



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**ESTUDIO DEL POTENCIAL RESTAURADOR DE UN
BIOINSUMO MICROBIANO APLICADO A SUELOS
ARROCEROS MEDIANTE ENSAYOS DE
LABORATORIO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero Ambiental

AUTOR: JOSÉ STEEVEN RONQUILLO RONQUILLO

TUTORA: ING. GABRIELA MICHELLE ANDRADE DICAQ, M. Sc.

Guayaquil - Ecuador

2026

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, **José Steeven Ronquillo Ronquillo**, con documento de identificación No. **0943574269** declaro que:

El presente trabajo de titulación es de mi autoría y que asumo plena responsabilidad sobre su contenido, el cual ha sido elaborado conforme a los principios de ética y honestidad académica. De igual manera, autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana para que, sin fines de lucro y con propósitos académicos, pueda utilizar, difundir, reproducir o publicar, de forma total o parcial, el contenido del presente trabajo de titulación, respetando los derechos de autor establecidos.

Guayaquil, 17 de febrero del año 2026

Atentamente,



José Steeven Ronquillo Ronquillo

0943574269

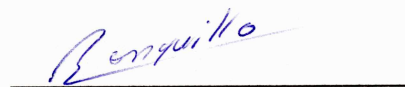
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, **José Steeven Ronquillo Ronquillo** con documento de identificación No. **0943574269**, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales, en virtud de que soy autor del Trabajo Experimental: **“ESTUDIO DEL POTENCIAL RESTAURADOR DE UN BIOINSUMO MICROBIANO APLICADO A SUELOS ARROCEROS MEDIANTE ENSAYOS DE LABORATORIO”**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que realizo la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 17 de febrero del año 2026

Atentamente,



José Steeven Ronquillo Ronquillo

0943574269

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

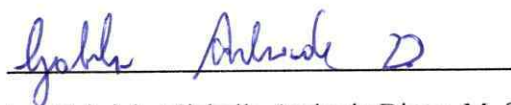
Yo, Gabriela Michelle Andrade Dicao portadora del documento de identificación No. 0919957316, en mi calidad de docente de la Universidad Politécnica Salesiana, certifico que bajo mi dirección académica fue desarrollado el trabajo de titulación titulado “ESTUDIO DEL POTENCIAL RESTAURADOR DE UN BIOINSUMO MICROBIANO APLICADO A SUELOS ARROCEROS MEDIANTE ENSAYOS DE LABORATORIO”, elaborado por José Steeven Ronquillo Ronquillo, con documento de identificación No. 0943574269.

El mencionado trabajo fue realizado bajo la modalidad de Trabajo Experimental y, tras su revisión, se determina que cumple con los lineamientos, requisitos académicos y normativas establecidas por la Universidad Politécnica Salesiana para optar al título de Ingeniero Ambiental.

Para constancia de lo expuesto, firmo el presente documento en la ciudad de Guayaquil, en la fecha de entrega oficial del trabajo de titulación.

Guayaquil, 17 de febrero del año 2026

Atentamente,



Ing. Gabriela Michelle Andrade Dicao, M. Sc.

0919957316

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, a mis padres, quienes han sido el pilar fundamental de mi vida. Gracias por su apoyo incondicional, por creer en mí incluso en los momentos en que los recursos eran escasos y por no rendirse jamás a mi lado. A lo largo de este camino, el amor, el sacrificio y la constancia de mi padre José Alberto Ronquillo Zuñiga y Ketty Cristina Ronquillo Camba, además de mi pequeña hermana Valentina Ronquillo, que fueron la fuerza que me permitió continuar cuando el trayecto parecía difícil. Su esfuerzo silencioso, su fe en mis capacidades y su ejemplo de perseverancia marcaron profundamente mi formación personal y académica, convirtiéndose en el impulso que hizo posible alcanzar este logro.

Agradezco profundamente los años vividos en la Universidad Politécnica Salesiana, una etapa que contribuyó de manera significativa a mi crecimiento académico y humano. Cada experiencia, desafío y aprendizaje adquiridos durante mi formación universitaria fortalecieron mis valores y mi compromiso como futuro profesional.

Finalmente, expreso mi sincero agradecimiento a los docentes que formaron parte de este proceso formativo, quienes no solo impartieron conocimientos en las distintas materias, sino que también compartieron enseñanzas de vida, valores éticos y ejemplos de compromiso que trascendieron las aulas. A través de su vocación, paciencia y dedicación, contribuyeron de manera significativa a mi crecimiento personal y profesional, orientándome no solo en el ámbito académico, sino también en la construcción de criterios, responsabilidad y sentido humano. Su guía constante, su exigencia formativa y su acompañamiento dejaron una huella imborrable que permanecerá como referencia en mi camino como profesional y como persona.

José Ronquillo Ronquillo

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a Dios por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad, mi guía en los instantes de incertidumbre y mi refugio en cada dificultad enfrentada durante este proceso académico. Su presencia constante me sostuvo cuando las fuerzas parecían agotarse, me otorgó la sabiduría para tomar decisiones correctas y la perseverancia para no rendirme ante los obstáculos. Gracias a su amor y misericordia, pude avanzar con fe, esperanza y confianza, hasta alcanzar este objetivo que hoy se convierte en una realidad.

Mi sincero agradecimiento a mi familia, quienes me brindaron la oportunidad de formarme profesionalmente y me apoyaron de manera incondicional en cada etapa de este camino. De manera especial, agradezco a mis tías, cuyo respaldo, confianza y palabras de aliento fueron fundamentales para continuar, incluso en los momentos más complejos. Su apoyo emocional, económica y moral representó un impulso invaluable para no rendirme.

Finalmente, expreso mi profundo agradecimiento a mis maestros, quienes con su conocimiento, vocación y compromiso contribuyeron de manera significativa a mi formación académica y humana. A través de su enseñanza, orientación y ejemplo, no solo fortalecieron mis capacidades profesionales, sino también mis valores y criterio personal. De manera especial, agradezco a la Ingeniera Gabriela Andrade, por su guía constante, su acompañamiento cercano y su disposición incondicional durante todo este proceso. Su apoyo permanente, su paciencia y su confianza en mi trabajo fueron fundamentales, ya que nunca se rindió conmigo y me brindó el impulso necesario para continuar incluso en los momentos más complicado de este trabajo. Sus enseñanzas, tanto académicas como personales, marcaron de forma significativa mi desarrollo profesional y humano, dejando una huella que perdurará en mi vida.

José Ronquillo Roquillo

RESUMEN

El presente estudio se orienta a evaluar el potencial restaurador de un bioinsumo microbiano aplicado a suelos arroceros mediante ensayos de laboratorio, considerando la creciente degradación de los suelos agrícolas y la disminución de su fertilidad como consecuencia del uso intensivo del suelo y prácticas agrícolas inadecuadas. El objetivo principal fue analizar el efecto del bioinsumo microbiano sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo, con énfasis en su capacidad de recuperación y mejoramiento.

Durante la fase experimental, se realizó la caracterización inicial del suelo arrocero mediante el análisis de parámetros como pH, conductividad eléctrica, contenido de materia orgánica y humedad, con el fin de establecer una línea base de las condiciones del suelo previo a la aplicación del bioinsumo. Posteriormente, se aplicó el bioinsumo microbiano a muestras de suelo dispuestas en recipientes individuales, bajo condiciones controladas de laboratorio.

Las muestras tratadas fueron sometidas a un período de incubación, simulando condiciones normales de humedad y temperatura propias del cultivo de arroz, con el propósito de evaluar la interacción del bioinsumo con el suelo. Finalizado el tiempo experimental, se realizó un nuevo análisis de los parámetros evaluados, permitiendo comparar los resultados antes y después de la aplicación del tratamiento.

Los resultados obtenidos evidenciaron mejoras en las características del suelo tratado, reflejadas principalmente en la estabilización del pH, el incremento del contenido de materia orgánica y una mejora en la retención de humedad, lo que sugiere un efecto positivo del bioinsumo microbiano en la recuperación de suelos arroceros. En conclusión, el bioinsumo microbiano demostró ser una alternativa viable y sostenible para la restauración de suelos agrícolas, contribuyendo al mejoramiento de su calidad y funcionalidad.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the restorative potential of a microbial bio-input applied to rice-growing soils through laboratory experiments, considering the increasing degradation of agricultural soils and the decline in their fertility as a consequence of intensive land use and inadequate agricultural practices. The main objective was to analyze the effect of the microbial bio-input on the physicochemical properties of the soil, with emphasis on its recovery and improvement capacity.

