



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA AGRONOMÍA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO
PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA AGRÓNOMA**

**EFFECTO DE BIOFERTILIZANTES COMO COMPLEMENTO A
LA FERTILIZACIÓN EDÁFICA EN DOS VARIEDADES DE
ARROZ PARA INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD**

AUTORA

PAREDES BAJAÑA OFELIA STEFANIA

TUTOR

ING. VALDEZ RIVERA DANILO RAMIRO, MSc.

GUAYAQUIL – ECUADOR

2026



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA AGRONOMÍA**

APROBACIÓN DEL TUTOR

El suscrito, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **EFFECTO DE BIOFERTILIZANTES COMO COMPLEMENTO A LA FERTILIZACIÓN EDÁFICA EN DOS VARIEDADES DE ARROZ PARA INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD**, realizado por la estudiante **PAREDES BAJAÑA OFELIA STEFANIA**; con cédula de identidad N° 0928460633 de la carrera **AGRONOMÍA**, Campus **Guayaquil**, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos y legales exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Ing. DANILO RAMIRO VALDEZ RIVERA, MSc.
Firma del Tutor

Guayaquil, 13 de marzo del 2026



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA AGRONOMÍA**

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: **“EFECTO DE BIOFERTILIZANTES COMO COMPLEMENTO A LA FERTILIZACIÓN EDÁFICA EN DOS VARIEDADES DE ARROZ PARA INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD”**, realizado por la estudiante **PAREDES BAJAÑA OFELIA STEFANIA**, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

Ing. Darlyn Amaya Márquez M.Sc.
PRESIDENTE

Ing. Arturo Alvarado Barzallo. M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Danilo Valdez Rivera. M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Guayaquil, 07 de mayo del 2026

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis a Dios por permitirme culminar con éxito mi proyecto. A mis hijos Wesley y Thyago, quienes son mi mayor inspiración y la razón por la que cada día busco ser mejor. Su sonrisa, paciencia y comprensión me dieron fuerzas para no rendirme en los momentos más difíciles de este camino.

A mi esposo Lcdo. Richard Plúas, por su apoyo incondicional, su confianza y sus palabras de aliento, gracias por caminar a mi lado, creer en mí y ser un pilar indispensable para alcanzar esta meta.

Así mismo dedico este logro a mis padres Miguel Paredes Villamar y Bélgica Bajaña García por su ejemplo, valores y sacrificio que han sido fundamental para mi formación personal y profesional.

De manera especial dedico este trabajo a la memoria de mi hermana Dianita que, aunque ya no este físicamente desde el cielo guía mis pasos. Su amor, ejemplo y recuerdo eterno han sido una fuente silenciosa de fortaleza y motivación para no rendirme, seguir adelante y sé que donde estas te sientes orgullosa de mí.

A mis queridos hermanos Alexandra, Miguel e Israel, a mis adorados sobrinos por sus palabras de ánimo y apoyo constante, que contribuyeron significativamente a la culminación de mi etapa.

Con todo mi cariño, les dedico este logro.

AGRADECIMIENTO

Expreso mis más sinceros agradecimientos a Dios, por brindarme la fortaleza, sabiduría y perseverancia necesarias para culminar esta etapa de mi formación profesional.

A la Universidad Agraria del Ecuador, por ser el espacio de formación académica donde adquirí conocimientos que contribuyeron a mi desarrollo como Ingeniera Agrónoma. Mi reconocimiento a los docentes de la carrera quienes con su vocación, compromiso y conocimientos guiaron mi aprendizaje y fortalecieron mi preparación profesional.

De manera especial expreso mi profundo agradecimiento a mi tutor de tesis Ing. Danilo Valdez por su orientación, paciencia y valiosos aportes académicos fundamentales para el desarrollo y culminación del presente trabajo de investigación.

Asimismo, agradezco a mi querida amiga Katty Méndez por su apoyo incondicional, compañerismo y palabras de ánimo que hicieron más llevadero este camino académico.

A todos ellos extendiendo mi sincero agradecimiento por haber contribuido directa o indirectamente a la consecución de este logro profesional.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo, **PAREDES BAJAÑA OFELIA STEFANIA**, en calidad de autora del proyecto realizado, sobre **“EFECTO DE BIOFERTILIZANTES COMO COMPLEMENTO A LA FERTILIZACIÓN EDÁFICA EN DOS VARIEDADES DE ARROZ PARA INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD”** para optar el título de Ingeniera Agrónoma, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autora me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, 02 de junio del 2026

PAREDES BAJAÑA OFELIA STEFANIA.

C.I. 0928460633

ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
AUTORIZACIÓN DE AUTORÍA INTELECTUAL.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. INTRODUCCIÓN	14
1.1 Antecedentes del problema.....	14
1.2 Planteamiento y formulación del problema	15
1.2.1 Planteamiento del problema.....	15
1.2.2 Formulación del problema	15
1.3 Justificación de la investigación	15
1.4 Delimitación de la investigación	16
1.5 Objetivo general	16
1.6 Objetivos específicos.....	16
1.7 Hipótesis o idea a defender.....	16
2. MARCO TEÓRICO	17
2.1 Estado del arte.....	17
2.2 Bases científicas y teóricas.....	18
2.2.1 Origen del arroz	18
2.2.2 Taxonomía del cultivo de arroz	19
2.2.3 Morfología de arroz	19
2.2.4 Estado fenológico del cultivo de arroz	21
2.3 Marco legal.....	28
2.3.1 <i>Constitución de la República del Ecuador</i>	28
2.3.2 <i>Código Orgánico de la Producción Comercio e Inversiones</i>	29
3. MATERIALES Y METODOS.....	30

3.1. Enfoque de la investigación	30
3.1.2 Diseño de investigación	30
3.2 METODOLOGÍA	31
3.2.1 Variables.....	31
3.2.2 Tratamientos	32
3.2.3.1. Delimitación experimental	33
3.2.4 Recolección de datos.....	34
3.2.4.1. Recursos	34
3.2.4.2 Métodos y técnicas.....	35
3.2.4.2.1. Métodos de investigación.....	35
3.2.4.2.2. Técnicas de investigación.	35
3.2.5. Análisis estadístico	37
3.2.5.1. Hipótesis estadística	38
4. RESULTADOS.....	39
4.1 Identificación de las especies de <i>Trichoderma sp</i> y <i>Bacillus sp.</i>	39
4.2 Determinación del comportamiento agronómico del cultivo de arroz mediate la aplicación de diferentes dosis de biofertilizantes	39
5. DISCUSIÓN	44
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
6.1 Conclusiones.....	46
6.2 Recomendaciones.....	46
BIBLIOGRAFÍA	47
ANEXO	51
.....	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tratamientos a evaluar.....	32
Tabla 2. Modelo análisis de varianza	33
Tabla 3. Características de las parcelas experimentales	33
Tabla 4. Presupuesto	34
Tabla 5. Promedio de altura de la planta (m)	40
Tabla 6. Promedio de longitud de la espiga (cm)	40
Tabla 7. Promedio de número de macollo (n)	41
Tabla 8. Promedio de número de granos por espiga (n)	42
Tabla 9. Promedio del peso de los 1000 granos (g).....	42
Tabla 10. Promedio de rendimiento (Kg/Ha)	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diseño de parcela	52
Figura 2. Ubicación del Área Experimental	52
Figura 3. Ficha técnica de <i>Trichoderma sp</i>	53
Figura 4. Ficha técnica de <i>Bacillus sp</i>	53
Figura 5. Caracterización macro y microscópica de <i>Trichoderma</i> y <i>Bacillus</i> ..	54
Figura 6. Análisis de varianza altura de planta 70 días.....	54
Figura 7. Análisis de la varianza longitud de la espiga.....	55
Figura 8. Número de macollos por planta	55
Figura 9. Análisis de la varianza número de granos por espiga.....	56
Figura 10. Análisis de la varianza peso de 1000 granos.....	56
Figura 11. Análisis de la varianza rendimiento (Kg/Ha)	57
Figura 12. Preparación del suelo para el área experimental.....	57
Figura 13. Medición de parcelas para el área experimental.....	57
Figura 14. Colocación de cintas para los tratamientos.....	57
Figura 15. Trasplante de plántulas.....	57
Figura 16. Cierre de siembra.....	57
Figura 17. Colocación de carteles.....	57
Figura 18. Medición y preparación de dosis por tratamiento.....	57
Figura 19. Aplicación del producto según el tratamiento establecido.....	57
Figura 20. Cultivo de arroz a los 30 días.....	57
Figura 21. Colocación de pancarta	57
Figura 22. Fertilización de parcelas	57
Figura 23. Control de malezas	57
Figura 24. Toma de altura a los 70 días del trasplante	57
Figura 25. Toma de longitud de la espiga en uno de los tratamientos	57
Figura 26. Conteo de números de granos por espiga	57
Figura 27. Visita del docente tutor.....	57
Figura 28. Supervisión del área experimental junto al docente tutor.....	57
Figura 29. Recolección de variable macollos por planta	57
Figura 30. Conteo de macollos	57
Figura 31. Cultivo de arroz en etapa de maduración	57
Figura 32. Peso de 1000 granos de arroz.....	57

Figura 33. Peso de 1000 granos en uno de los tratamientos	57
Figura 34. Cosecha manual	57

RESUMEN

El presente estudio consistió en evaluar el efecto de biofertilizantes *Trichoderma sp* y *Bacillus sp* como complemento a la fertilización edáfica en dos variedades de arroz para incrementar la productividad del cultivo en el cantón Santa Lucía. La investigación se desarrolló bajo un diseño de bloques completos al azar con un análisis de varianza y la prueba de Tukey al 5% de probabilidad, con cuatro tratamientos y cinco repeticiones, se empleó diferentes dosis de biofertilizantes en condiciones de campo abierto. En la fase experimental se analizó variables agronómicas como altura de planta, longitud de espiga, número de macollos, número de granos por espiga, peso de mil granos y rendimiento. De acuerdo a los resultados obtenidos en campo se evidenció diferencias significativas en la altura de planta, donde los tratamientos con aplicación individual de *Trichoderma* y *Bacillus* presentó mayor crecimiento, además el número de macollos por planta fue superior en el tratamiento combinado, lo que evidencia un efecto positivo en el desarrollo vegetativo. El número de granos por espiga también mostro mejoras en los tratamientos con biofertilizantes el T1 *Trichoderma* obtuvo 135.08 en comparación al testigo con 130.54. La longitud de espiga determinó que el T1 *Trichoderma* mostró 21.62, el peso de mil granos registró que el T1 *Trichoderma* alcanzó un promedio de 35.20g y el rendimiento final no presentaron diferencias estadísticas significativas el T3 *Trichoderma* + *Bacillus* presentó un mejor promedio de rendimiento 8346.00 kg. Se concluye que bajo las condiciones del estudio la aplicación de biofertilizantes contribuyó a mejorar ciertas características agronómicas del cultivo de arroz, aunque no se evidenció un incremento en la productividad final, lo que sugiere la necesidad de seguir investigando bajo diferentes condiciones agroecológicas.

Palabras claves: *Oryza sativa L*, *Trichodermas*, *Bacillus*, biofertilizantes, productividad.

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the effect of the biofertilizers *Trichoderma* sp. and *Bacillus* sp. as a complement to soil fertilization in two rice varieties to increase crop productivity in the canton of Santa Lucía. The research was conducted under a randomized complete block design, using analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test at a 5% probability level, with four treatments and five replications. Different doses of biofertilizers were applied under open-field conditions. During the experimental phase, agronomic variables such as plant height, panicle length, number of tillers, number of grains per panicle, thousand-grain weight, and yield were evaluated. According to the field results, significant differences were observed in plant height, where treatments with the individual application of *Trichoderma* and *Bacillus* showed greater growth. Furthermore, the number of tillers per plant was higher in the combined treatment, demonstrating a positive effect on vegetative development. The number of grains per panicle also showed improvements in treatments with biofertilizers T1 *Trichoderma* obtained 135.08 grains compared to the control treatment with 130.54 grains. However, panicle length T1 *Trichoderma* showed 21.62 cm, thousand-grain weight recorded that T1 *Trichoderma* reached an average of 35.20 g, and final yield did not show statistically significant differences however T3 *Trichoderma* + *Bacillus* presented the highest average yield with 8,346.00 kg/ha. It is concluded that, under the conditions of this study, the application of biofertilizers contributed to improving certain agronomic characteristics of the rice crop, although no increase in final productivity was observed. These findings suggest the need for further research under different agroecological conditions.

