fernández, S., Hernández, A., Aroca, M., González, C., Arias, F., Escoriaza, G., Longone, V., Pisi, G., Martínez, L., & Uliarte, M. (2019). Elaboración de compost, té de compost y biol para su uso como fertilizantes y controladores de enfermedades en plantas. *Researchgate.Net*, 1014–1018. https://www.researchgate.net/profile/Ivan-FunesPinter/publication/337821762_Elaboracion_de_compost_te_de_compost_y_biol_p

- ara_s
u_uso_como_fertilizantes_y_controladores_de_enfermedades_en_plantas/links/5dec0e8092851c83646b6819/Elaboracion-de-compost-te-de-
- González-León, Y., Ortega-Bernal, J., Anducho-Reyes, M. A., & Mercado-Flores, Y. (2022). *Bacillus subtilis* y *Trichoderma*: Características generales y su aplicación en la agricultura. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 25, 1–14. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.520>
- Guo, F., Chen, Q., Liang, Q., Zhang, M., Chen, W., Chen, H., Yun, Y., Zhong, Q., & Chen, W. (2021). Antimicrobial Activity and Proposed Action Mechanism of Linalool Against *Pseudomonas fluorescens*. *Frontiers in Microbiology*, 12, 562094. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2021.562094/BIBTEX>
- Hashem, A., Tabassum, B., & Fathi Abd_Allah, E. (2019). *Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(6), 1291–1297. <https://doi.org/10.1016/J.SJBS.2019.05.004>
- Iqbal, R., Aown, M., Raza, S., Valipour, M., Saleem, M. F., Zaheer, M. S., Ahmad, S., Toleikiene, M., Haider, I., Aslam, M. U., & Nazar, M. A. (2020). Potential agricultural and environmental benefits of mulches—a review. *Bulletin of the National Research Centre 2020 44:1*, 44(1), 1–16. <https://doi.org/10.1186/S42269-020-00290-3>
- Jaramillo, J., Aguilar, P., Espitia, E., Tamayo, P., Argüello, O., & Arroyave, M. (2014). *Modelo tecnológico para el cultivo de lechuga en el Oriente Antioqueño*. Corpoica. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13758/Ver_documento_13758.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Kahli, H., Béven, L., Grauby-Heywang, C., Debez, N., Gammoudi, I., Moroté, F., Sbartai, H., & Cohen-Bouhacina, T. (2022). Impact of Growth Conditions on *Pseudomonas fluorescens* Morphology Characterized by Atomic Force Microscopy. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(17), 9579. <https://doi.org/10.3390/IJMS23179579/S1>
- Karmegham, N., Vellasamy, S., Natesan, B., Sharma, M. P., Al Farraj, D. A., & Elshikh, M. S. (2020). Characterization of antifungal metabolite phenazine from rice rhizosphere fluorescent pseudomonads (FPs) and their effect on sheath blight of rice. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(12), 3313–3326. <https://doi.org/10.1016/J.SJBS.2020.10.007>
- Lardizabal, R. (2014). *Manual de producción de lechuga* (U.- FHIA (ed.); Primera Ed, Vol. 1).

- Lau, E. T., Tani, A., Khew, C. Y., Chua, Y. Q., & Hwang, S. S. (2020). Plant growthpromoting bacteria as potential bio-inoculants and biocontrol agents to promote black pepper plant cultivation. *Microbiological Research*, 240, 126549. <https://doi.org/10.1016/J.MICRES.2020.126549>
- Liriano González, R., Sánchez Cruz, Y., Placeres Espinosa, I., Pérez Hernández, Y., Pérez Ramos, J., Abreu Cruz, E., & González Pérez, Y. (2023). Effect of different doses of FitoMas-E® on the production of lettuce seedlings. *Ingeniería Agrícola*, 13(1), 57–61.
- López, M., & Frezza, D. (2022). *Lechuga* (1ra. Edici). Ediciones INTA. https://www.researchgate.net/profile/Daniel-Kirschbaum/publication/364305743_Lechuga_Fichas_tecnicas_regionales_Tucuman/links/6344b0702752e45ef6a9a038/Lechuga-Fichas-tecnicas-regionales-Tucuman.pdf
- Luna, L., Martínez, R., Hernández, M., Arvizu, S., & Pacheco, J. (2013). Characterization of Rhizobacteria Isolated From Tomato and Their Effect on Tomato and Bell Pepper Growth. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(1), 63–69.
- Macedo, M., Lemos, M., & Mendes, R. (2023). *Biofertilizantes*. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1162064/1/BIOFERTILIZANTES.pdf>
- Mehmood, N., Saeed, M., Zafarullah, S., Hyder, S., Rizvi, Z. F., Gondal, A. S., Jamil, N., Iqbal, R., Ali, B., Ercisli, S., & Kupe, M. (2023). Multifaceted Impacts of PlantBeneficial *Pseudomonas* spp. in Managing Various Plant Diseases and Crop Yield Improvement. *ACS Omega*, 8(25), 22296–22315. https://doi.org/10.1021/ACSOMEGA.3C00870/ASSET/IMAGES/LARGE/AO3C00870_0003.JPEG
- Mohammed, A. F., Oloyede, A. R., & Odeseye, A. O. (2020). Biological control of bacterial wilt of tomato caused by *Ralstonia solanacearum* using *Pseudomonas* species isolated from the rhizosphere of tomato plants. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 53(1–2), 1–16. <https://doi.org/10.1080/03235408.2020.1715756>
- Noumedem, J. A. K., Djeussi, D. E., Hritcu, L., Mihasan, M., & Kuete, V. (2017). *Lactuca sativa*. In V. Kuete (Ed.), *Medicinal Spices and Vegetables from Africa* (pp. 437–449). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809286-6/00020-0>