During the experimental phase, the rice-growing soil was initially characterized by analyzing parameters such as pH, electrical conductivity, organic matter content, and moisture, in order to establish a baseline of soil conditions prior to the application of the bio-input. Subsequently, the microbial bio-input was applied to soil samples placed in individual containers under controlled laboratory conditions.

The treated samples were subjected to an incubation period simulating normal moisture and temperature conditions typical of rice cultivation, in order to evaluate the interaction between the bio-input and the soil. Once the experimental period concluded, the evaluated parameters were analyzed again, allowing comparison of the results before and after treatment application.

The results showed improvements in the characteristics of the treated soil, primarily reflected in pH stabilization, increased organic matter content, and improved moisture retention. These findings suggest a positive effect of the microbial bio-input on the recovery of rice-growing soils. In conclusion, the microbial bio-input proved to be a viable and sustainable alternative for the restoration of agricultural soils, contributing to the improvement of their quality and functionality.

INDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	II
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	III
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTOS	VI
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
INDICE DE CONTENIDO	IX
INDICE DE TABLAS.....	XII
INDICE DE ILUSTRACIONES.....	XIII
CAPÍTULO I.....	1
1.Introducción	1
1.1 Situación problemática	2
1.2 Definición del problema.....	4
1.3 Justificación	5
1.4 Delimitación	6
1.5 Objetivos	8
1.6 Marco hipotético.....	9
CAPÍTULO II	10
2.Marco teórico.....	10
2.1 Antecedentes	10
2.2 Bases teóricas de las variables.....	11
2.3 Fundamentos teóricos	14
2.4 Fundamento legal	26
CAPÍTULO III.....	28

3. Metodología	28
3.1 Tipo de investigación.....	28
3.2 Población.....	28
3.3 Unidad de análisis	29
3.4 Recorrido para realizar el muestreo.....	30
3.5 Punto de muestreo.....	31
3.6 Caracterización de la muestra	32
3.7 Cálculo para número de muestra	32
3.8 Determinación del pH del suelo	35
3.9 Medición de la conductividad eléctrica (CE).....	36
3.10 Determinación de Humedad.....	36
3.11 Determinación de materia orgánica	37
3.12 Metodología para la creación del Bioinsumo.....	38
CAPITULO IV	46
4. Resultados	46
4.1 Recolección de muestras	46
4.2 Caracterización del suelo antes del bioinsumo	46
4.3 Resultado de la prueba de humedad antes del bioinsumo.....	46
4.4 Resultado de la prueba de MO antes del bioinsumo.....	47
4.5 Resultado de la prueba de pH previo a aplicar el bioinsumo.....	48
4.6 Resultado de la prueba de Conductividad Eléctrica previo a aplicar el bioinsumo.....	49
4.7 Valores de los parámetros del suelo previo a aplicar el bioinsumo	49
4.8 Elaboración del bioinsumo microbiano.....	50
4.9 Caracterización del suelo posterior a la aplicación del bioinsumo	61
4.10 Humedad del suelo después de la aplicación del bioinsumo.....	61
4.11 Materia orgánica después de la aplicación del bioinsumo.....	62
4.12 pH del suelo después de la aplicación del bioinsumo	63
4.13 Conductividad eléctrica después de la aplicación del bioinsumo.....	64

4.14 Comparación de los resultados después de la aplicación del bioinsumo ...	64
4.15 Evaluación de la eficiencia del bioinsumo microbiano	65
4.16 Comprobación de la hipótesis mediante prueba t de Student.....	67
CAPITULO V.....	69
5.Conclusiones y recomendaciones	69
5.1 Conclusiones	69
5.2 Recomendaciones	70
6.Citas bibliográficas.....	71
7.Anexos	75
7.1 ANEXO A	75
7.2 ANEXO B.....	76
7.3 ANEXO C	76
7.4 ANEXO D	77
7.5 ANEXO E.....	79
7.6 ANEXO F.....	80

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Coordenadas de la parcela.....	6
Tabla 2	Tipos De Suelo Agrícola.....	15
Tabla 3	Criterios de sustancia urea y biuret en suelo.....	18
Tabla 4	Análisis de microorganismos en suelo.....	22
Tabla 5	Coordenadas de la Unidad de Análisis.....	30
Tabla 6	Muestreo para suelos contaminados.....	31
Tabla 7	Parámetros del suelo.....	32
Tabla 8	Componentes del bioinsumo.....	41
Tabla 9	Tabla de resultados de humedad postratamiento.....	47
Tabla 10	Tabla de resultados de Materia Orgánica pos-tratamiento.....	48
Tabla 11	Tabla de resultados de pH postratamiento.....	48
Tabla 12	Tabla de resultados de conductividad eléctrica postratamiento.....	49
Tabla 13	Tabla de resultados de valores de los parámetros del suelo previo a aplicar el bioinsumo.....	50
Tabla 14	Tabla de resultados de humedad con la incorporación del bioinsumo.....	62
Tabla 15	Tabla de resultados de materia orgánica con la incorporación del bioinsumo.....	63
Tabla 16	Tabla de resultados de pH con la incorporación del bioinsumo.....	63
Tabla 17	Tabla de resultados de conductividad eléctrica con la incorporación del bioinsumo.....	64
Tabla 18	Tabla de resultados de valores de los parámetros del suelo tras la aplicar el bioinsumo.....	65

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1	Lugar de delimitación geográfica.....	7
Ilustración 2	Mayor margen delimitado del área del muestreo	7
Ilustración 3	Producción agrícola de los últimos años	11
Ilustración 4	Hongos Micorrízicos Arbusculares	19
Ilustración 5	Imagen de hongo Trichoderma ssp	23
Ilustración 6	Mosca soldado-negra y sus larvas	24
Ilustración 7	fotografía del aérea de estudio	29
Ilustración 8	Diferentes estrategias para la toma de muestras.....	30
Ilustración 9	Diagrama de flujo de la experimentación	44
Ilustración 10	dimensionamiento del balde.....	51
Ilustración 11	Calculo para la cantidad de agua.....	52
Ilustración 12	Incorporación de melaza	53
Ilustración 13	Incorporación de material vegetal	54
Ilustración 14	Incorporación de microorganismos nativos y simbióticos.....	55
Ilustración 15	Incorporación de material rico en materia orgánica.....	56
Ilustración 16	Método de verificación de Trichoderma spp.....	57
Ilustración 17	Visualización microscópica de colonias de hongos micorrízicos arbusculares a.....	58
Ilustración 18	Visualización microscópica de hifas de apariencia hialina y organización filamentosa de 100×-400x	59
Ilustración 19	Incremento porcentual de parámetros edáficos	66
Ilustración 20	Incremento en la eficacia del bioinsumo	67
Ilustración 21	Prueba t de Student.....	68

CAPÍTULO I

1. Introducción

En el escenario contemporáneo caracterizado por la intensificación de la producción agrícola, el desgaste gradual de los recursos naturales, la condición de los suelos agrícolas ha experimentado un notable deterioro, particularmente en áreas destinadas al cultivo de arroz. La aplicación reiterada y poco regulada de insumos químicos, junto con los procesos de compactación y la disminución del contenido de materia orgánica, ha ocasionado una reducción significativa de la fertilidad, alteraciones en la comunidad microbiana edáfica y una menor eficiencia en la retención y disponibilidad de nutrientes, lo que afecta directamente la estabilidad de los sistemas productivos y el desempeño de los cultivos. Frente a este escenario, resulta imprescindible implementar estrategias sostenibles orientadas a la recuperación de las propiedades edáficas en sus componentes físicos, químicos y biológicos. En este marco, los bioinsumos agrícolas se posicionan como una alternativa técnica y ambientalmente adecuada, al favorecer la reactivación de los procesos biológicos del suelo, disminuir la dependencia de productos sintéticos y promover prácticas compatibles con los principios de la agricultura sostenible. El bioinsumo de origen microbiano, formulado a partir de organismos benéficos como *Trichoderma spp.*, hongos *micorrízicos* y microorganismos fermentativos, posee una notable capacidad para optimizar la estructura del suelo que estimula el crecimiento de las raíces. De igual forma, la incorporación de procesos eco amigable como la incorporación de la especie de *Hermetia illucens* aporta materia orgánica y elementos nutritivos, fortaleciendo los procesos de restauración edáfica y contribuyendo al restablecimiento del equilibrio en agroecosistemas degradados.