Keywords: *Oryza sativa* L., *Trichoderma*, *Bacillus*, biofertilizers, productivity.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes del problema

El cultivo de arroz en Ecuador, es un producto de gran importancia económica y social. Se considera que es uno de los productos primarios de la canasta básica familiar. La mayor parte de nuestra producción de arroz proviene de pequeños agricultores y más del 87% de esa producción se realiza en las provincias de Guayas y Los Ríos (Bayer, 2022).

El uso repetido de fertilizantes edáficos y pesticidas en el cultivo de arroz ha causado que los suelos pierdan su fertilidad, empobrece la biodiversidad de los suelos, así mismo la desinformación del uso de microorganismos promotores de su desarrollo contribuye a que mantenga la baja productividad.

Los biofertilizantes son productos naturales que provienen de microorganismos vivos, tales como bacterias y hongos que incluye a especies como *Trichoderma sp* y *Bacillus sp*. Estos microorganismos juegan un papel clave en la fertilidad del suelo y desarrollo saludable de las plantas. A diferencia de los fertilizantes químicos, que suministran nutrientes directos a las plantas, los biofertilizantes trabajan de manera indirecta al aumentar la salud del suelo y facilita la capacidad de nutrientes. Estos microorganismos colonizan la rizosfera, área alrededor de las raíces de las plantas y comienzan a interactuar con el suelo ya sea con los nutrientes o con la nutrición en el suelo (Sela, 2025).

El hongo *Trichoderma sp* se encuentra entre los agentes de control biológico más eficaz en la agricultura y constituye más del 60% de los biofungicidas reportado a nivel mundial. *Trichoderma sp* no solo promueve el crecimiento vegetal, sino que también fortalece plantas y le da vitalidad al suelo (Bacusoy-Sánchez & Fienco-Bacusoy, 2023).

Para enfrentar el problema, la biotecnología propicia la formulación de productos agrícolas, mediante la aplicación de varios microorganismos específicos para estimular el desarrollo vegetal, donde los nutrientes hacen que el crecimiento de las plantas sea más fértil, combaten plagas y enfermedades, reduce así la necesidad de agroquímicos y la erosión del suelo.

La bacteria *Bacillus sp.* y *Trichoderma sp*, hongo, son considerados como algunos de los microorganismos más importantes, su importancia en la agricultura radica en mejorar el crecimiento de las plantas frente a diversos tipos de estrés y en controlar enfermedades que imponen una gran carga sobre la productividad

agrícola. Su utilización se presenta como una alternativa a los agroquímicos con el objetivo de proteger la salud humana y los ecosistemas (Gonzales et al., 2022).

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

La productividad del arroz tiene impacto directo al ecosistema debido al uso de insumos químicos, al pasar del tiempo estos productos químicos se filtran y causan daños en especial al suelo, lo que provoca un desgaste de nutrientes. El problema comienza cuando los agricultores no aplican dosis correctas y que además de no aportar resultados, perjudica al medio ambiente y la salud de los agricultores, lo cual refleja disminución en la producción del cultivo.

Existen enfoques alternativos que muchos agricultores desconocen por falta de conocimiento y esto es una consecuencia del laboreo excesivo y la exposición continua de pesticidas y del estilo de vida del monocultivo en el que han estado expuestos durante algunos años en la agricultura. Como algunos de los microorganismos también proporcionan un biofertilizante, un enfoque ha sido el de los microorganismos que son hongos y bacterias beneficiosos que ayudan a asimilar nutrientes. Estos microorganismos contribuyen al beneficio y efecto positivo de los fertilizantes para las plantas. Esta fue la solución a este problema y es buena para el organismo, los cultivos y un mayor rendimiento.

1.2.2 Formulación del problema

¿Cómo aumentará la productividad en el cultivo de arroz al aplicar *Trichoderma sp* y *Bacillus sp*. como complemento a la fertilización edáfica en el cantón Santa Lucía?

1.3 Justificación de la investigación

Dentro de las alternativas que existen en la actualidad a los productos químicos también se encuentran bacterias y hongos benéficos para las plantas entre ellos están *Trichoderma sp* y *Bacillus sp*. Estos microorganismos biofertilizantes actúan como biopromotores del desarrollo y como agentes de control biológicos. Por lo tanto, favorecerá la adaptación en la rizosfera y promoverán la recuperación del equilibrio e incremento de la actividad biótica de los suelos, el cual aumentara el desarrollo de los cultivos.

Esta investigación en sí, puede ayudar a futuro como ejemplo para los pequeños agricultores de la zona ya que aporta información que les permite optar por otras alternativas y lograr una producción más sustentable y sostenible.

1.4 Delimitación de la investigación

- **Espacio:** Este estudio se llevó a cabo en el recinto “Picadura” del cantón Santa Lucía provincia del Guayas.
- **Tiempo:** Este trabajo experimental se desarrolló en un tiempo aproximado de cuatro meses, desde octubre del 2025 hasta febrero del 2026.
- **Población:** Este proyecto va dirigido para los pequeños agricultores que cultiven arroz ya que la realización de este deja antecedentes de cómo utilizar biofertilizantes para sus cultivos con resultados favorables.

1.5 Objetivo general

Evaluar el efecto de biofertilizantes *Trichodermas sp* y *Bacillus sp* como complemento a la fertilización edáfica en dos variedades de arroz para incrementar la productividad en el cantón Santa Lucía, Ecuador.

1.6 Objetivos específicos

- Identificar las especies de *Trichodermas sp* y *Bacillus sp*.
- Determinar el comportamiento agronómico del cultivo de arroz mediante aplicación de diferentes dosis de biofertilizantes.
- Establecer el mejor tratamiento a la aplicación complementaria de biofertilizantes *Trichodermas sp* y *Bacillus sp*.

1.7 Hipótesis o idea a defender

Como el uso de biofertilizantes *Trichodermas sp* y *Bacillus sp*. mejorará la calidad y productividad en el cultivo de arroz.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

Sánchez y Bacusoy (2023) se centran que, en Ecuador existe falta de macroelementos y materia orgánica en suelos que impacta la producción de los cultivos. La producción en Ecuador está dominada por fertilizantes químicos que son costosos, afecta la calidad microbiológica del suelo y pueden ser perjudiciales para la química del suelo debido a la contaminación.

Otra alternativa para los principales problemas existentes en el cultivo del arroz es la aplicación de *Trichoderma sp.*, que fue aprobada en varios cultivos con gran éxito en la etapa de vivero y también es un factor promotor de plántulas útil que ayuda al desarrollo de las plantas al liberar auxinas y otras sustancias. Los beneficios de este hongo son el desarrollo de productos biológicos que son ecológicos (Velázquez et al., 2020).

El hongo *Trichoderma harzianum* sobresale como uno de los agentes de control biológico más eficaces en la agricultura, representa más del 60% de biofungicidas en todo el mundo. Este microorganismo está en productos de la agricultura como bioplaguicida, biofertilizante, promotor del desarrollo de las plantas y un solubilizador agrícola de nutrientes, también es descomponedor orgánico. *Trichoderma* es una forma exitosa de agentes de biocontrol ya que aumenta el desarrollo las plantas y la supresión de enfermedades y el suelo (Bacusoy-Sánchez & Fienco-Bacusoy, 2023).

Los microorganismos presentes en los biofertilizantes tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico y sintetizar los diferentes nutrientes del suelo para que puedan ser transportados y absorbidos por las plantas haciéndolos asequibles a las plantas (Control Bio, 2025).

Entre los mecanismos más importantes que utilizan los microorganismos para llevar a cabo su función como biofertilizantes, se incluyen la fijación biológica de nitrógeno, la solubilización de fósforo y potasio, la generación de sideróforos, la producción de reguladores de crecimiento, la inducción del progreso, las alteraciones en la morfología radicular y el fomento de simbiosis beneficiosas para los cultivos. Los biofertilizantes desempeñan un papel fundamental en la productividad y sostenibilidad del suelo, así como en la protección del medio ambiente, actúa como insumos ecológicos y económicos para los agricultores (León et al., 2021).

Los microorganismos utilizados en la agricultura incluyen como principales hongos de los géneros *Trichoderma* y diversas especies de micorrizas, así como bacterias del género *Bacillus*. Estos agentes biológicos han demostrado ser efectivos en el control de plagas por medio de varios mecanismos, tales como antibiosis, micoparasitismo y competencia. Estos evidencian su papel como promotores del desarrollo vegetal, mejora la biomasa radicular y facilita una mayor absorción de nutrientes como N y Ca, elementos fundamentales para la estructura de las paredes celulares y crecimiento de las plantas. Incluso, su aplicación ha impactado de manera positiva la evolución de los cultivos, lo que aumenta la producción hasta un 20% (Viera, 2020).

El género *Bacillus sp.* se distingue por su aplicación en el biocontrol de fitopatógenos, además de ampliar el uso de cepas prometedoras para fomentar el desarrollo vegetal. Estas bacterias ofrecen varias ventajas, como la capacidad de formar endosporas, lo que les otorga una mayor resistencia en el suelo, así como una rápida tasa de crecimiento y una notable versatilidad en la producción de metabolitos. Los inoculantes microbianos que contienen estas bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPB) disminuye la dependencia de productos químicos peligrosos en la agricultura y presentan como alternativas viables tanto económicas como ambientales (Rojas, 2021).

Ibáñez et al. (2023) afirman que la investigación sobre biofertilizantes implica sobre todo el aislamiento e identificación de cepas microbianas con la capacidad de mejorar el desarrollo de los cultivos mediante fijación de nitrógeno, solubilización de fósforo, movilización de nutrientes o las hormonas promotoras del desarrollo vegetal. Estas cepas microbianas pueden aplicarse a semillas, superficies vegetales o al suelo.

2.2 Bases científicas y teóricas.

2.2.1 Origen del arroz

Arroz (*Oryza sativa*) es una planta de un solo año, pertenece a la familia de las monocotiledóneas. Los agricultores cultivan esta especie herbácea *Oryza* para obtener sus semillas, conocidas como arroz, que son aptas para el consumo. Aunque por lo general se considera una planta anual, en raras ocasiones puede comportarse como una y llega a vivir hasta diez años o más. El ciclo biológico del arroz anual que abarca desde la siembra hasta la cosecha, puede variar desde 95 días para las variedades muy tempranas y 250 días para las más tardías. Las

variedades de maduración intermedia suelen ser recolectadas entre los 120-150 días después de la siembra (DFinnova, 2022).

Aldana (2024) señala que el arroz (*Oryza sativa L.*) ocupa la segunda posición en términos de consumo global entre los cereales. Su producción está altamente concentrada en Asia, donde siete naciones (China, India, Indonesia, Bangladesh, Vietnam, Myanmar y Tailandia) generan y consumen alrededor del 80% del arroz a nivel mundial. China se destaca como el principal productor individual, lo que contribuye cerca del 28% de la producción total. Incluso, el rendimiento del arroz puede fluctuar de factores como el país, las condiciones climáticas, calidad del suelo, disponibilidad de agua y las técnicas agrícolas empleadas.

El cultivo de arroz se desarrolla en la región costera, de manera específica en las provincias del Guayas y Los Ríos. Las áreas dedicadas al cultivo en el país muestran una amplia variabilidad en los factores climáticos, que oscilan entre el trópico húmedo y el trópico seco, con temperaturas que varían de 20 a 30 °C. Las precipitaciones anuales alcanzan un máximo de 2500 y un mínimo de 500 mm, con una alta humedad relativa. Estas regiones son fértiles, aunque su principal limitación es la insuficiente disponibilidad de agua, en especial con extensas áreas de secano donde este recurso depende de las lluvias. El agua es fundamental para las condiciones que afectan el crecimiento del arroz, por lo tanto, aspectos como la disponibilidad, retención del suelo y manejo son variables clave para distinguir entre las áreas arroceras ubicadas en zonas de secano y en zonas vulnerables. Se estima que un 60% del área sembrada es de secano y el 40% del área se destina al riego (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP], 2024).

2.2.2 Taxonomía del cultivo de arroz

El arroz conocido por su nombre científico *Oryza sativa L* pertenece al reino Plantae lo que indica que es una planta. Su división es Magnoliophyta y la clase Liliopsida que corresponde a las monocotiledóneas. Se ubica en la subclase Commelinidae dentro del orden Cyperales y forma parte de la familia Poaceae, conocida como gramíneas. El género al que pertenece es *Oryza Sativa L.*

2.2.3 Morfología de arroz

Paredes et al. (2021) sostienen que las propiedades morfológicas de la planta son de utilidad práctica ya que facilitan su caracterización fenotípica, permiten distinguir sus distintos estados de desarrollo y ayudan a determinar el

momento adecuado para llevar a cabo ciertas prácticas agronómicas, como la aplicación de nitrógeno, herbicidas o el manejo de agua.