- Pedraza, L. A., López, C. E., & Uribe-Vélez, D. (2020). Mechanisms of action of bacillus spp. (bacillaceae) against phytopathogenic microorganisms during their interaction with plants. *Acta Biologica Colombiana*, 25(1), 112–125. <https://doi.org/10.15446/abc.v25n1.75045>
- Saavedra, G., Corradini, F., Antúnez, A., Felmer, S., Estay, P., & Sepúlveda, P. (2017). Manual de producción de Lechuga. In *Instituto de Desarrollo Agropecuario - Instituto de Investigaciones Agropecuarias Boletín*. file:///E:/DOC PARA TESIS/INIA_Libro_0051.pdf
- Salas, F. J. S., Moraes, C. A. P., Garcia, S., & Sabundjian, T. T. (2008). Evaluación del Cultivo Protegido por Agrotexil en la cultura de Lechuga y su desempeño en diferentes tipos de aplicaciones. *Archivos Do Instituto Biológico*, 75(4), 437–442. <https://doi.org/10.1590/1808-1657v75p4372008>
- Sánchez González, M. A., Urundé Rojas, S. M., Ruiz Díaz Lovera, E. D. M., Fleitas Quintana, C. A., Fernández Sánchez, A., & Britos Pedrozo, R. M. (2024). Efecto de un fertilizante foliar en la producción de Lactuca sativa L. *Revista Alfa*, 8(22), 232–243. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v8i22.261>
- Tahiri, A. ilah, Raklami, A., Bechtaoui, N., Anli, M., Boutasknit, A., Oufdou, K., & Meddich, A. (2022). Beneficial Effects of Plant Growth Promoting Rhizobacteria, Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Compost on Lettuce (*Lactuca sativa*) Growth Under Field Conditions. *Gesunde Pflanzen*, 74(1), 219–235. <https://doi.org/10.1007/s10343-02100604-z>
- Vargas-Martinez, G., Betancourt-Galindo, R., Juárez-Maldonado, A., Sánchez-Vega, M., Sandoval-Rangel, A., & López, A. M. (2023). IMPACT OF NPsZnO AND RHIZOSPHERIC MICROORGANISMS ON TOMATO GROWTH AND BIOMASS. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 26(1). <https://doi.org/10.56369/tsaes.4332>
- Wong Barreiro, M., Gil Olavarrieta, R., Aroia Porrúa, J., Rodríguez Acosta, C., & Rodríguez González, A. (2023). Resultados de la evaluación agronómica de formulaciones con valor fertilizante en el cultivo de lechuga. *Revista Ingeniería Agrícola*, 13(3), 10p. <https://www.redalyc.org/journal/5862/586275623006/html/>
- Yang, F., Wang, X., Jiang, H., Yao, Q., Liang, S., Chen, W., Shi, G., Tian, B., Hegazy, A., & Ding, S. (2024). Mechanism of a novel *Bacillus subtilis* JNF2 in suppressing *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerium* and enhancing cucumber growth. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1459906. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2024.1459906/BIBTEX>

- Zambrano, J., Cartagena, Y., Sangoquiza, C., López, V., Parra, R., Maiguashca, J., Rivadeneira, J., & Park, C. (2022). Evaluación del acolchado plástico en la producción de maíz harinoso (*Zea mays* L. var. *amylacea* St.) en la Sierra del Ecuador. *Memorias de La XXIV Reunión Latinoamericana de Maíz*, 60–71. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i4.3017>
- Zea, P., Pierre, L., Lucero, G., Larriva, W., & Chica, E. J. (2020). Desarrollo y rendimiento de calabacín y lechuga cultivados sobre acolchados vivos en Cuenca, Ecuador. *Siembra*, 7(1), 043–049. <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i1.1811>