La interacción de estos componentes favorece la reconstitución de la comunidad microbiana edáfica, la mejora de variables tales como la humedad, el pH, la

conductividad eléctrica y la fracción de materia orgánica, así como el fortalecimiento de la capacidad del sistema agrícola para responder a condiciones de estrés ambiental.

Estas cualidades posicionan como una opción técnicamente sólida para la rehabilitación de suelos agrícolas sometidos a manejo intensivo, especialmente en regiones arroceras del litoral ecuatoriano. En este marco, la presente investigación se orienta a analizar el efecto restaurador de un bioinsumo microbiano aplicado a suelos arroceros, principalmente a una parcela en donde se realizó la experimentación del suelo degradado en cantón Santa Lucía, provincia del Guayas, a través de evaluaciones en condiciones de laboratorio. Mediante la determinación de variables fisicoquímicas del suelo y bajo un enfoque de sostenibilidad fundamentado en la metodología MESMIS, se pretende establecer la eficacia de este producto como una alternativa ambientalmente responsable que contribuya a la recuperación edáfica, al incremento de la productividad agrícola y a la mitigación de impactos ambientales adversos.

1.1 Situación problemática

En el Ecuador, la producción agrícola constituye una actividad económica y social de gran relevancia. Sin embargo, en el presente estudio se evidencia que existe un 40 % de degradación en los suelos agrícolas, debido al incremento significativo en el uso de agrotóxicos en sectores como Daule, Laurel y Santa Lucía deteriorando la microbiota del suelo y generando a su vez la aparición de enfermedades fúngicas y virales, como tizón o quemazón (*Pyricularia grisea*), escaldadura (*Microdochium oryzae*), añublo de la vaina (*Rhizoctonia solani*), falso carbón del arroz (*Ustilaginoidea virens*) y virus de la hoja blanca transmitido por *Tagosodes orizicolus* (ACPAA, s.f.; JICA, s.f.). Estas patologías reducen la fotosíntesis, debilitan el sistema radicular y pueden disminuir la

cosecha hasta un 30%. A esto se suma la contaminación del agua provocada por la lixiviación de nitrógeno y fósforo hacia canales y cuerpos de agua, generando eutrofización y afectando la biodiversidad acuática (UTB, s.f.-a).

Se conoce que en estos sistemas productivos se emplean fertilizantes nitrogenados como urea y sulfato de amonio, herbicidas como glifosato, atrazina y bispiribac (UTB, s.f.-b), así como fungicidas e insecticidas de amplio espectro, acompañados de prácticas de manejo inadecuadas como monocultivo prolongado, labranza intensiva y alta densidad de siembra (ACPAA, s.f.; Del Monte AG, s.f.). Estas condiciones han provocado la degradación severa de los suelos agrícolas, afectando su estructura física, la fertilidad, el equilibrio biológico y la capacidad de regeneración natural (Dialnet, 2020). A nivel científico, la combinación de suelos saturados de nutrientes, pérdida de materia orgánica, compactación y degradación del microbiota edáfico ha incrementado la erosión, disminuido la infiltración de agua y alterado los procesos de ciclado de nutrientes, generando una crisis de sostenibilidad.

Esta pérdida de microbiota limita la solubilización de fósforo, nitrógeno y el biocontrol natural de patógenos. A nivel de salud pública, un reporte periodístico reciente señala que alrededor del 30 % de la población ecuatoriana estaría expuesta a altos niveles de plaguicidas como el glifosato en zonas agrícolas de Manabí, Esmeraldas, Loja y Carchi (Infobae, 2024). En el contexto ecuatoriano, una de las problemáticas se presenta en la provincia de Manabí que ha experimentado estos graves problemas desde la década de 1960. Un estudio desarrollado en 2019 por la Universidad de Guayaquil determinó que las fluctuaciones en el rendimiento agrícola mantienen una relación directa con los

factores climáticos y el deterioro del suelo, considerado el recurso productivo fundamental de la región. (Mendoza, García & Salazar, 2019).

1.2 Definición del problema

Uno de los sectores más críticos se encuentra en el cantón Santa Lucía, provincia del Guayas, específicamente en el sector La Graciela, donde se ubica la parcela seleccionada para la investigación. En esta zona, la degradación de los suelos agrícolas se incrementa de manera significativa debido al uso intensivo de agroquímicos, empleado con el objetivo de aumentar la producción agrícola. A nivel regional, América Latina enfrenta un deterioro acelerado de los suelos como consecuencia de la deforestación, la expansión agrícola y los efectos de eventos climáticos extremos, lo que genera graves impactos sobre la sostenibilidad productiva y ambiental (Castellanos, 2022). Esta problemática también se refleja en el Ecuador, donde el cultivo de arroz representa uno de los principales sistemas productivos, especialmente en la cuenca del Guayas. En esta zona, el río Daule constituye la principal fuente de agua para riego, por lo que el uso inadecuado de productos químicos genera riesgos de contaminación hídrica y afecta tanto a las aguas superficiales como subterráneas. Históricamente, estas áreas presentan una buena disponibilidad de nutrientes; sin embargo, la presión agrícola intensiva provoca una disminución progresiva de la actividad microbiana esencial del suelo. Ante este escenario, la presente investigación propone el desarrollo y uso de un bioinsumo formulado a partir de *Trichoderma spp.* y hongos *micorrízicos*, con el propósito de reactivar la comunidad microbiana del suelo, optimizar su fertilidad, favorecer la disponibilidad y absorción de nutrientes y reforzar la capacidad de adaptación del cultivo de arroz frente a condiciones adversas. (Cultivar, 2022; CIA Orgánico, s.f.).

1.3 Justificación

El presente estudio se justifica debido a la problemática ambiental, productiva y climática que afecta a los sistemas arroceros del Ecuador. Esta situación es consecuencia directa del uso indiscriminado de agrotóxicos, la disminución de la microbiota benéfica, la erosión del suelo y la contaminación del agua por lixiviación de nutrientes, factores que en conjunto aceleran la degradación edáfica. Estas condiciones no solo reducen la fertilidad del suelo y la productividad del cultivo de arroz, sino que también incrementan la incidencia de enfermedades fúngicas, fortalecen la dependencia de insumos químicos y aumentan la vulnerabilidad del sistema agrícola frente a eventos climáticos extremos. Ante este escenario se da un enfoque de desarrollo sostenible, se plantea como una alternativa biotecnológica necesaria e innovadora, capaz de restaurar la biodiversidad microbiana del suelo, mejorar la absorción de nutrientes, fortalecer la resiliencia del cultivo y reducir los impactos ambientales asociados al modelo agrícola convencional. Además desde una perspectiva metodológica, la evaluación mediante el enfoque donde incorporan Indicadores de Sustentabilidad conocido como (MESMIS) refuerza la pertinencia del estudio, permitiendo analizar atributos fundamentales como productividad, estabilidad y adaptabilidad, lo cual posibilita generar evidencia técnica para la transición hacia un manejo sostenible del arroz y la disminución progresiva de agrotóxicos en beneficio de la seguridad alimentaria regional y la salud ecosistémica de la cuenca del río Daule.

1.4 Delimitación

1.4.1 Delimitación geográfica

Se realizó el muestreo de suelo en una parcela situada en el cantón Santa Lucía, sector La Graciela, provincia del Guayas, cerca de la hacienda el Porvenir, área representativa de los cultivos de arroz.