2.2.3.1. Raíz

Pérez (2021) describe que las raíces son delgadas, fibrosas y organizadas en fascículos. Se distinguen dos tipos de raíces: las seminales que nacen de la radícula y son de carácter temporal y las raíces adventicias secundarias que presentan un crecimiento ramificado libre y se desarrollan desde los nudos inferiores del tallo joven. Estas últimas reemplazan a las raíces seminales.

2.2.3.2. Tallo

Se compone de nudos y entrenudos dispuestos de manera alterna. Cada sección puede presentar una hoja y un capullo que tienen potencial de crecer y formar un vástago o retoño. El entrenudo maduro posee una estructura hueca y estriada con longitud variable que aumentan desde los entrenudos situados en la base del tallo son cortos y se engrosan hasta convertirse en una sección sólida, además su grosor varía siendo los más bajos, anchos y gruesos que aquellos situados más arriba. Los retoños emergen del tallo principal también es disposición alterna, los retoños primarios surgen en los nudos inferiores, lo que genera rebrotes secundarios los cuales a su vez dan lugar a retoños terciarios (Palma, 2021).

2.2.3.3. Hojas

Por cada macollo se desarrollan alrededor de seis hojas. En cada nudo del tallo aparece una hoja de manera alternada. La hoja ubicada en el parte superior justo debajo de la panoja se conoce como hoja bandera. Durante el periodo de floración el tallo o macollo presenta solo tres o cuatro hojas verdes, siendo las dos hojas superiores responsables del 80% de la fotosíntesis que produce carbohidratos destinados al grano después de esta etapa. En términos morfológicos la planta está compuesta por lámina, vaina, lígula y aurícula; estas últimas estructuras son claves para distinguirla de *Echinochloa sp.* (capín) una de las principales malezas que afectan al cultivo de arroz (Pincioli et al., 2015).

2.2.3.4. Inflorescencia

La Inflorescencia se presenta como una panícula definida que se sitúa en el extremo del tallo. Su unidad básica es la espiguilla compuesta por dos lemmas estériles junto a la raquilla y el flósculo.

2.2.3.5. Semilla y grano

El grano de arroz conocido como semilla recién cosechada, está compuesto por el fruto o cariopse y su cáscara, que incluye las glumelas (palea y lema). En el ámbito industrial, se denomina arroz cáscara o arroz paddy a la combinación del cariopse y las glumelas. El cariopse se conforma del embrión (una planta preformada), el endospermo, una capa de aleurona (un tejido rico en proteínas), el tegumento (la cubierta seminal que resulta del desarrollo de las paredes del óvulo) y el pericarpio (la envoltura del fruto derivada del desarrollo de las paredes del ovario). El embrión es diminuto y se encuentra en la zona ventral del cariopse. El endospermo está constituido por células de parénquima (Pincioli et al, 2015).

La vaina, que se origina en un nudo, rodea el entrenudo superior y en ciertos casos se extiende hasta el siguiente nudo. Esta estructura que presenta una división desde su base está surcada y por lo general carece de pelos. Es posible que contenga pigmentos antocianos en la parte inferior o a lo largo de toda su superficie (Lucas y Llerena, 2024)

2.2.4 Estado fenológico del cultivo de arroz

2.2.4.1. Fase vegetativa

La fase comienza con la germinación de la semilla y concluye con la diferenciación del primordio floral. En esta etapa se establece la cantidad de panículas por unidad de área. La duración de este período puede fluctuar según la variedad y las condiciones climáticas, por lo general oscila entre 35 y 50 días. Durante esta fase el máximo macollamiento, la elongación de los entrenudos y el inicio de la panícula ocurren casi en variedades con un ciclo de 105 a 120 días, mientras que, en las variedades más largas superan los 140 días, estos procesos suceden de forma continua (Buelvas, 2021)

2.2.4.2. Fase reproductiva

Esta etapa abarca desde el inicio de la panícula hasta la floración, lo que comienza en el momento que finaliza la fase vegetativa. Se caracteriza por la formación de los órganos reproductivos de la planta. Su duración es uniforme entre las distintas variedades y en promedio, se extiende por 35 días. Durante esta fase se establece el número de espiguillas o panojas; por lo tanto, es muy recomendable que, al inicio de este período, el cultivo reciba toda la fertilización nitrogenada que aún esté pendiente (García, 2020).

2.2.4.3. Fase de madurez

Comienza desde la floración y termina con la madurez del grano. Al igual que en la fase anterior el ambiente tiene un efecto significativo en la fertilización de las plantas, los vientos cálidos o las condiciones húmedas tienen un gran impacto en la fertilización de los estigmas. Condiciones de agua por debajo de 18°C o por encima de 34°C pueden llevar al marchitamiento de las plantas (Buelvas, 2021).

2.2.5 Variedades de arroz

2.2.5.1. Variedad sfl-11

Ciclo: Intermedio.

Porcentaje de germinación: Mayor a 90%.

Altura de la planta: 126 cm.

Macollamiento: Intermedio (22-24 macollos).

Ciclo de cultivo: 127 – 131 días promedio.

Rendimiento de cultivo: 6 a 8 t/ha.

Características de grano

Desgrane: Intermedio.

Peso de 1000 gramos en cáscara: 29 g.

Índice de pilado: 67%.

Grano largo: 7.5 mm descascarado.

Centro blanco: Ninguno.

(Moncayo, 2023).

Esta variedad es originaria de la India y se caracteriza por tener un alto rendimiento y una buena condición de grano. La variedad SFL 11 tiene una duración por ciclo de 125 días, alcanza una altura 105 cm y posee un rendimiento promedio que oscila entre seis a ocho toneladas/ha. Esta variedad es cultivada sobre todo en Guayas, Los Ríos, Manabí y El Oro con un porcentaje de germinación y un ciclo vegetativo de 127 a 131 días (González & González, 2023).

2.2.5.2. Variedad sfl-09

Ciclo: Intermedio.

Porcentaje de germinación: Menor a 90%.

Macollamiento: Alto.

Ciclo de cultivo: 110 – 125 días.

Rendimiento de cultivo: 5 a 7 t/ha.

Características de grano

Desgrane: Intermedio.

Índice de pilado: 65%.

Grano largo: 7.2 mm descascarado.

Centro blanco: Ninguno.

SFL-09 es una variedad de semilla de arroz que INDIA - PRONACA presentó a los productores ecuatorianos durante los últimos meses del 2010. Este tipo de arroz es largo por la longitud de su grano y comienza a madurar temprano, lo que facilita la cosecha en los meses de invierno a los 110 a 115 días y en los meses de verano a los 120 a 125 días. La longitud del grano para su comercio está entre 7 y 7.2 mm de largo y es más transparente que en todos los demás arroces (Medina, 2022).

2.2.6 Requerimientos edafoclimáticos

2.2.6.1. Clima

Al mismo tiempo, el arroz (*Oryza sativa L.*) se adapta a diversos climas. La temperatura y la radiación solar son principales limitaciones climáticas para la productividad del cultivo de arroz en todo el mundo. Aunque es probable que más del 75% del arroz cultivado se desarrolle en áreas tropicales, los cultivos también pueden crecer en climas secos, templados y templados fríos (Donoso et al., 2020).

2.2.6.2. Temperatura

Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2017) indica que el arroz necesita para crecer y desarrollarse de manera óptima una temperatura promedio que oscile entre los 20 a 38 °C, una humedad relativa de 54% a 87% y por lo general se cultiva en altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 1500 metros.

2.2.6.3. Suelo

Este cultivo tiene la capacidad de desarrollarse de hecho en cualquier tipo de suelo, aunque se desempeña mejor en aquellos que son ricos y bien drenados, con la habilidad de conservar la humedad. Se pueden utilizar suelos de diversas texturas, desde arenosos hasta arcillosos, siempre que el pH se mantenga entre 5 a 7.5, que es el rango óptimo para el arroz. Los suelos arcillosos y limosos, que por lo general no son adecuados para otros cultivos,

resultan ser perfectos para el cultivo del arroz debido a su habilidad para retener agua (Kogut, 2023).

2.2.6.4. pH

La mayoría de los suelos tienden a equilibrar su pH hacia la neutralidad unas semanas después de ser inundados. En el caso de los suelos ácidos el pH se incrementa con la inundación, mientras que en los suelos alcalinos sucede lo contrario. El pH ideal para el cultivo del arroz es 6.6, ya que este rango se favorece la liberación microbiana de nitrógeno y fósforo a partir de la materia orgánica, así como una mayor disponibilidad de fósforo. Además, las concentraciones de elementos que pueden interferir con la absorción de nutrientes, como el aluminio, manganeso, hierro, dióxido de carbono y ácidos orgánicos, permanecen por debajo del nivel tóxico (infoAgro, 2020).

2.2.6.5. Requerimiento de agua

El uso promedio de agua para el cultivo de arroz a lo largo de su ciclo puede calcularse en aproximadamente 15000 m³ por hectárea. Esta cifra puede fluctuar dependiendo de factores como las condiciones climáticas, la cantidad de precipitaciones registradas durante el período, tipo de suelo y ejecución de manejo hídrico implementadas por el agricultor. El riego mediante inundación implica crear una capa de agua en las parcelas o estanques. Este método puede ser continuo, aplicándose durante gran parte del ciclo del cultivo, o intermitente, realizándose en intervalos específicos. La inundación continua ayuda a limitar el crecimiento de malezas, regula la temperatura del suelo, promueve el desarrollo de algas que fijan nitrógeno del aire, aumenta la disponibilidad de nutrientes para las plantas durante las primeras semanas bajo agua, estimula la fotosíntesis en las hojas inferiores y reduce la necesidad de mano de obra. Esta información es respaldada por el (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP], 2023).

2.2.7 Fertilización

La fertilización del arroz tiene como propósito suministrar los nutrientes esenciales requeridos para el desarrollo del cultivo, los cuales no se pueden obtener en cantidades suficientes del suelo.

Antes de tomar decisiones sobre la fertilización, es fundamental analizar las verdaderas necesidades del cultivo. Esto implica equilibrar la cantidad de nutrientes que se pierden del suelo debido a extracciones por el

cultivo, lixiviación, volatilización y precipitación de nutrientes, entre otros. Con la cantidad que se aporta a través de agua de riego, materia orgánica y fertilizantes. Además, es crucial considerar las interacciones entre los nutrientes y ajustar el tipo de fertilizante a las condiciones específicas del cultivo (Martin, 2023).

2.2.8 Trichoderma

Trichoderma sp. es un hongo que se encuentra de manera natural en el suelo y presenta un estilo de vida anaeróbico, actúa como saprófito o parásito. Entre las especies más relevantes se incluyen *T. harzianum*, *T. viride*, *T. koningii* y *T. hamatum*. La efectividad de las cepas de *Trichoderma* como agentes de control biológico radica en su notable capacidad reproductiva, su resistencia a condiciones ambientales adversas, su eficacia en la asimilación de nutrientes, su habilidad para alterar la rizósfera, su agresividad frente a hongos fitopatógenos y su capacidad para fomentar el crecimiento vegetal e inducir mecanismos de defensa en las plantas. Estas diversas especies se distinguen por un crecimiento micelial veloz y una producción abundante de esporas, lo que facilita la colonización de diferentes sustratos, así como del suelo (Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura [INTAGRI], 2019).

Trichoderma Harzianum es un hongo valorado por sus capacidades para el control de fitopatógenos, así como por sus propiedades organolépticas y medicinales. Esto resalta su potencial en diversas industrias, incluyendo la alimentaria, farmacéutica, biotecnológica y agrícola. En el ámbito agrícola, las especies del género *Trichoderma* se emplean con frecuencia como agentes de biocontrol debido a su versatilidad, adaptabilidad y facilidad de manejo para combatir hongos fitopatógenos tales como *Rhizoctonia*, *Pythium*, *Sclerotium* y *Phytophthora*, que afectan cultivos comerciales importantes como el arroz (Ipiales, 2021).

La mayoría de estas especies generan clamidosporas como estrategia para soportar condiciones ambientales desfavorables y asegurar su supervivencia a lo largo del tiempo. Además, secretan una variada gama de enzimas que permiten colonizar todos los tipos de suelos agrícolas y diversos entornos, lo que les otorga una notable plasticidad ecológica. Aunque el género *Trichoderma* incluye especies reconocidas por su capacidad para controlar desde el punto de vista biológico patógenos del suelo, también se

ha evidenciado su eficacia contra hongos responsables de enfermedades foliares (Navas et al., 2016).