Tabla 1

coordenadas de la parcela

COORDENADAS DE LA PARCELA		
PUNTOS	X	Y
OBTENIDOS		
Coordenada Punto 1	602944	9812877
Coordenada Punto 2	602881	9812938
Coordenada Punto 3	602972	9813030
Coordenada Punto 4	603003	9813000

Nota. Tabla de coordenada de la parcela delimitada, por (José Ronquillo, 2026)

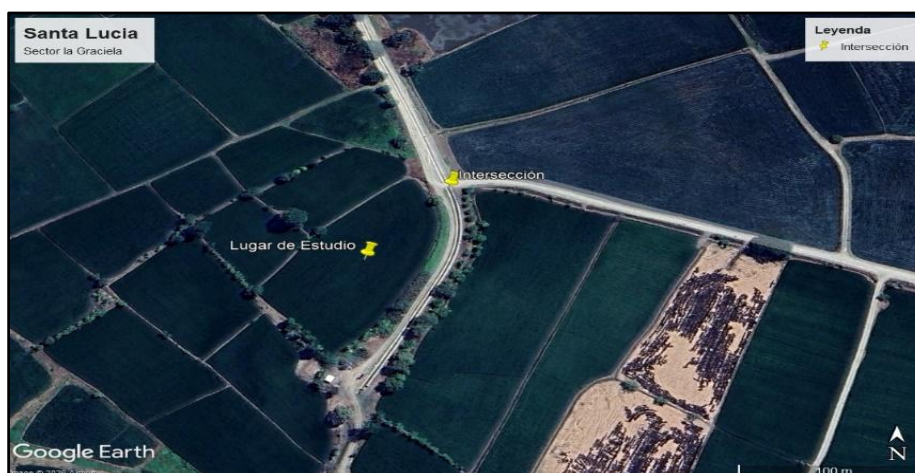
El área de muestreo y los datos sobre el suelo que se registraron mediante coordenadas georreferenciadas, asegurando un control detallado sobre la ubicación de cada muestra.

Se estudiará en la parcela correctamente delimitada las variables fisicoquímicas del suelo, tales como pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y humedad.

Se tomó la coordenada de la parcela en polígono para el correcto estudio de suelo.

Ilustración 1

Lugar de delimitación geográfica



Nota. Delimitación geográfica señalando los sectores cercanos, por (*Google Earth*)

Para mayor precisión, se generó una imagen satelital de referencia que permite visualizar la ubicación exacta de las parcelas muestreadas y las coordenadas geográficas correspondientes

Ilustración 2

Mayor margen delimitado del área del muestreo



Nota. Delimitación geográfica en polígono por (*Google Earth*)

1.4.2 Delimitación temporal

Se ejecutó la investigación entre noviembre del 2025 a enero del 2026, siendo estos meses el intervalo de tiempo que fue escogido mediante el respectivo proceso para asegurar el tiempo climático y sus condiciones atmosféricas.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Analizar el potencial restaurador del bioinsumo elaborado a base de microorganismos benéficos en la restauración de suelos agrícolas, a través de los parámetros del suelo con el propósito el restablecer la microbiota natural del suelo degradado.

1.5.2 Objetivos específicos

- Caracterizar las propiedades microbiológicas del bioinsumo, a través de la identificación de microorganismos predominantes y su capacidad para la interacción positiva con el suelo degradado.
- Evaluar las propiedades tanto químicas como físicas que contiene el suelo antes y después de aplicar el bioinsumo por medio del análisis de pH, conductividad, humedad y materia orgánica orientados al mejoramiento de la calidad del suelo agrícola
- Cuantificar la dosis correcta de bioinsumo hasta la obtención de valores estables en el suelo mediante pruebas analíticas observando la mejora en la absorción de nutrientes, optimización edáfica y sostenibilidad productiva del cultivo de arroz.

1.6 Marco hipotético

1.6.1 Hipótesis general

Será que analizando el impacto del bioinsumo elaborado a base de microorganismos benéficos en la restauración de suelos agrícolas, podríamos restablecer el microbiota natural del suelo degradado.

1.6.2 Hipótesis específicas

- Cabe la posibilidad que caracterizando las propiedades microbiológicas, fisiológicas y funcionales del bioinsumo, lograremos identificar los microorganismos predominantes y su capacidad benéfica para el suelo.
- Es probable que, evaluando los parámetros como pH, conductividad, humedad y materia orgánica antes y después de la aplicación del bioinsumo mejore la calidad del suelo.
- Es posible que cuantificando la dosis correcta de bioinsumo en el suelo, conseguiremos valores estables para uso agrícola, además de la absorción de nutrientes, contribuyendo al fortalecimiento de la estructura edáfica y de la microbiota del suelo

CAPÍTULO II

2. Marco teórico

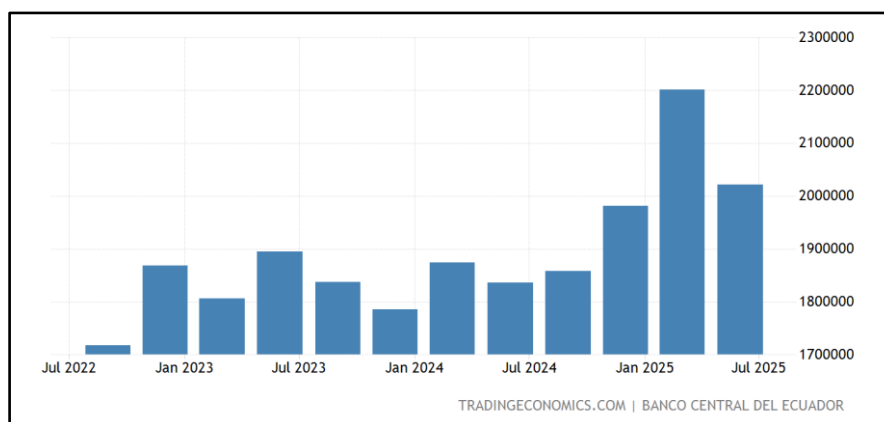
2.1 Antecedentes

Durante las últimas décadas, el desarrollo agrícola en Ecuador ha estado caracterizado por una intensificación productiva sustentada en el uso extensivo de agroquímicos, registrándose incrementos cercanos al 80 % en los niveles de productividad, especialmente en cultivos de alto rendimiento como el arroz (*Oryza sativa L.*), uno de los más importantes en alimentación a nivel nacional. Este enfoque productivista, centrado en la maximización de rendimientos, ha ocasionado efectos ambientales relevantes, entre los que destacan el deterioro progresivo de los suelos agrícolas, la reducción del microbiota benéfico y el empobrecimiento del suelo. En áreas productivas de la región costa, particularmente en la cuenca del río Daule y en el cantón Santa Lucía, sector La Graciela, el uso continuo de fertilizantes nitrogenados (como urea y sulfato de amonio), herbicidas (glifosato, atrazina, bispiribac) y fungicidas ha alterado las características físicas químicas del suelo, disminuyendo su capacidad de autorregeneración y poniendo en riesgo la sostenibilidad agrícola a largo plazo (FAO, 2022; UTB, s.f.).

El deterioro de los suelos está estrechamente ligado a la pérdida de biodiversidad microbiana, ya que los agroquímicos interfieren con los procesos metabólicos de microorganismos esenciales, afectando su supervivencia y funcionalidad (Pérez et al., 2020). Estos microorganismos, incluyendo géneros como *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, así como hongos micorrízicos y *Trichoderma*. La disminución de su población provoca compactación del suelo, menor retención hídrica y dependencia creciente de insumos químicos, generando un ciclo de degradación ambiental que amenaza la productividad y la sostenibilidad agrícola.

Ilustración 3

Producción agrícola de los últimos años



Nota. Imagen Estadística de producción agrícola, por (Trading Economics, S. F.)

A nivel global, la degradación de suelos ha impulsado el desarrollo de alternativas ecológicas basadas en microorganismos, orientadas a la restauración del microbiota nativo y a la recuperación de la fertilidad edáfica. En este contexto, la aplicación del producto se presenta como una respuesta dentro de la eco agricultura frente a los problemas de suelos agrícolas, los cuales provocan déficit de nutrientes y limitan la producción de arroz, El estudio de un bioinsumo constituye a una estrategia eficaz para reactivar suelos degradados, mejorar la absorción de nutrientes, estimular el desarrollo radicular y promover un crecimiento vegetal equilibrado, disminuyendo al mismo tiempo la dependencia de agroquímicos (García & Molina, 2021; Cultivar, 2022).

2.2 Bases teóricas de las variables

El cultivo de arroz (*Oryza sativa L.*) Constituye una de las principales actividades del sector agrícola en el Ecuador. En la cuenca del río Daule, donde predominan condiciones climáticas favorables y una amplia disponibilidad hídrica, se concentra un porcentaje significativo de la producción nacional. No obstante, la intensificación

productiva basada en el uso reiterado de agroquímicos ha generado impactos adversos tanto en los agroecosistemas como en los recursos naturales asociados. La aplicación excesiva de fertilizantes sintéticos, herbicidas y plaguicidas ha modificado las propiedades físicas del suelo, afectando la dinámica microbiana, la disponibilidad de nutrientes y la calidad del agua de riego, lo que compromete la sostenibilidad del sistema agrícola en el largo plazo.

El empleo recurrente de insumos como urea, glifosato, atrazina y otros compuestos nitrogenados se ha consolidado como una práctica orientada al aumento del rendimiento del arroz; sin embargo, estas sustancias provocan, con el tiempo, una degradación significativa del suelo. Estas sustancias ocasionan, a mediano y largo plazo, un deterioro progresivo y severo de la calidad del suelo. El exceso de nitrógeno intensifica los procesos de acidificación y favorece la lixiviación de nitratos hacia aguas superficiales y subterráneas, desencadenando procesos de eutrofización. De manera adicional, ciertos agroquímicos contribuyen a el uso de ciertos agroquímicos puede provocar la acumulación de metales pesados, entre ellos arsénico, plomo y cadmio, los cuales son absorbidos por las plantas dañan la cadena trófica representando un riesgo para los ecosistemas. La persistencia de herbicidas como el glifosato afecta directamente al microbiota benéfico del suelo, reduciendo su fertilidad, su capacidad de retención hídrica y su resiliencia frente a estreses tanto abióticos como bióticos.

La alteración de la comunidad microbiana edáfica tiene consecuencias directas sobre la funcionalidad del ecosistema agrícola. Los microorganismos desempeñan roles esenciales, Entre sus funciones destacan la incorporación biológica de nitrógeno y la solubilización de fósforo, la mineralización de la materia orgánica y el control biológico de fitopatógenos. Grupos microbianos como *Azospirillum spp.*, *Bacillus spp.* y *Pseudomonas spp.* resultan esenciales para sostener el equilibrio nutricional, químico y

biológico del suelo. La reducción de estas poblaciones, asociada al uso prolongado de agroquímicos, la compactación edáfica, aumentando su vulnerabilidad a la erosión y afectando de manera directa la productividad agrícola.

Frente a este contexto, el uso de microorganismos benéficos, hongos micorrízicos y *Trichoderma spp.* se posiciona como una estrategia sostenible orientada a la rehabilitación de suelos degradados y al fortalecimiento de la fertilidad edáfica. Estos bioinsumos actúan a través de mecanismos como la bioestimulación, la solubilización de nutrientes y el control biológico de patógenos, favoreciendo un desarrollo radicular equilibrado y optimizando la captación de agua y de nutrientes minerales indispensables. La *Trichoderma spp.* se caracteriza por su capacidad para sintetizar enzimas hidrolíticas que degradan las paredes celulares de hongos fitopatógenos, inducir la producción de fitohormonas en las plantas y fortaleciendo así la resistencia frente a estrés ambiental. Por su parte, los hongos *micorrízicos* establecen relaciones simbióticas con las raíces, expandiendo la superficie de absorción radicular, mejorando la estructura edáfica y elevando la tolerancia del cultivo a factores limitantes como la sequía y la salinidad.

La incorporación de estas prácticas dentro de enfoques de ecoagricultura contribuye a disminuir la dependencia de insumos químicos, mejorar los niveles de productividad y fortalecer la sostenibilidad de los sistemas arroceros en el sector La Graciela, cantón Santa Lucía, provincia del Guayas. La efectividad de estas intervenciones puede ser evaluada mediante la metodología MESMIS, un marco ambiental que permite analizar integralmente la productividad, estabilidad, resiliencia, adaptabilidad, equidad y autodependencia de los sistemas agrícolas. A partir de este enfoque, es posible identificar indicadores estratégicos, monitorear resultados y formular recomendaciones orientadas a la sostenibilidad y fortalecimiento del microbiota nativa. Además, los

estudios de la ingeniería ambiental moderna ha desarrollado biofertilizantes y consorcios microbianos capaces de regenerar suelos deteriorados y degradar contaminantes. Complementariamente, organismos descomponedores como larvas de mosca soldado-negra ofrecen soluciones sostenibles en la gestión de residuos orgánicos y la producción de biofertilizantes ricos en nitrógeno y fósforo, contribuyendo a un modelo de economía circular. Estas herramientas biotecnológicas, combinadas con la aplicación de hongos como *Trichoderma* spp. y hongos micorrízicos, fortalecen la biodiversidad microbiana aumentando la Capacidad de recuperación del agroecosistema frente a factores de estrés climático y uso intensivo de insumos químicos.

2.3 Fundamentos teóricos

2.3.1 El suelo

El suelo es la capa más externa de la corteza terrestre y constituye el soporte de gran parte de los procesos esenciales para la vida. Está conformado por elementos minerales, materia orgánica, agua y aire, y se considera un recurso fundamental para el crecimiento de las plantas, el funcionamiento de los ecosistemas y la producción agrícola. Se trata de un sistema complejo en el que ocurren interacciones de tipo físico, químico y biológico que resultan indispensables para los seres vivos. Además, cumple una función importante en los ciclos naturales y en las cadenas tróficas.

2.3.2 Tipo de suelo en la agricultura

Reconocer adecuadamente el tipo de suelo presente en un terreno es un factor clave para el éxito de cualquier proyecto agrícola. Ignorar sus características equivale a trabajar sin información básica sobre los recursos disponibles. Las propiedades físicas,

químicas y biológicas del suelo influyen directamente en aspectos fundamentales como el drenaje, la capacidad de almacenar agua, la fertilidad y la disponibilidad de nutrientes para los cultivos. Por ejemplo, un suelo arcilloso presenta requerimientos de manejo distintos a los de otros tipos de suelo.

Tabla 2

Suelos agrícolas ventajas y desventajas

SUELO	VENTAJAS	DESVANTAJAS
Arenoso	Excelente drenaje de agua, ideal para cultivos que requieren un buen flujo de aire y no soportan el encharcamiento.	Baja capacidad de retención de nutrientes, lo que obliga a un riego y fertilización frecuentes.
Arcilloso	Alta retención de nutrientes, lo que favorece a las plantas.	El drenaje lento puede llevar al encharcamiento y la pudrición de las raíces si no se maneja adecuadamente.

Nota. Tabla de ventajas y desventajas de uso agrícola, por (José Ronquillo,2026)

2.3.3 Influencia microbiológica en las propiedades químicas del suelo

La química del suelo está estrechamente relacionada con la actividad de los microorganismos, ya que estos regulan la concentración y disponibilidad de nutrientes mediante procesos como la mineralización y solubilización. La acción microbiana afecta parámetros como el pH del suelo, el carbono orgánico y la capacidad de intercambio catiónico, favoreciendo condiciones adecuadas para la nutrición vegetal y el crecimiento de los cultivos.

2.3.4 La humedad en suelos agrícolas

La humedad del suelo constituye un factor clave para la supervivencia y funcionalidad de los microorganismos edáficos. Un nivel adecuado de agua favorece procesos biológicos como la degradación de la materia orgánica, la transformación de los nutrientes y la actividad enzimática. En contraste, la escasez hídrica restringe la actividad microbiana y ralentiza los ciclos biogeoquímicos, mientras que el exceso de humedad disminuye la aireación del suelo, genera condiciones anaerobias y afecta negativamente el equilibrio microbiológico.

2.3.5 La conductividad eléctrica en suelos agrícolas

La conductividad eléctrica del suelo está influenciada por la actividad microbiana, ya que los microorganismos participan en la transformación de sales y nutrientes solubles. Durante los procesos biológicos, se liberan iones que contribuyen a la conductividad del suelo, facilitando la absorción de nutrientes por las plantas. Un equilibrio en la actividad microbiana ayuda a mantener niveles adecuados de conductividad sin generar efectos adversos en el desarrollo del cultivo.

2.3.6 El potencial de hidrógeno en suelos agrícolas

El potencial de hidrógeno (pH) del suelo es un parámetro clave que condiciona la actividad y diversidad microbiana. A su vez, los microorganismos pueden modificar el pH mediante la producción de ácidos orgánicos y otros compuestos metabólicos. Estas variaciones influyen en lo que favorece la asimilación de nutrientes por parte de las plantas, brindando un ambiente adecuado para el crecimiento vegetal.