Se ha demostrado que la inoculación con *Trichoderma* aporta múltiples ventajas en la producción agrícola, entre las que destacan el estímulo del crecimiento vegetal, aumento de la productividad y la reducción de efectos del estrés tanto biótico como abiótico. No obstante, el cultivo de arroz, que por lo general se desarrolla bajo inundación permanente, se generan condiciones anaeróbicas en el suelo que restringen la acción de estos microorganismos benéficos (Landa, 2019).

Trichoderma también puede ser fundamental para proporcionar soluciones en la lucha contra enfermedades del arroz como el tizón, la mancha de la vaina, la escaldadura de la hoja (*Gerlachia oryzae*), la helmintosporiosis y la cercosporiosis. Puede servir como una alternativa una excelente solución que los pequeños y medianos productores pueden aprovechar a través del control biológico con el objetivo de disminuir el uso de productos químicos. Además del potencial para el biocontrol, el propio *Trichoderma* también podría ser capaz de fomentar el crecimiento de las plantas lo que promueve el desarrollo del sistema radicular, la solubilización y absorción de nutrientes inorgánicos, así como la resistencia en las plantas (Navas et al., 2016).

2.2.9 Bacillus

Las especies del género *Bacillus* poseen una amplia distribución global, debido a su habilidad para formar esporas, lo que les confiere resistencia y facilita su aislamiento en diversos hábitats, tanto sistemas acuáticos como terrestres. Sin embargo, el suelo se considera el principal reservorio de esta bacteria, dado que la mayoría de las especies de *Bacillus* son saprófitas y pueden aprovechar la amplia variedad de sustratos orgánicos presentes en este medio. Esta complejidad del suelo contribuye a la formación de una rica diversidad genética y funcional entre las especies microbianas. Por ello, varias especies de *Bacillus* pueden prosperar en los suelos, con recuentos cultivables que oscilan entre log tres y log seis por gramo de peso fresco del suelo, sobre todo en aquellas especies que comparten similitudes genéticas con el grupo *Bacillus subtilis* (Delgado et al., 2018).

Bacillus subtilis es una bacteria Gram positiva que se localiza de manera natural en el suelo. Esta especie coloniza las raíces de las plantas, donde compite con los patógenos por espacio y sitios de infección. Las concentraciones más elevadas de *Bacillus* en los suelos se encuentran a profundidades que oscilan entre 2.5 y 5 cm.

El genero *Bacillus* es notable por su uso en el biocontrol de fitopatógenos, aunque su aplicación se ha expandido a cepas prometedoras que favorecen el desarrollo de las plantas. Dichas bacterias aportan varias ventajas, como la capacidad de formar endosporas que les permiten sobrevivir mejor en el suelo, un rápido crecimiento y una gran versatilidad en la producción de metabolitos. Los inoculantes microbianos que contienen estas bacterias promotoras del desarrollo vegetal (PGPB) disminuyen la dependencia de productos químicos peligrosos en la agricultura, representando alternativas viables tanto económica como ambiental (Heydrich et al., 2021).

Bacillus subtilis forma un biofilm en torno a las raíces, lo que le permite colonizarlas de tal forma que, a través de competencia, impide el crecimiento de hongos y bacterias patógenas. Esta protección también disminuye la incidencia de nematodos y favorece en gran medida la producción de pelos absorbentes. Además, genera compuestos que estimulan el desarrollo vegetativo, como las enzimas que solubilizan fosfatos, lo que incrementa así la disponibilidad de nutrientes esenciales para el crecimiento de la planta e induciendo el desarrollo radicular (Gómez, 2022).

Los beneficios más destacados de las bacterias del género *Bacillus subtilis* en los cultivos se pueden clasificar de la siguiente manera:

- 1. Control de enfermedades:** Varias especies de *Bacillus* generan compuestos naturales que combaten hongos y bacterias perjudiciales para los cultivos, ofreciendo así una protección contra diversas de enfermedades.
- 2. Fertilización natural:** Estas bacterias facilitan la absorción de nutrientes como fósforo, potasio y el hierro, estos son fundamentales para el crecimiento de las plantas.
- 3. Estimulación del crecimiento:** Producen hormonas naturales que fomentan el desarrollo radicular, lo que resulta en plantas más robustas y saludables.
- 4. Resistencia al estrés:** Contribuyen a que las plantas soporten mejores condiciones adversas, como la escasez de agua o la salinidad del suelo.

5. **Mejora de la calidad del suelo:** Ayudan en la descomposición de materia orgánica, lo que optimiza la estructura del suelo y su capacidad para almacenar agua. Incrementan la diversidad y la actividad microbiana beneficiosa dentro del agroecosistema (Manvert, 2025).

2.3 Marco legal

2.3.1 Constitución de la República del Ecuador

En el Título VI, Régimen de Desarrollo, Capítulo Cuarto de la Soberanía Económica: Sección primera, Sistema y política económicos. Constitución (2011)

Art. 281.- La soberanía alimentaria constituye un objeto estratégico y una obligación del Estado para garantizar que las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades alcancen la autosuficiencia de alimentos sanos y culturalmente apropiado de forma permanente. Para ello, será responsabilidad del Estado:

1. Impulsar la producción, transformación agroalimentaria y pesquera de las pequeñas y medianas unidades de producción, comunitarias y de la economía social y solidaria.
2. Adoptar políticas fiscales, tributarias y arancelarias que protejan al sector agroalimentario y pesquero nacional, para evitar la dependencia de importancia de alimentos.
3. Fortalecer la diversificación y la introducción de tecnologías ecológicas y orgánicas en la producción agropecuaria. (p.90)
4. Promover políticas redistributivas que permitan el acceso del campesinado a la tierra, el agua y otros recursos productivos.
5. Establecer mecanismos preferenciales de financiamiento para los pequeños y medianos productores, facilitándoles la adquisición de medios de producción.
6. Promover la preservación y recuperación de la agrobiodiversidad y de los saberes ancestrales vinculados a ella; así como el uso, la conservación e intercambio libre de semillas.
7. Precautelar que los animales destinados a la alimentación humana estén sanos y sean criados en un entorno saludable.
8. Asegurar el desarrollo de la investigación científica y de la innovación tecnológica apropiada para garantizar la soberanía alimentaria.
9. Regular bajo normas de bioseguridad el uso y desarrollo de biotecnología, así como su experimentación, uso y comercialización.
10. Fortalecer el desarrollo de organizaciones y redes de productores y de consumidores, así como la de comercialización y distribución de alimentos que promueva la equidad entre espacios rurales y urbanos.
11. Generar sistemas justos y solidarios de distribución y comercialización de alimentos. Impedir prácticas monopólicas y cualquier tipo de especulación con productos alimenticios.
12. Dotar de alimentos a la población víctimas de desastres naturales o antrópicos que pongan en riesgo el acceso a la alimentación
13. Prevenir y proteger a la alimentación del consumo de alimentos contaminados o que pongan en riesgo su salud.

14. Adquirir alimentos y materias primas para programas sociales y alimenticios, prioritariamente a redes asociativas de pequeños productores. (Constitución de la República del Ecuador, 2008, Art 281, p.91)

2.3.2 Código Orgánico de la Producción Comercio e Inversiones

Establece EL CÓDIGO ORGÁNICO DE LA PRODUCCIÓN TÍTULO II, Del Desarrollo Productivo de la Economía Popular, Solidaria y Comunitaria. Código de la producción (2010):

Art. 22.- Medidas específicas. - El Consejo Sectorial de la Producción establecerá políticas de fomento para la economía popular, solidaria y comunitaria, así como de acceso democrático a los factores de producción, sin perjuicio de las competencias de los Gobiernos Autónomos Descentralizados y de la institucionalidad específica que se cree para el desarrollo integral de este sector, de acuerdo con lo que regule la Ley de esta materia.

Adicionalmente, para fomentar y fortalecer la economía popular, solidaria y comunitaria, el Consejo Sectorial de la Producción ejecutará las siguientes acciones: Financiar proyectos productivos de las comunidades, pueblos y nacionalidades indígenas, afroecuatorianas y montubias que impulsen la producción agrícola, pecuaria, artesanal, pesquera, minera, industrial, turística y otras del sector. (Asamblea Nacional del Ecuador, 2015, p.11)

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Enfoque de la investigación

El presente análisis utilizó un método experimental con el objetivo de evaluar la adecuada utilización de los biofertilizantes *Trichoderma sp* y *Bacillus sp* en dos variedades de arroz: SFL-011 y SFL-09. La investigación se realizó en un entorno de campo abierto, donde se obtuvieron datos estadísticos sobre el cultivo que respaldaron la hipótesis planteada. Esto permitió identificar el biofertilizante y la variedad de arroz que proporcionan los mejores rendimientos agronómicos lo que promueve así el avance hacia prácticas agrícolas más sostenibles.

3.1.1 Tipo de investigación

Esta investigación se clasificó como descriptiva, experimental y bibliográfica. Se analizó los efectos de los biofertilizantes en el cultivo de arroz, lo cual se fundamenta en diversos tipos de investigación.

3.1.1.1. Investigación descriptiva

La investigación tuvo un enfoque descriptivo, dado que se reunió información acerca de las distintas variedades de arroz y los diversos tratamientos implementados en su cultivo.

3.1.1.2. Investigación experimental

A través de esta investigación, se realizó una descripción y análisis de las variables relacionadas con los tratamientos de estudio, con el objetivo de identificar cuál de ellos demostró mayor efectividad en el incremento de la productividad del cultivo.

3.1.1.3. Investigación bibliográfica

Se recurrió a fuentes bibliográficas para recopilar información y llevar a cabo la investigación.

3.1.2 Diseño de investigación

El enfoque de esta investigación fue experimental, se empleó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) y un análisis de varianza (ANDEVA). Se evaluaron cuatro tratamientos, cada uno con cinco repeticiones, se utilizó distintas dosis de *Trichoderma sp* y *Bacillus sp* en dos variedades de arroz. El objetivo fue determinar cuál tratamiento es más efectivo para aumentar la productividad del cultivo.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de biofertilizante como complemento a la fertilización edáfica en dos variedades de arroz en el cantón Santa Lucía, fue una investigación experimental a campo abierto.

3.2.1.1. Variables independientes

La utilización de *Trichoderma* y *Bacillus* tiene como objetivo aumentar la productividad del cultivo de arroz.

3.2.1.2. Variables dependientes

Las variables dependientes a evaluarse son:

3.2.1.2.1. Altura de la planta (cm).

Se llevó a cabo una evaluación a los setenta días después del trasplante del cultivo, se utilizó un flexómetro para medir la altura desde el suelo hasta el extremo de las hojas. Se seleccionó aleatoriamente diez plantas dentro del área útil de cada unidad experimental y se calculó el valor promedio, que se presentó en centímetros.

3.2.1.2.2. Longitud de espiga (cm).

Se calculó por medio de diez panículas elegidas al azar en el área útil de cada tratamiento. La medición se efectuó desde la base de la panícula hasta su ápice y los resultados se registró en centímetros (cm).

3.2.1.2.3. Macollo por planta.

Se seleccionó diez plantas al azar en cada tratamiento dentro del área útil y se llevó a cabo un conteo de la cantidad de macollos presentes en cada planta para su respectivo registro.

3.2.1.2.4. Número de grano por espiga.

Se estableció la cantidad de granos por espiga al contar los granos en diez panículas elegidas de manera aleatoria dentro del área útil de cada tratamiento a los 90 días después de la siembra.

3.2.1.2.5. Peso de 1000 granos.

Se recolectó espigas de diez plantas seleccionadas al azar del área útil de tratamiento. Se pesó mil granos en una balanza y los resultados fueron registrados y expresados en gramos (g). Este dato se convirtió en un parámetro esencial para analizar el impacto de los tratamientos en el rendimiento y desarrollo del grano.

3.2.1.2.6. Productividad (Kg/ha).

Se estableció en función del rendimiento de cada tratamiento el cual fue determinado a través del promedio de la producción documentada en el área útil de las parcelas experimentales. Los datos recolectados se expresan en kilogramos por hectárea (kg/ha) para estandarizar los resultados y facilitar una comparación objetiva entre los diferentes tratamientos.

3.2.2 Tratamientos

La investigación incluyó de cuatro tratamientos y cinco repeticiones. En la tabla siguiente, se presenta de forma clara y estructurada los tratamientos analizados, la dosis por hectárea, las cantidades de los tratamientos y la frecuencia de aplicación (días posteriores al trasplante).

Tabla 1.

Tratamientos a evaluar

N°	Tratamiento	Dosis por Hectárea	Dosis/tratamiento	Frecuencia de aplicación
1	<i>Trichoderma</i>	1 L/ha	2cc/parcela	15 – 25 – 40 días
2	<i>Bacillus</i>	2 L/ha	4cc/parcela	15 – 25 – 40 días
3	<i>Trichoderma + Bacillus</i>	1 L + 1 L/ha	2cc + 2 cc	15 - 25 – 40 días
4	Testigo convencional			15 - 25 – 40 días

Elaborado por: La autora, 2026.

3.2.3 Diseño experimental

El estudio se realizó bajo un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con la finalidad de reducir la variabilidad experimental y aumentar la precisión de los resultados. Este diseño contempla cuatro tratamientos y cinco repeticiones, lo que da como resultado un total de veinte unidades experimentales. Cada tratamiento se asigna de forma aleatoria en cada bloque, lo que permite un control adecuado de las condiciones del experimento y posibilita una comparación estadística válida entre los tratamientos evaluados.

Tabla 2.
Modelo análisis de varianza

Fuente de variación	Fórmula	Desarrollo	Grados de libertad
Tratamientos	$(t-1)$	$(4-1)$	3
Repeticiones	$(r-1)$	$(5-1)$	4
Error	$(t-1)(r-1)$	$(4-1)(5-1)$	12
Total	$(t*r-1)$	$(4*5-1)$	19

Elaborado por: La autora, 2026.

3.2.3.1. Delimitación experimental

Las unidades experimentales consisten en parcelas de 20 m², con medidas de 5 m de longitud y 4 m de ancho. Se establece un límite alrededor de cada parcela para prevenir interferencias entre los tratamientos, considerando así un área útil para la recolección de datos y la evaluación de las variables agronómicas.

Tabla 3.
Características de las parcelas experimentales

Tipo de diseño	DBCA
Número de tratamientos	4
Número de repeticiones	5
Número de parcelas	20
Forma	Rectangular
Marco de plantación	5 x 4
Distancia entre repeticiones y parcelas	1 m
Largo de parcela	5 m
Ancho de parcela	4 m
Distancia entre planta	0.20 m
Distancia entre hilera	0.20 m
Área total de cada parcela	20 m ²
Área útil – tratamientos	1 m ²
Número de planta por parcela	500
Número de plantas a evaluarse/parcela	10
Población de plantas total	10.000
Área neta del ensayo	400 m ²
Área total de experimento	775 m ²

Elaborado por: La autora, 2026.

3.2.4 Recolección de datos

3.2.4.1. Recursos

3.2.4.1.2. Materiales experimentales.

Para el desarrollo del experimento se utilizó biofertilizantes formulados a base de microorganismos benéficos del género *Trichoderma sp.* y *Bacillus sp.*, aplicados en el cultivo de arroz (*Oryza sativa L.*), en las dos variedades SFL-011 y SFL-09.

3.2.4.1.3. Materiales y equipos

Para la ejecución del experimento se utilizó material e instrumento de campo tales como pala, machete, flexómetro, balanza, carteles, estacas, piolas, semillas certificadas, libreta de campo y bomba de fumigación.

Asimismo, se empleó equipos de registro y procesos de información, incluyendo teléfono celular, cámara fotográfica y computadora. Para las labores agrícolas se utilizaron maquinarias como tractor agrícola y equipos de preparación del suelo, tales como pataleta y romplow, entre otros implementos necesarios para el desarrollo del ensayo.

3.2.4.1.4. Recurso humano.

Tesista Stefania Paredes Bajaña

Tutor Ing. Danilo Valdez

3.2.4.1.5. Recurso económico.

Este trabajo de investigación fue financiado únicamente por recursos propios de la tesista.

Tabla 4.

Presupuesto

Recursos	Total, dólares (\$)
Terreno	300
Preparación de suelo	60
Maquinaria	90
Semilla	100
Biofertilizantes	40
Jornales	100
Riego	40
Total	730

Elaborado por: La autora, 2026.

3.2.4.2 Métodos y técnicas

3.2.4.2.1. Métodos de investigación.

Este método permitió visualizar de manera sistemática los resultados obtenidos, con la finalidad de cumplir con los objetivos planteados y comprobar las hipótesis establecidas en el presente estudio. Este método proporcionó un marco metodológico adecuado para la interpretación de los datos y la evaluación del efecto de los tratamientos aplicados.

- **Método deductivo**

Este método hizo posible basarse en principios generales relacionados con el efecto de los biofertilizantes sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo de arroz, se analizó de manera específica la respuesta de las variedades SFL11 y SFL09 frente a cada uno de los tratamientos evaluados. A través de este enfoque, se comparó las variables agronómicas y productivas obtenidas en cada tratamiento, lo que facilitó la identificación de las dosis de biofertilizantes más eficiente en términos de rendimiento productivo.

- **Método experimental**

Mediante este método, se estableció las dosis y los biofertilizantes empleados como complemento en la fertilización del arroz (*Oryza sativa*), con el objetivo de comprobar cuál de los tratamientos resultó más eficaz. Este enfoque experimental garantizó la obtención de datos confiables, al permitir la comparación objetiva entre los tratamientos evaluados.

- **Método sintético**

Este método permitió identificar y relacionar los resultados alcanzados a partir de la evaluación de las variables estudiadas, lo que facilitó la interpretación global de la información, la elaboración de la discusión y la formulación de las conclusiones.

3.2.4.2.2. Técnicas de investigación.

Las técnicas de investigación empleadas comprenden la ejecución de las labores agrícolas necesarias para el manejo y evaluación del cultivo de arroz. Estas incluyen la preparación del suelo, la delimitación y acondicionamiento de las parcelas experimentales, la siembra, el manejo del riego, la fertilización, el control fitosanitario de plagas y enfermedades, el manejo de malezas y la cosecha. Todas las actividades se realizan siguiendo criterios técnicos y agronómicos, con el fin de

asegurar el adecuado crecimiento del cultivo y la obtención de datos confiables para la evaluación de los tratamientos.

- **Preparación de terreno**

La preparación del suelo es una etapa importante para el cultivo. En primer lugar, se realizó la labor de arado con el fin de remover y airear el suelo. Posterior a esto se llevó a cabo la nivelación del terreno, lo cual permitió una distribución de agua correcta. Una vez nivelado se aplicó una lámina de agua adecuada para el desarrollo del fanguero, proceso que contribuye a mejorar la estructura del suelo.

- **Delimitación de las parcelas**

Se seleccionó el límite de las parcelas para ello, se empleó estacas, cintas métricas y cuerdas, asegurando que cada parcela tenga dimensiones uniformes y caminos de acceso. Además, esta división admite aplicar los tratamientos de forma controlada, con un total de veinte parcelas, ya que este proyecto incluye cuatro tratamientos y cinco repeticiones cada uno, lo que permitió un análisis estadístico confiable y comparaciones claras entre las variables evaluadas.

- **Construcción de parrillas**

Con el fin de prevenir la contaminación entre las unidades experimentales y los bloques, se construyó parrillas o muros perimetrales alrededor de cada unidad experimental, el cual permitió la separación y delimitación de las parcelas. Esta medida tuvo como objetivo mantenerlas hidráulicamente aisladas entre sí, garantizando un manejo eficiente y controlado del recurso hídrico.

- **Trasplante**

El trasplante se llevó a cabo con las dos variedades de arroz, se lo realizó de forma manual bajo una distancia de 20 cm entre plántulas, con el fin de asegurar una adecuada distribución espacial del cultivo.

Posterior se realizó la remoción parcial del cogollo de la plántula con el propósito de estimular su desarrollo vegetativo y favorecer el macollamiento temprano.

- **Manejo de malezas**

El cultivo se estableció bajo condiciones de inundación continua durante un período superior a 45 días, lo que limitó la presencia y el desarrollo de malezas. No obstante, previo a las fases de floración y maduración, el manejo de malezas se realizó mediante control manual complementado con la aplicación del herbicida no selectivo Tiro Fijo 1l/ha, para el área experimental cultivada, se aplicó 20 ml en 20

litros de agua y se lo aplico a los 70 días. Con el fin de minimizar la competencia y asegurar un adecuado desarrollo del cultivo.

- **Control de plagas y enfermedades**

Este manejo se efectuó conforme a la presencia y la incidencia de las plagas observadas, se aplicó insecticida biológico y Algateq-WP la primera aplicación fue a los 30 días, segunda aplicación a los 60 días y la tercera aplicación a los 75 días después de la siembra la dosis que se uso fue 100ml en 20 litros de agua. Esta aplicación se realizó con las recomendaciones técnicas y dosis sugeridas.

- **Fertilización**

La fertilización de todas las parcelas experimentales se realizó en función de los requerimientos nutricionales del cultivo y bajo el criterio técnico del tutor de tesis. Se utilizó fertilizantes como fosfato diamónico (DAP), Fortaleza 37+9 y Phoscasil. La urea se utiliza como fuente principal de nitrógeno, contribuye a satisfacer la demanda del cultivo durante las fases de desarrollo vegetativo y reproductivo. Las aplicaciones de fertilizantes se realizaron a los 15, 30 y 45 días después de la siembra en todos los tratamientos, incluido el testigo, con el fin de garantizar condiciones nutricionales homogéneas para la evaluación de los tratamientos.

- **Riego**

El riego se aplicó de acuerdo con las necesidades hídricas del cultivo y su etapa fenológica, evita tanto el exceso como la escasez de agua en su desarrollo. El manejo adecuado del riego no solo optimiza el rendimiento, sino que también contribuye a un uso eficiente del recurso hídrico, en sistemas agrícolas.

- **Aplicación de biofertilizantes**

Para este estudio se ejecutó tres aplicaciones de *Trichoderma sp* y *Bacillus sp* a los 15, 25 y 40 días después del trasplante, se utilizó una bomba de mochila para asegurar una distribución uniforme del biofertilizante en cada parcela. Esta metodología permite una aplicación homogénea de los tratamientos y garantizó la correcta cobertura del cultivo y la confiabilidad de los resultados obtenidos.

- **Cosecha**

La cosecha se llevó a cabo de forma mecánica a los 120 días después de la siembra, cuando el grano alcance el estado de madurez fisiológica necesario.

3.2.5. Análisis estadístico

En este estudio se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) para comparar diferencias entre tratamientos. Se utilizó la prueba de Tukey con ajuste al 5%.

Todos los análisis estadísticos se realizaron y analizaron con el software InfoStat versión 2020, herramienta que permitió el manejo y análisis de los datos recopilados a lo largo de la investigación.

3.2.5.1. Hipótesis estadística

Hipótesis Nula (Ho): Los distintos tratamientos con biofertilizantes no generó aumento en la productividad del arroz en el cantón Santa Lucía.

Hipótesis Alternativa (Ha): Al menos uno de los tratamientos fue efectivo a las diferentes aplicaciones de biofertilizantes para incrementar la productividad del cultivo de arroz en el cantón Santa Lucía.

4. RESULTADOS

4.1 Identificación de las especies de *Trichoderma sp* y *Bacillus sp*.

El hongo antagonista *Trichoderma sp.* presentó parámetros macroscópicos típicos del género, creció y se expandió por toda la caja Petri en un periodo de tres días de incubación. Después la colonia adquirió un color blanquecino, con hifas septadas y un micelio ramificado; entre los cinco y ocho días, contrajo una tonalidad verde intensa, atribuida a la formación de esporas reproductivas.

A nivel microscópico, se observó un micelio hialino (inoloro), del cual emergen conidióforos responsables de la formación de conidios asexuales, la cepa fue clasificada como un deuteromiceto, identificado como *Trichoderma harzianum*.

Se mostró el crecimiento macroscópico de bacterias *Bacillus* que crecían con rapidez en forma irregular, bordes ondulados y superficie rugosa, de color blanquecino a crema. La consistencia fue seca y opaca.

A nivel microscópico, se encontraron bacilos Gram positivos, con células en forma de bastón largo dispuestas de manera aislada o en cadenas cortas. Se encontró endosporas situadas de manera central lo que confirmó su clasificación al género *Bacillus subtilis*. (figura 5).