2.3.7 Degradación edáfica y uso de agroquímicos

La degradación del suelo se entiende como la alteración progresiva de sus características físicas, químicas y biológicas, atribuida principalmente al uso intensivo de fertilizantes y plaguicidas. En los sistemas arroceros del Ecuador, la aplicación excesiva de insumos como urea, sulfato de amonio, glifosato y atrazina ha generado una disminución de la fertilidad, procesos de compactación, acumulación de metales pesados y una reducción significativa del microbiota benéfico (UTB, s.f.; Dialnet, 2020).

El exceso de nitrógeno genera desequilibrio nutricional, contaminación del agua por lixiviación y mayor incidencia de enfermedades fúngicas como *Microdochium oryzae* y *Pyricularia grisea*, afectando la productividad y sostenibilidad agrícola. Entre los microorganismos más afectados se encuentran:

- **Bacterias fijadoras de nitrógeno**, como *Azospirillum spp.* y *Azotobacter spp.*, responsables de transformar el nitrógeno atmosférico en compuestos disponibles para la absorción vegetal.
- **Bacterias solubilizadoras de fósforo**, como *Bacillus spp.* y *Pseudomonas spp.*, que liberan compuestos fosfatados del suelo.
- **Hongos micorrízicos y hongos entomopatógenos**, que promueven la absorción de nutrientes y el control de plagas.

2.3.8 Fertilizantes nitrogenados: urea y biuret

La urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) es uno de los fertilizantes nitrogenados más empleados en la agricultura actual, principalmente por su alto contenido de nitrógeno (46 %), lo que favorece un desarrollo vegetativo rápido y un aumento significativo en el rendimiento de los cultivos (FAO, 2019). Sin embargo, cuando se aplica en exceso o sin una

adecuada planificación, puede generar impactos negativos, como la acidificación del suelo, lo que modifica el pH y disminuye la disponibilidad de nutrientes esenciales, entre ellos calcio, magnesio y potasio. Esta situación puede restringir el crecimiento de las plantas y contribuir al deterioro gradual de la fertilidad del suelo (Brady & Weil, 2017).

Además, la lixiviación de los nitratos provenientes de la urea facilita su transporte hacia cuerpos de agua superficiales y subterráneos, provocando contaminación en ríos y sistemas de riego, como el río Daule en la región Costa del Ecuador (Dialnet, 2020), con consecuencias desfavorables para la calidad del agua, la salud humana y los ecosistemas acuáticos. Por otro lado, durante los procesos de producción o almacenamiento de la urea puede formarse biuret ($\text{NH}_2\text{CONHCONH}_2$), un subproducto tóxico que, en concentraciones superiores al 1 %, afecta la germinación y el desarrollo de las raíces (Sharma et al., 2019). La presencia de este compuesto en suelos agrícolas debilita el sistema radicular, reduce la absorción de agua y nutrientes, y disminuye la capacidad de las plantas para enfrentar enfermedades y condiciones de estrés ambiental.

Tabla 3

Criterios de sustancia urea y biuret en suelo

Sustancia	Efecto principal	Impacto ambiental o biológico
Urea	Aporta nitrógeno al cultivo	En exceso acidifica el suelo y contamina el agua
Biuret	Inhibe el crecimiento vegetal	Tóxico para raíces y hojas jóvenes

Nota. Efectos principales e impacto de sustancias, por (Jose Ronquillo, 2026)

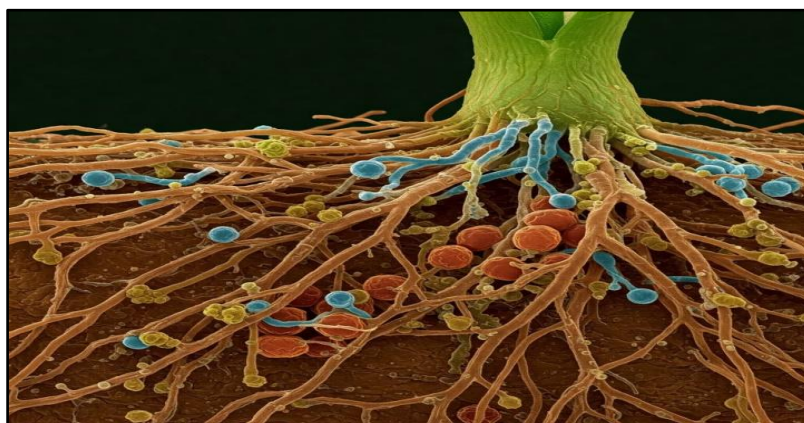
2.3.9 Hongos micorrízicos

Los hongos *micorrízicos* son organismos edáficos que forman asociaciones simbióticas. Este tipo de relación mutualista se establece con las raíces de la mayoría de las plantas terrestres y se conoce como micorriza. Esta asociación resulta beneficiosa para ambos organismos: el hongo obtiene compuestos orgánicos producidos durante la fotosíntesis, mientras que la planta incrementa de forma notable la captación de agua y de nutrientes minerales, especialmente fósforo, nitrógeno, zinc y cobre.

Los hongos *micorrízicos* desarrollan una extensa red de hifas que va más allá del alcance de las raíces, lo que permite ampliar considerablemente la superficie de absorción del sistema radicular. Como consecuencia, las plantas que mantienen esta asociación presentan una mayor tolerancia al déficit hídrico, a la salinidad, a la presencia de metales pesados y a los patógenos del suelo. Asimismo, estos hongos contribuyen a mejorar la estructura del suelo, lo que favorece la aireación y la retención de humedad.

Ilustración 4

Hongos Micorrízicos Arbusculares



Nota. Imagen microscópica del hongo micorrízicos, por (Admin, 2025)

Desde una perspectiva ambiental y productiva, los hongos *micorrízicos* cumplen una función clave en la sostenibilidad de los agroecosistemas, al fortalecer la fertilidad del

suelo, disminuir la dependencia de fertilizantes sintéticos y estimular un crecimiento vegetal más eficiente y resiliente.

2.3.10 Herbicidas y contaminantes agrícolas

El glifosato, considerado uno de los herbicidas de mayor uso a nivel nacional, actúa bloqueando la síntesis de aminoácidos esenciales en las plantas, afectando también a las comunidades microbianas del suelo. Su aplicación prolongada ha ocasionado la reducción del microbiota benéfico, la contaminación de recursos hídricos y la acumulación de metales pesados (Infobae, 2025). Otros productos como la atrazina o bispiribac, empleados en el control de malezas, también alteran la biota edáfica y pueden permanecer activos durante largos periodos, afectando la salud del ecosistema.

2.3.11 Impactos del uso intensivo de agroquímicos

La aplicación continua y sin regulación de fertilizantes nitrogenados, como urea y sulfato de amonio, junto con herbicidas tales como glifosato, atrazina y bispiribac, ha permitido incrementos productivos en el corto plazo, pero ha ocasionado un deterioro considerable de la calidad del suelo (Del Monte AG, s.f.). Genera desequilibrios iónicos y una mayor susceptibilidad a enfermedades de origen fúngico. Desde una perspectiva química, se evidencian procesos como la acidificación del suelo, la lixiviación de nitratos y la acumulación de metales pesados, entre ellos cadmio, arsénico y plomo, los cuales pueden ser absorbidos por las raíces del arroz e incorporarse posteriormente a la cadena trófica (Infobae, 2025; FDA, s.f.).

Por otra parte, el glifosato actúa mediante la inhibición de la enzima EPSPS, lo que interfiere en la síntesis de aminoácidos aromáticos. Aunque su aplicación está orientada al control de malezas, su permanencia en el suelo genera una disminución de los microorganismos beneficiosos, afecta la fertilidad edáfica y favorece procesos de compactación (UTB, s.f.). Como consecuencia, se registra una reducción en la actividad

fotosintética y en el rendimiento de los cultivos, además de un aumento en la contaminación de cuerpos de agua por arrastre de nitratos y fosfatos, lo que contribuye a procesos de eutrofización.

2.3.12 Microorganismos benéficos y biofertilización

Los microorganismos benéficos cumplen una función fundamental en la recuperación de suelos degradados, particularmente en sistemas de cultivo con alta demanda nutricional como el arroz (*Oryza sativa* L.). existen géneros bacterianos como *Bacillus spp.* y *Pseudomonas spp.* poseen la capacidad de solubilizar fósforo, descomponer materia orgánica y producir fitohormonas que estimulan el crecimiento radicular, optimizan la absorción de agua y nutrientes, y disminuyen la dependencia de fertilizantes de origen sintético.

Los hongos *Trichoderma spp.* actúan como agentes de control biológico frente a patógenos del arroz, como *Rhizoctonia solani* y *Microdochium oryzae*. Estos microorganismos producen enzimas hidrolíticas capaces de degradar las paredes celulares de hongos fitopatógenos, limitando su desarrollo, y simultáneamente activan mecanismos de resistencia sistémica en las plantas, aumentando su tolerancia frente a factores de estrés tanto bióticos como abióticos (Cultivar, 2022). Adicionalmente, participan en la degradación de residuos de agroquímicos que contribuyen a la recuperación de la calidad edáfica y de la diversidad microbiana.

Por otro lado, los hongos *micorrízicos* establecen relaciones simbióticas con las raíces del arroz, ampliando de manera significativa la capacidad de absorción de agua y nutrientes, en particular fósforo, zinc y nitrógeno. sta interacción contribuye a mejorar la estructura física del suelo y aumenta la retención de humedad y fortalece la tolerancia de las plantas frente a condiciones de sequía y suelos degradados. Asimismo, las

micorrizas promueven la agregación de partículas y la estabilidad estructural del suelo, reduciendo la erosión y favoreciendo la sostenibilidad de los sistemas agrícolas (FAO, 2020).

Tabla 4

Análisis de microorganismos en suelo

Microorganismo	Función principal	Beneficio en el arroz
<i>Azospirillum spp.</i> / <i>Azotobacter spp.</i>	Fijación biológica de nitrógeno	Sustituye fertilizantes nitrogenados
<i>Trichoderma spp.</i>	Control de hongos patógenos	Estimula crecimiento y protección radicular
<i>Beauveria bassiana</i> / <i>Metarhizium anisopliae</i>	Control biológico de plagas	Elimina insectos y nematodos
Hongos micorrízicos (<i>Glomus spp.</i> , <i>Rhizophagus spp.</i>)	Simbiosis con las raíces, fortaleciendo el desarrollo radicular y la tolerancia al estrés edáfico.	Optimiza la captación de micronutrientes y agua, y aumenta la tolerancia del cultivo al estrés hídrico

Nota. funciones principales de varios microorganismos, por (José Ronquillo, 2026)

2.3.13 Hongo *Trichoderma* y entomopatógenos

El hongo *Trichoderma spp.* destaca por su capacidad para competir eficazmente con hongos fitopatógenos, la secreción de enzimas líticas (quitinasas, glucanasas y proteasas) y la producción de antifúngicos que suprimen el desarrollo de patógenos fitosanitarios y limitan su proliferación en el suelo como *Rhizoctonia solani*, *Fusarium*

spp y *Microdochium oryzae*. Además, actúa como bioestimulante, promoviendo el desarrollo vegetal a través de la producción de fitohormonas (ácido indolacético, giberelinas) y la mejora de la absorción de nutrientes, lo que incrementa la resistencia del cultivo frente a condiciones de estrés biótico y abiótico. Del mismo modo, los hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* desempeñan un papel clave en el control biológico de insectos y nematodos, infectándolos mediante la penetración del exoesqueleto y provocando su eliminación mediante mecanismos enzimáticos y efectos tóxicos. Este enfoque permite disminuir de manera significativa el uso de insecticidas de origen químico, lo que reduce la contaminación ambiental, la acumulación de residuos peligrosos y la exposición ocupacional de los trabajadores agrícolas. La incorporación de microorganismos benéficos se basa en los principios de la agricultura sostenible, ya que fomenta sistemas de producción de bajo impacto ambiental, promueve la conservación de la biodiversidad del suelo y reduce la dependencia de insumos sintéticos.

Ilustración 5

Imagen de hongo Trichoderma spp



Nota. Imagen microscópica del microorganismo *Trichoderma spp* información brindada por (Kale, 2025)

2.3.14 Mosca soldado-negra (*Hermetia illucens*)

El aprovechamiento de esta especie y los microorganismos benéficos del suelo conforma una sinergia biotecnológica innovadora que impulsa la sostenibilidad agrícola. Las larvas de *H. illucens* degradan eficientemente residuos orgánicos agrícolas, transformándolos en un biofertilizante biológicamente activo, rico en nutrientes y con una elevada carga microbiana beneficiosa. Este biofertilizante puede complementar o potenciar productos biológicos formulados con microorganismos promotores del crecimiento vegetal (PGPR), como *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens* o *Trichoderma spp.*, contribuyen a fortalecer la estructura del suelo y a aumentar la tolerancia del cultivo ante condiciones de estrés.

Ilustración 6

Mosca soldado-negra y sus larvas



Nota. Imagen de mosca soldado-negra y sus larvas, información brindada por (Proteinsecta, 2025)

En sistemas de producción de arroz, la integración de los subproductos derivados de la mosca soldado-negra con formulaciones microbianas permite cerrar ciclos de nutrientes y fortalecer la economía circular agrícola. Mientras las larvas reducen los residuos y generan biomasa rica en nitrógeno y fósforo, los microorganismos de tu producto

facilitan la asimilación de esos nutrientes por las plantas, optimizando el rendimiento del cultivo. Esta interacción funcional entre la bioconversión larval y la acción microbiana constituye una alternativa ecológica, técnicamente viable y eficiente frente a los fertilizantes químicos convencionales, al contribuir a la recuperación de la calidad edáfica, al incremento sostenido de la productividad del arroz y a la disminución del impacto ambiental en los sistemas agrícolas tropicales.

2.3.15 Enfoque ambiental y sostenibilidad

El manejo sostenible del suelo constituye un eje central dentro de los modelos agrícolas contemporáneos, debido a que la degradación edáfica, la pérdida de nutrientes y la disminución de la biodiversidad microbiana representan amenazas directas para la productividad y la estabilidad ecológica de los agroecosistemas. En particular, los sistemas de cultivo intensivos basados en la aplicación continua de fertilizantes sintéticos y agroquímicos han generado alteraciones biofísicas profundas, entre ellas acidificación, disminución de la materia orgánica, compactación e interrupción de procesos microbianos esenciales. Estas alteraciones impactan no solo la calidad del suelo, sino al ecosistema debido a fenómenos como lixiviación de nitratos, eutrofización y bioacumulación de residuos tóxicos.

En conjunto, la interacción entre los bioinsumos y la metodología desde el ámbito ambiental proporciona un sustento teórico sólido para comprender la importancia de restaurar las funciones ecológicas del suelo y avanzar hacia modelos agrícolas de las (ODS). Este fundamento teórico permite establecer las bases científicas para evaluar, comparar y mejorar las prácticas agrícolas del sector, con sistemas más responsables, regenerativos y ambientalmente coherentes.

2.4 Fundamento legal

2.4.1 Constitución de la República del Ecuador (2008) Sección II

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el Buen Vivir (Sumak Kawsay). El Estado declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la prevención del daño ambiental, lo cual incluye la obligación de proteger los suelos agrícolas frente a la contaminación por actividades productivas, como el uso excesivo de agroquímicos.

Art. 15.- Se prohíbe la fabricación, el comercio y el uso de sustancias químicas o agentes biológicos que sean tóxicos o peligrosos y que puedan causar daños ambientales.

Art. 66 numeral 27.- Reconoce el derecho de las personas a vivir en un ambiente libre de contaminación, lo que implica una obligación del Estado de controlar prácticas agrícolas que deterioren el suelo, afecten su fertilidad o alteren su equilibrio ecológico.

2.4.2 Acuerdo Ministerial No. 095

Define los “cultivos de ciclo corto” e incluye al arroz dentro de esos cultivos. Esto es importante porque muchas políticas de fomento, reservas estratégicas o mecanismos de apoyo se ligan a cultivos de ciclo corto, y el arroz está explícitamente considerado

2.4.3 Guía de Buenas Prácticas Agrícolas para Arroz (Agrocalidad)

Agrocalidad aprobó un documento técnico para la producción de arroz que promueve prácticas destinadas a cuidar el medio ambiente, salvaguardar la salud laboral y garantizar la inocuidad del grano.