4.2 Determinación del comportamiento agronómico del cultivo de arroz mediante la aplicación de diferentes dosis de biofertilizantes

4.2.1 Altura de la planta

En la tabla 5 presenta el análisis de varianza para la variable altura de planta a los 70 días, donde evidencia diferencias estadísticas significativas entre tratamientos con ($p < 0.0001$), lo que indica que los tratamientos aplicados influyen de manera significativa en el crecimiento del cultivo. El coeficiente de variación obtenido ($CV = 6.33 \%$) demuestra una adecuada precisión experimental y la baja variación de los datos es buena. Al realizar la prueba Tukey al 5% probabilidad, encontramos que los tratamientos T1 (SFL-11-*Trichoderma*) con 1.11 m, T2 (SFL-11-*Bacillus*) con 1.09 m registran un promedio positivo de altura de planta, mientras que el tratamiento T3 (SFL-09-*Trichoderma+Bacillus*) con 1.05 m y T4 (SFL-09-Testigo) con 1.02 m, el promedio negativo respectivos para el crecimiento de la planta, lo que indica que los tratamientos asociados con *Trichoderma* y *Bacillus* tendrán un impacto positivo sobre el desarrollo del cultivo.

Tabla 5.

Altura de planta (m) a los 70 días

Tratamiento	Variedad	Biofertilizante	Medias (m)	Grupo Tukey
1	SFL-11	<i>Trichoderma</i>	1.11	A
2	SFL-11	<i>Bacillus</i>	1.09	A
3	SFL-09	<i>Trichoderma+Bacillus</i>	1.05	B
4	SFL-09	Testigo convencional	1.02	B
		Coefficiente de variación	6.33	
		p valor	0.0001	

Elaborado por: La autora, 2026.

4.2.1 Longitud de espiga (cm).

Para la variable longitud de espiga no existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados con ($p > 0.05$) mientras que el coeficiente de variación ($CV = 6.58$) revela que los datos se obtuvieron con una alta precisión experimental y homogeneidad. Conforme a la prueba de Tukey al 5% de significancia se determinó que no hay diferencias significativas. Las medias de longitud oscilaron en el tratamiento T1 (SFL-11-*Trichoderma*) con 21.62 cm, T2 (SFL-11- *Bacillus*) con 21.52 cm, T3 (SFL-09-*Trichoderma+Bacillus*) y T4 (SFL-09-Testigo).

Tabla 6.

Longitud de espiga (cm)

Tratamiento	Variedad	Biofertilizante	Medias	Grupo Tukey
1	SFL-11	<i>Trichoderma</i>	21.62	A
2	SFL-11	<i>Bacillus</i>	21.52	A
3	SFL-09	<i>Trichoderma + Bacillus</i>	21.46	A
4	SFL-09	Testigo convencional	21.44	A
		Coefficiente de variación	6.58	
		p valor	0.05	

Elaborado por: La autora, 2026.

4.2.2 Número de macollos por planta.

El análisis de varianza realizado para la variable número de macollos por planta representado en la tabla 7, mostró un efecto muy significativo entre los tratamientos evaluados con ($p < 0.0001$), mientras que el coeficiente de variación

(CV = 5.99) indica una buena precisión experimental. Según la prueba de Tukey al 5% de probabilidad permitió discernir diferencias estadísticas entre los tratamientos, identifica al tratamiento T3 (SFL-09-*Trichoderma* + *Bacillus*) con el promedio más alto de 33.62 macollos, en comparación con los otros tratamientos. Por el contrario, los tratamientos T1 (SFL-11-*Trichoderma*) y T2 (SFL-11- *Bacillus*) no tomaron valores significativos.

Tabla 7.

Número de macollos por planta

Tratamiento	Variedad	Biofertilizante	Media	Grupo Tukey
3	SFL-09	<i>Trichoderma</i> + <i>Bacillus</i>	33.62	A
4	SFL-09	Testigo convencional	26.56	A
1	SFL-11	<i>Trichoderma</i>	24.22	C
2	SFL-11	<i>Bacillus</i>	23.84	C
		Coefficiente de variación	5.99	
		p valor	0.0001	

Elaborado por: La autora, 2026.

4.2.3 Número de grano por espiga

En la tabla 8 indica un análisis de varianza del número de grano por espiga donde muestra que existen diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0.0001$). Esto muestra que los tratamientos aplicados tuvieron un efecto preciso en la formación del grano. Por otro lado, el coeficiente de variación (CV = 3.60) indica una buena precisión experimental. La prueba de Tukey al 5 % de significancia confirmó que los tratamientos T1 (SFL-11-*Trichoderma*), T3 (SFL-09-*Trichoderma* + *Bacillus*) y T2 (SFL-11- *Bacillus*) están en un mismo grupo estadístico. Mientras que el tratamiento T4 (SFL-09-Testigo) reflejó un menor promedio (130.54 granos).

Tabla 8.

Número de granos por espiga

Tratamiento	Variedad	Biofertilizante	Media	Grupo Tukey
1	SFL-11	<i>Trichoderma</i>	135.08	A
3	SFL-09	<i>Trichoderma + Bacillus</i>	134.46	A
2	SFL-11	<i>Bacillus</i>	133.02	A
4	SFL-09	Testigo convencional	130.54	B
		Coeficiente de variación	3.60	
		p valor	0.0001	

Elaborado por: La autora, 2026.

4.2.4 Peso de 1000 granos.

Los resultados a la variable peso de mil granos que se observa en la tabla 9 muestra que no existen diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados ($p > 0.05$) lo que significa que las condiciones de los tratamientos no generaron efecto significativo en esta variable productiva. El coeficiente de variación (CV = 4.90) refleja una alta precisión lo que indica una correcta rigurosidad experimental y fiabilidad en los datos obtenidos. La prueba de Tukey, indicó ausencia de diferencias estadísticas entre tratamientos, agrupándose una misma categoría (A). Aunque el T1 (SFL-11-*Trichoderma*), alcanzó un promedio 35.20g, diferenciándose al tratamiento T4 (SFL-09-Testigo) con 33.20g quien presentó un menor promedio.

Tabla 9.

Peso de los 1000 granos en gramos

Tratamiento	Variedad	Tratamiento	Medias	Grupo Tukey
1	SFL-11	<i>Trichoderma</i>	35.20	A
3	SFL-09	<i>Trichoderma + Bacillus</i>	34.00	A
2	SFL-11	<i>Bacillus</i>	33.60	A
4	SFL-09	Testigo convencional	33.20	A
		Coeficiente de variación	4.90	
		p valor	0.05	

Elaborado por: La autora, 2026.

4.3 Establecimiento del mejor tratamiento a la aplicación complementaria de biofertilizantes *Trichoderma sp* y *Bacillus sp*.

4.3.1 Productividad (Kg/ha).

Basado en los resultados mostrados en la tabla 10 se realizó un análisis para la variable Rendimiento en Kilogramos por Hectárea, indica que no presenta diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados ($p>0.05$), mientras que el coeficiente de variación ($CV=14.65$), señala que los tratamientos aplicados no generaron variaciones relevantes en el rendimiento del cultivo. La prueba de Tukey al 5% de significancia mostró que todos los tratamientos se integran en una misma categoría (A), lo cual muestra que, bajo las condiciones de este estudio, ninguna de las variantes experimentales superó estadísticamente a las demás en términos de rendimiento final. Aunque no se evidencian diferencias estadísticas el tratamiento T3 (SFL-09-*Trichoderma* + *Bacillus*) registró un mejor promedio de rendimiento 8346.00 kg, seguido de T1 (SFL-11-*Trichoderma*) con 7602.00 kg, T2 (SFL-11- *Bacillus*) con 7578.00 kg y el T4 (SFL-09-Testigo) quien presento el promedio más bajo 7239.00 kg.

Tabla 10.

Rendimiento en kilogramos por hectáreas

Tratamiento	Variedad	Biofertilizante	Media	Grupo Tukey
3	SFL-09	<i>Trichoderma</i> + <i>Bacillus</i>	8346.00	A
1	SFL-11	<i>Trichoderma</i>	7602.00	A
2	SFL-11	<i>Bacillus</i>	7578.00	A
4	SFL-09	Testigo convencional	7236.00	A
		Coeficiente de variación	14.65	
		p valor	0.05	

Elaborado por: La autora, 2026.

5. DISCUSIÓN

La presente investigación estuvo basada en evaluar el efecto de biofertilizantes como complemento a la fertilización edáfica en dos variedades de arroz para incrementar la productividad. Dando como resultado lo siguiente:

Con base al primer objetivo, mediante el uso de un microscopio electrónico se pudo identificar las especies de *Trichoderma sp* y *Bacillus sp* utilizados como biofertilizantes para favorecer el crecimiento vegetativo y reproductivo del cultivo de arroz en la zona de Santa Lucia, recinto Picadura, donde se observó un micelio hialino (inoloro), del cual emergen conidióforos responsables de la producción de conidios asexuales. En función de las características macro y microscópicas registradas, la cepa fue clasificada como un deuteromiceto, identificado como *Trichoderma harzianum*. Así mismo, se evidenció la presencia de endosporas, localizadas de manera central o subterminal, sin provocar deformación de la célula bacteriana, lo que les confiere alta resistencia a condiciones ambientales desfavorables. Lo cual se determinó que la cepa corresponde al género *Bacillus subtilis*. Este resultado coincide con Ibáñez et al. (2023) afirman que la investigación sobre biofertilizantes implica principalmente el aislamiento e identificación de cepas microbianas con la capacidad de mejorar el desarrollo de los cultivos mediante fijación de nitrógeno, solubilización de fósforo, movilización de nutrientes o la producción de hormonas promotoras del desarrollo vegetal. Estas cepas microbianas pueden aplicarse a semilla, superficies vegetales o al suelo.

Conforme al segundo objetivo se evidencia que los tratamientos SFL-11-*Trichoderma* y SFL-09-*Bacillus* registran los resultados más destacados en relación la variable altura de planta, con valores de 1.11 m y 1.09 m. Esto concuerda con Viera (2020) quien señala que los microorganismos utilizados demuestran su papel como promotores del crecimiento vegetal, lo que influye en la biomasa de las raíces y mejora la absorción de nutrientes como nitrógeno y calcio, los cuales están vinculados a la estructura de las paredes celulares y el avance de la planta. Así mismo se demuestra que la media de número de macollos el tratamiento T3 (SFL-09-*Trichoderma* + *Bacillus*) presentó el mayor promedio 33.62 macollos. De acuerdo con Bacusoy-Sánchez (2023) indican que los microorganismos benéficos promueven el desarrollo de las plantas al optimizar la absorción de nutrientes y estimular el desarrollo de las raíces, lo que favorece el macollamiento, que es un

componente fundamental en la fase vegetativa del arroz. En el caso del número de granos por espiga y peso de 1000 granos, la ausencia de diferencias significativas indica que los tratamientos no alteraron los procesos reproductivos ni el llenado del grano. El coeficiente de variación bajo en estas variables demuestra adecuada precisión experimental y homogeneidad en el manejo agronómico del ensayo lo que concuerda con Sánchez-Bacusoy (2023) quienes detallan que, en Ecuador los sistemas de producción enfrentan problemas relacionados con la carencia de macroelementos y de materia orgánica de los suelos.

De acuerdo al tercer objetivo con respecto al rendimiento en kg/ha, aunque el tratamiento T3 (SFL-09-*Trichoderma* + *Bacillus*) alcanzó el mayor promedio (8346 kg/ha), estadísticamente no superó a los demás tratamientos. Esto sugiere que, bajo las condiciones edafoclimáticas del cantón Santa Lucía y con un manejo agronómico uniforme, la fertilización edáfica convencional proporcionó condiciones suficientes para el desarrollo productivo del cultivo, reduciendo el impacto diferencial de los biofertilizantes. Landa (2019) enfatiza que, el cultivo de arroz por lo general se desarrolla bajo inundación permanente, se generan condiciones anaeróbicas en el suelo que restringen la acción de estos microorganismos benéficos.

En consecuencia, la hipótesis que se plantea en el proyecto de trabajo experimental solo se acepta parcialmente ya que, si bien se observó un efecto positivo en el macollamiento, no se comprobó un incremento significativo en la productividad final del cultivo.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Considerando la interpretación estadística de los datos experimentales se concluye de esta manera:

Los microorganismos identificados fueron *Trichoderma harzianum* y *Bacillus subtilis*, ambos con características y morfologías distintas.

La aplicación combinada de *Trichoderma sp.* y *Bacillus sp.* resulta en un incremento notable el número de macollos por planta, así como el rendimiento en kilogramos por hectárea, sin embargo, este efecto es atribuible a la presencia simultánea de ambos microorganismos.

En relación al número de granos por espigas y el peso de los mil granos, los resultados no evidencian diferencias significativas entre estos métodos debido a sus propiedades distintas.

El bajo coeficiente de variación observado en las variables respalda la precisión del experimento y la fiabilidad de los resultados obtenidos. Por otro lado, los biofertilizantes aplicados junto con la fertilización del suelo no son adecuados para el cultivo en esa zona.

6.2 Recomendaciones

Tras el análisis de los datos registrados se recomienda:

Realizar un análisis de biofertilizantes en el cultivo de arroz a través de diferentes factores agroecológicos y épocas de siembra para medir cómo se desarrollan los biofertilizantes en ambientes menos favorables y el impacto a largo plazo en la fertilidad del suelo y la productividad del cultivo.

Incluir futuras investigaciones con análisis microbiológicos del suelo y considerar el uso de biofertilizantes como alternativa sostenible para disminuir la dependencia de insumos químicos.

Capacitar a los pequeños agricultores sobre el uso apropiado de biofertilizantes, proporcionándoles conocimientos técnicos sobre su manejo, dosificación y aplicación, es fundamental fortalecer la comprensión de las diferencias entre los biofertilizantes y los insumos químicos, destacando sus beneficios en la mejora del suelo la sostenibilidad ambiental y la reducción de impactos negativos asociados al uso excesivos de agroquímico.

BIBLIOGRAFÍA

- Aldana, A. (2024, 24 de marzo). *Cultivo de arroz en Venezuela*. https://es.slideshare.net/slideshow/cultivo-de-arroz-en-venezuela-proyecto-de-pdi-finalpptx/266808805#google_vignette
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2010, 29 de Diciembre). *Código Orgánico de la Producción, Comercio e Inversiones, COPCI*. <https://www.gobiernoelectronico.gob.ec/wp-content/uploads/2018/10/C%C3%B3digo-Org%C3%A1nico-de-la-Producci%C3%B3n-Comercio-e-Inversiones-Copci.pdf>
- Bacusoy-Sánchez, J. E., & Fienco-Bacusoy, A. R. (2023). Trichoderma como biofertilizante en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) para una producción ecosostenible. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1). https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.5089
- Bayer. (2022). <https://www.agro.bayer.ec/es-ec/cultivos/arroz.html>
- Buelvas, J. M. (2021). Importancia de los factores climáticos en el cultivo de arroz. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 6(1), 28-34. <https://doi.org/https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/rcyta/article/view/1080/1164>
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Artículo 281 [Título VI]*. https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf
- Control Bio. (2025, 10 de febrero). *Control Bio*. Microorganismos beneficiosos en los suelos cultivados: [https://controlbio.es/blog/c/129_microorganismos-beneficiosos-en-los-suelos-cultivados.html#:~:text=Fijaci%C3%B3n%20de%20nitr%C3%B3geno:%20Bacterias%20como%20Rhizobium%20\(que,las%20plantas%20pueden%20utilizar%20para%20su%20crecimiento.](https://controlbio.es/blog/c/129_microorganismos-beneficiosos-en-los-suelos-cultivados.html#:~:text=Fijaci%C3%B3n%20de%20nitr%C3%B3geno:%20Bacterias%20como%20Rhizobium%20(que,las%20plantas%20pueden%20utilizar%20para%20su%20crecimiento.)
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2017, 14 abril). Características que se destacan en el cultivo de arroz. (58). https://doi.org/https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_abr_2017.pdf
- DFinnova. (2022, 27 de junio). *DFGRUPO*. El arroz, uno de los productos agrícolas más importantes: <https://dfinnova.com/2022/06/27/el-arroz-uno-de-los-productos-agricolas-mas-importantes/>

- Donoso, G., Paredes, M., Becerra, V., Carracelas, G., & Machesi, C. (2020). *Clima de las zonas productoras de arroz en el mundo*. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/16110/1/cap.4-Donoso.pdf>
- García, M. (2020). Momentos de aplicación de dos bioestimulantes en el rendimiento de arroz (*Oryza sativa L*) Cv. INIA-507 La Conquista, en fase soca bajo riego [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva Perú] <https://repositorio.unas.edu.pe/>
- Gómez, B. A. (2022). *Efecto de dos cepas de Bacillus en la prevención de enfermedades del cultivo de arroz (oryza sativa L.) en dos métodos de siembra* [Tesis de Maestría, Universidad Agraria del Ecuador]. <https://cia.uagraria.edu.ec/>
- Gómez, U. I., & Mero, V. K. (2021). *Aplicación compuesta de abono orgánico y fertilizantes para reducir costos de producción en los cultivos de arroz de la provincia del Guayas* [Tesis de Pregrado, Escuela Superior Politécnica ESPOL FCSH]. <https://www.dspace.espol.edu.ec/>
- Gonzales, L. Y., Ortega, B. J., Anducho, R. M., & Mercado, F. Y. (2022). Bacillus y Trichoderma: Características generales y su aplicación en la agricultura. *SciELO México*, 25. <https://doi.org/https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.520>
- González, R. D., & González, R. M. (2023). *Respuesta de variedades de arroz sometida a diferentes edades de transplante en el sitio la cuca*. [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Machala]. <https://repositorio.utmachala.edu.ec/>
- Ibáñez, A., Garrido, S., Vasco, M., & Barreiro, C. (2023). Del laboratorio al campo: Biofertilizantes en el siglo XXI. *Horticultura*, 9(12). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/horticulturae9121306>
- infoAgro. (2020). Cultivo de arroz: <https://infoagro.com/herbaceos/cereales/arroz.htm>
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP]. (2023, 22 de marzo). *Manejo de riego*. <https://tecnologia.iniap.gob.ec/wp-content/uploads/2023/11/riego.pdf>
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP]. (2024, 13 de abril). Cultivo de Arroz: <https://www.iniap.gob.ec/programa-1/>

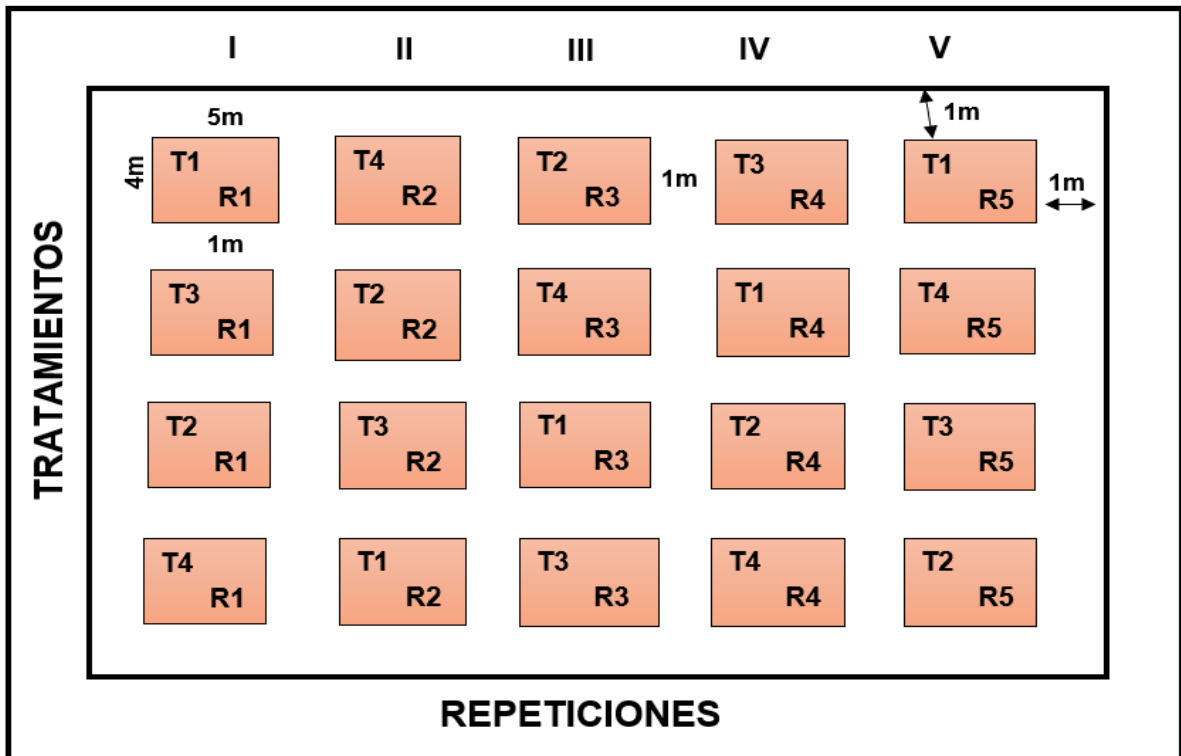
- Instituto para la innovación Tecnológica en la Agricultura [INTAGRI]. (2019, 14 de febrero). Trichoderma Control de Hongos Fitopatógenos. *Intagri*. <https://doi.org/https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/trichoderma-control-de-hongos-fitopatogenos>
- Ipiates, J. (2021). Producción del hongo-moho (*Trichoderma harzianum*): una revisión. *Revista Biorrefinería*, 4(4), 1. <https://cebaecuador.org/wp-content/uploads/2022/01/14.pdf>
- Kogut, P. (2023). *Suelo ideal para el cultivo del arroz*. <https://eos.com/es/blog/cultivo-del-arroz/>
- Landa, B. (2019). Efectos del tratamiento de plántulas de *Trichoderma* con el Sistema de Intensificación del Arroz y con el manejo convencional del arroz trasplantado. *PubMed Centra*, 7. <https://doi.org/https://peerj.com/articles/5877/>
- Latam, B. (2023). *Bacillus* demuestra su potencial como biocontrolador del tizón bacteriano del arroz: <https://biologicalslatam.com/bacillus-velezensis-demuestra-su-potencial-como-biocontrolador-del-tizon-bacteriano-del-arroz/>
- León, M. D., Alarcón, T. E., & Gómez, Á. M. (2021). *El mercado de los biofertilizantes*. *Bioproductos y Bioprocesos Agropecuarios*: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/37084/Ver_documento_37084.pdf?sequence=6
- Lucas, L. J., & Llerena, R. L. (2024). *Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.)*. <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/a14eac06-da42-4387-8ae7-588089d63cdf/content>
- Manvert. (2025). *¿Qué es el *Bacillus* y qué beneficios aporta a los cultivos?* <https://manvert.com/medios/bacillus-agricultura>
- Martin, A. (2023, 5 de mayo). *La Fertilización del cultivo del arroz*. <https://herografertilizantes.com/la-fertilizacion-del-cultivo-del-arroz/>
- Medina, P. J. (2022). *Calidad molinera de las principales variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) que se comercializan en nuestro país* [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Babahoyo]. <https://dspace.utb.edu.ec/>
- Moncayo, G. L. (2023). *Efectos de niveles de fósforo en dos variedades de arroz en el cantón Baba, provincia Los Ríos* [Tesis de Pregrado, Universidad Agraria del Ecuador]. <https://cia.uagraria.edu.ec/>

- Navas, M., Lugo, M., Torres, O., Méndez, J., Rivero, Y., Moreno, N., & Montilla, H. (2016). Uso de Trichoderma en el manejo de enfermedades fungosas y efectos sobre parámetros agronómicos del cultivo de arroz en Barinas, Venezuela. *Dialnet*, 66(3-4), 105. https://doi.org/http://sian.inia.gob.ve/revistas_ci/
- Palma, D. (2021). *Potencialidad del cultivo de arroz*. <https://campotabasco.gob.mx/wp-content/uploads/2021/04/ARROZ.pdf>
- Paredes, M., Becerra, V., Donoso, G., Olmos, S., & Rodríguez, R. (2021). *Morfología y estados de crecimiento y desarrollo de la planta de arroz*. INIA CHILE. <https://doi.org/https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/15751#>
- Pérez, D. G., Peñuelas, R. O., Núñez, V. M., Martínez, G. L., López, P. I., Reyes, G. Y., & Argente, M. L. (2021). El estrés salino en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L). Papel de los oligogalacturónidos como protectores de las plantas. *Revista fitotecnia mexicana*, 44(3). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802021000300283
- Pincioli, M., Ponzio, N., & Salsamendi, M. (2015). *El arroz alimento de millones*. <https://doi.org/https://libros.unlp.edu.ar/index.php/unlp/catalog/view/410/377/1287-1>
- Rojas, B. M., Heydrich, P. M., Sánchez, C. D., Tejera, H. B., Ríos, R. Y., & Lugo, M. D. (2021). Bacterias del género *Bacillus* con potencialidades para la sostenibilidad agrícola en Cuba. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*, 11(3). https://doi.org/http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2304-01062021000300004#aff2
- Sela, G. (2025). *Cropaia*. Biofertilizantes en la agricultura: <https://croipaia.com/es/blog/biofertilizantes/>
- Velázquez, V. J., Zambrano, G. F., Villafuerte, B. A., Zambrano, P. D., Espinoza, V. E., Torres, G. C., & Chávez, V. J. (2020). Efectos de la cepa nativa de *Trochoderma* sp. Y lixiviado de de vermicompost bovino sobre el crecimiento foliar y contenido de clorofila en arroz (*oryza sativa* L.) en fase de semillero. 7(2), 25. <https://doi.org/https://doi.org/10.36331/revista.v7i2.104>

- Viera, A. W. (2020). Rol de los microorganismos benéficos en la Agricultura Sustentable. 8(2). <https://doi.org/http://www.scielo.org.bo/>
- Villarreal, D. M., Villa, R. E., Cira, C. L., Estrada, A. M., Parra, C. F., & Santos, V. S. (2018). El género *Bacillus* como agente de control biológico y sus implicaciones en la bioseguridad agrícola. *Revista mexicana de fitopatología*, 36(1). <https://doi.org/https://www.scielo.org.mx/>

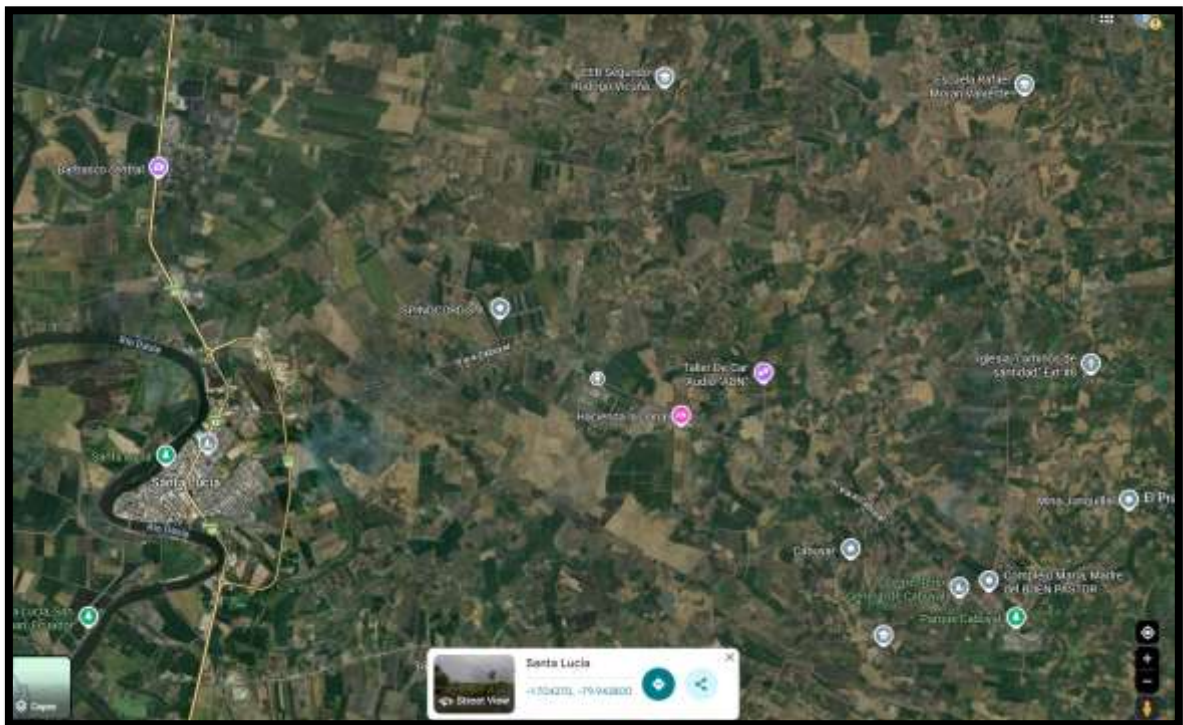
ANEXOS

Figura 1.
Diseño de parcela



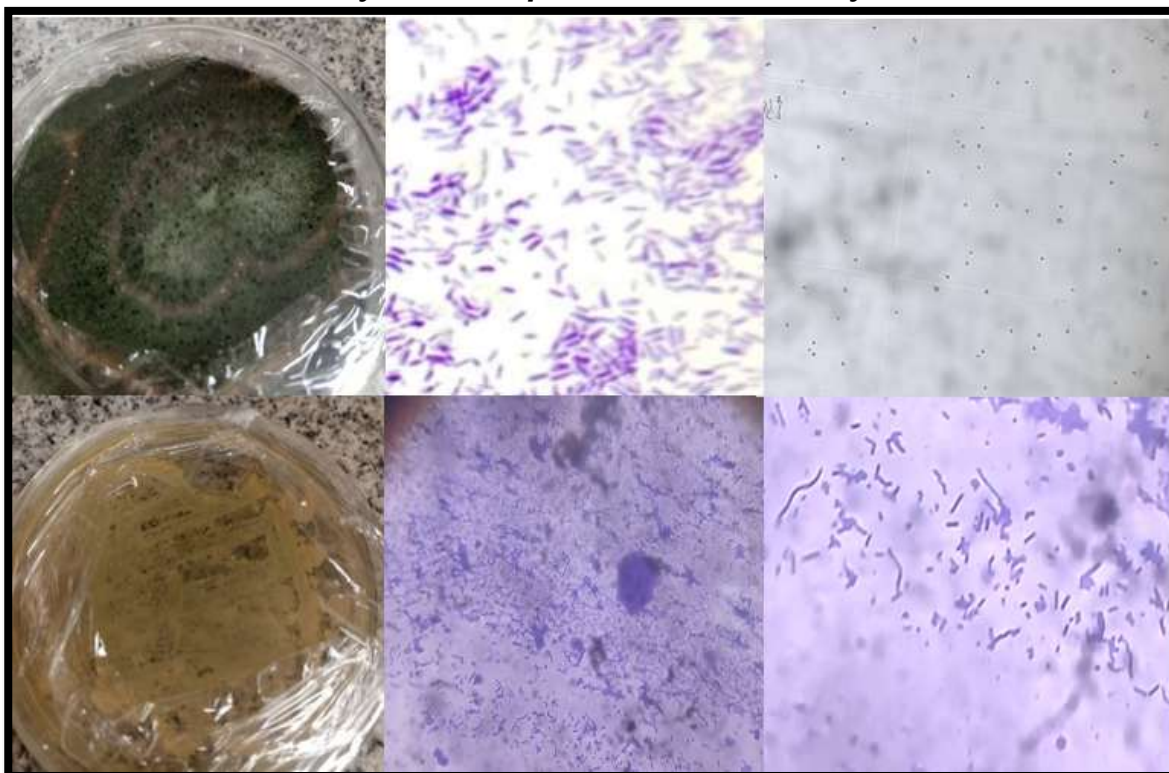
Elaborado por: La autora, 2026.

Figura 2.
Ubicación del Área Experimental



Elaborado por: La autora, 2026.

Figura 5.
Caracterización macro y microscópica de *Trichoderma* y *Bacillus*



Elaborado por: La autora, 2026.

Figura 6.
Análisis de varianza altura de planta 70 días

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura de la planta	200	0,24	0,21	6,33

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,28	7	0,04	8,78	<0,0001
Repeticiones	0,02	4	0,01	1,34	0,2578
Tratamientos	0,26	3	0,09	18,71	<0,0001
Error	0,88	192	4,6E-03		
Total	1,16	199			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,03478
 Error: 0,0046 gl: 192

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
T1	1,11	50	0,01	A
T2	1,09	50	0,01	A
T3	1,05	50	0,01	B
T4	1,02	50	0,01	B

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

Elaborado por: La autora, 2026.

Figura 7.
Análisis de la varianza longitud de la espiga

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Longitud de la espiga	200	0,02	0,00	6,58

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9,01	7	1,29	0,64	0,7208
Repeticiones	8,03	4	2,01	1,00	0,4081
Tratamientos	0,98	3	0,33	0,16	0,9212
Error	384,97	192	2,01		
Total	393,98	199			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,72877
 Error: 2,0051 gl: 192

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T1	21,62	50	0,20 A
T4	21,52	50	0,20 A
T3	21,46	50	0,20 A
T2	21,44	50	0,20 A

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

Elaborado por: La autora, 2026.

Figura 8.
Número de macollos por planta

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Número de macollos por pla..	200	0,86	0,86	5,99

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3110,11	7	444,30	168,87	<0,0001
Tratamientos	3085,88	3	1028,63	390,95	<0,0001
Repeticiones	24,23	4	6,06	2,30	0,0601
Error	505,17	192	2,63		
Total	3615,28	199			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,83483
 Error: 2,6311 gl: 192

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T3	33,62	50	0,23 A
T4	26,56	50	0,23 B
T1	24,22	50	0,23 C
T2	23,84	50	0,23 C

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

Elaborado por: La autora, 2026.

Figura 9.
Análisis de la varianza número de granos por espiga

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Numero de granos por espig..	200	0,15	0,12	3,60

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	806,13	7	115,16	4,99	<0,0001
Repeticiones	195,75	4	48,94	2,12	0,0797
Tratamientos	610,38	3	203,46	8,82	<0,0001
Error	4429,75	192	23,07		
Total	5235,88	199			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=2,47212
 Error: 23,0716 gl: 192

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
T1	135,08	50	0,68	A
T3	134,46	50	0,68	A
T2	133,02	50	0,68	A
T4	130,54	50	0,68	B

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

Elaborado por: La autora, 2026.

Figura 10.
Análisis de la varianza peso de 1000 granos

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso de 1000 granos	20	0,33	0,00	4,90

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	16,70	7	2,39	0,86	0,5625
Repeticiones	5,50	4	1,38	0,50	0,7396
Tratamientos	11,20	3	3,73	1,35	0,3060
Error	33,30	12	2,78		
Total	50,00	19			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=3,12793
 Error: 2,7750 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
T1	35,20	5	0,74	A
T3	34,00	5	0,74	A
T2	33,60	5	0,74	A
T4	33,20	5	0,74	A

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

Elaborado por: La autora, 2026.

Figura 11.
Análisis de la varianza rendimiento (Kg/Ha)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento en kilogramos ..	20	0,52	0,23	14,65

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	16205715,00	7	2315102,14	1,82	0,1718
Repeticiones	12922020,00	4	3230505,00	2,55	0,0940
Tratamientos	3283695,00	3	1094565,00	0,86	0,4868
Error	15222780,00	12	1268565,00		
Total	31428495,00	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2114,86228
 Error: 1268565,0000 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T3	8346,00	5	503,70 A
T1	7602,00	5	503,70 A
T2	7578,00	5	503,70 A
T4	7236,00	5	503,70 A

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

Elaborado por: La autora, 2026.

Figura 12.
Preparación del suelo para el área experimental



Elaborado por: La autora, 2026.

Figura 13.
Medición de parcelas para el área experimental



Elaborado por: La autora, 2026.

Figura 14.
Colocación de cintas para los tratamientos



Elaborado por: La autora, 2026.

Figura 15.
Trasplante de plántulas



Elaborado por: La autora, 2026.

Figura 16.
Cierre de siembra



Elaborado por: La autora, 2026.

Figura 17.
Colocación de carteles



Elaborado por: La autora, 2026.

Figura 18.
Medición y preparación de dosis por tratamiento.



Elaborado por: La autora, 2026.

Figura 19.
Aplicación del producto según el tratamiento establecido



Elaborado por: La autora, 2026.

Figura 20.
Cultivo de arroz a los 30 días



Elaborado por: La autora, 2026.

Figura 21.
Colocación de pancarta



Elaborado por: La autora, 2026.

Figura 22.
Fertilización de parcelas



Elaborado por: La autora, 2026.

Figura 23.
Control de malezas



Elaborado por: La autora, 2026.

Figura 24.
Toma de altura en uno de los tratamientos a los 70 días del trasplante



Elaborado por: La autora, 2026.

Figura 25.
Toma de longitud de la espiga en uno de los tratamientos



Elaborado por: La autora, 2026.

Figura 26.
Conteo de números de granos por espiga



Elaborado por: La autora, 2026.

Figura 27.
Visita del docente tutor



Elaborado por: La autora, 2026.

Figura 28.
Supervisión del área experimental junto al docente tutor



Elaborado por: La autora, 2026.

Figura 29.
Recolección de variable macollos por planta



Elaborado por: La autora, 2026.

Figura 30.
Conteo de macollos



Elaborado por: La autora, 2026.

Figura 31.
Cultivo de arroz en etapa de maduración



Elaborado por: La autora, 2026.

Figura 32.
Peso de 1000 granos de arroz



Elaborado por: La autora, 2026.

Figura 33.
Peso de 1000 granos en uno de los tratamientos



Elaborado por: La autora, 2026.

Figura 34.
Cosecha manual



Elaborado por: La autora, 2026.