2.4.4 El Acuerdo Ministerial 097-A

El marco normativo establecido en el Acuerdo Ministerial 097-A incorpora, a través de su Anexo 2, los lineamientos para la protección del recurso suelo, así como los criterios técnicos que deben seguirse en casos de afectación o contaminación.

2.4.5 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

ODS 2: Hambre Cero, busca “poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y promover la agricultura sostenible”. El cultivo de arroz, al ser uno de los alimentos básicos de mayor consumo en Ecuador, se enmarca en este objetivo. La meta 2.4 establece la necesidad de implementar sistemas de producción sostenibles y prácticas agrícolas resilientes

CAPÍTULO III

3. Metodología

3.1 Tipo de investigación

La investigación desarrollada corresponde a un diseño experimental, debido a que se manipulara la variable independiente que corresponde a la dosis de aplicación de un bioinsumo microbiano compuesto por *Trichoderma spp.* y hongos micorrízicos *arbusculares* con el fin de observar su efecto directo sobre los parámetros fisicoquímicos del suelo destinado al cultivo de arroz (*Oryza sativa*). Los estudios experimentales permitirán establecer relaciones causales al intervenir de manera controlada sobre el fenómeno de interés. Asimismo, se clasifica como investigación aplicada porque contribuye a resolver un problema práctico de degradación edáfica derivado del uso intensivo de agroquímicos y cambio climático en la agricultura. Además, el estudio se sustentará en principios de sostenibilidad, al promover alternativas ambientales que favorezcan la regeneración del suelo sin recurrir a insumos químicos sintéticos. (Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches (5th ed.). SAGE Publications).

3.2 Población

Esta experimentación constituye una parcela de una hectárea de suelo agrícola ubicada en el sector La Graciela, cantón Santa Lucía, provincia del Guayas. Esta zona agrícola con un uso de agroquímicos en un 90% se estudió por parte de esta investigación, se toma en cuenta que estos sectores son alimentados con la presencia del río Daule por parte de su accesibilidad, en este sitio se da una alta productividad arroceras y una relevancia económica en la región costa del Ecuador, así como por la exposición

histórica de los suelos al uso intensivo e indiscriminado de agroquímicos, también por el cambio climático que ha generado un deterioro progresivo de sus propiedades.

Ilustración 7

fotografía del aérea de estudio



Nota. Imagen tomada antes del tratamiento, por (José Ronquillo,2026)

3.3 Unidad de análisis

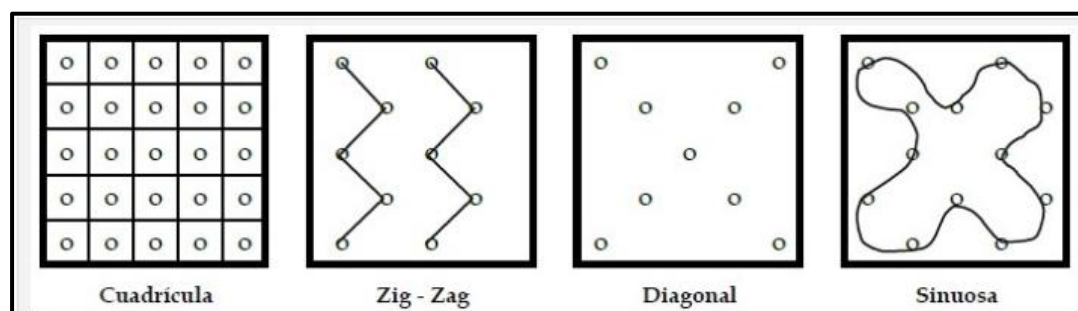
Está constituida por muestras compuestas de suelo agrícola provenientes del lote en evaluación. Estas muestras se obtuvieron en dos momentos temporales críticos: antes de la aplicación del bioinsumo microbiano y después del periodo establecido de tratamiento. Cada muestra compuesta integra submuestras sistemáticas extraídas a diferentes profundidades y puntos georreferenciados del terreno, siguiendo un diseño en zigzag para garantizar la representatividad espacial y la homogeneidad del material. Este enfoque permite evaluar con precisión las variaciones fisicoquímicas, microbiológicas y funcionales atribuibles al biofertilizante microbiano.

Tabla 5*Coordenadas de la Unidad de Análisis*

LATITUD	1°41'56.72"S
LONGITUD	80° 2'5.96"O

Nota. Coordenada del sector a estudiar, por (José Ronquillo,2026)**3.4 Recorrido para realizar el muestreo**

Tendremos en cuenta que para obtener una muestra homogénea del suelo se logró hacer un recorrido entre 15 a 25 paso aleatorias dentro del área, siguiendo un patrón en zigzag para cubrir bien la zona, Evitando muestrear en: Bordes de caminos o cercas y zonas con acumulación de residuos o estiércol, además que recolectando las muestras se mezclaron cada una para obtener así una muestra compuesta que sea representativa.

Ilustración 8*Diferentes estrategias para la toma de muestras*

Nota. Se determinó el recorrido en Zig-Zag para la toma de muestra, información brindada de tomas de muestras por (Agrostream,2018)

La recolección de muestra incluyó el análisis del suelo antes y después de la aplicación del bioinsumo microbiano, con el objetivo de establecer una línea base y evaluar los efectos del tratamiento sobre las propiedades edáficas. cada muestra consistió en aproximadamente 3,0 kg de suelo agrícola, recolectada siguiendo procedimientos

estandarizados de acuerdo con el Código Orgánico del Ambiente (COA) y la Guía Técnica para Muestreo de Suelo de la Universidad Agraria de Nicaragua, garantizando representatividad y consistencia en los análisis.

3.5 Punto de muestreo

Para determinar los puntos de muestreo de suelo a recolectar se consideró como referente la Tabla 3 del Anexo 2 del Código Orgánico del Ambiente (Ilustración en el anexo A), la cual establece criterios para superficies comprendidas entre 0,1 ha y 30 ha. Con base en esta guía, se definió un muestreo de la parcela donde equivaldría como dice la tabla a 6 puntos de muestreo del lugar destinada al cultivo de arroz en el sector La Graciela, cantón Santa Lucía, provincia del Guayas, asegurando que las unidades de suelo seleccionadas sean de manera adecuada para el área y las condiciones de manejo agrícola.

Tabla 6

Muestreo para suelos contaminados

**TABLA 3. MUESTREO PARA SUELOS
CONTAMINADOS**
(Con superficies comprendidas entre 0.1 Ha y 30 Ha)

Superficie del sitio que se supone contaminado (hectáreas)		Número mínimo de puntos de muestreos
DE	A	
0.1	0.19	6
0.2	0.29	7
0.3	0.39	8
0.4	0.49	9
0.5	0.69	10
0.7	0.99	11
1	1.99	12
2	2.99	14
3	3.99	16
4	4.99	18
5	5.99	19

6	6.99	20
7	7.99	21
8	8.99	22
9	10.99	23
11	11.99	24
12	13.99	25
14	15.99	26
16	17.99	27
18	19.99	28
20	21.99	29
22	24.99	30
25	27.99	31
28	29.99	32

Nota. Tabla número 3 de fuente por Acuerdo Ministerial 097-A.

3.6 Caracterización de la muestra

Se caracterizó la muestra en el laboratorio de Química ubicado en la Universidad Politécnica Salesiana, siendo correctamente analizadas para determinar parámetros fisicoquímicos que permiten evaluar la calidad, fertilidad y capacidad de recuperación del suelo. Entre los parámetros evaluados se incluyen pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO). Estos análisis permitirán establecer la línea base del suelo antes de la aplicación del bioinsumo y constituyeron el punto de referencia para evaluar los cambios edáficos posteriores al tratamiento microbiano, determinando la efectividad de los microorganismos en la mejora de la fertilidad y la sostenibilidad del sistema arrocero.

Tabla 7

Parámetros del suelo

Parámetro	Método de análisis	Técnica o instrumento
Ph	Suspensión suelo-agua	Potenciómetro
Conductividad eléctrica	Conductividad en solución	Multiparámetro
<i>Materia orgánica</i>	<i>Oxidación húmeda</i>	<i>Estufa</i>
<i>Humedad</i>	<i>Humedad</i>	<i>Balanza de humedad</i>

Nota. Tabla de parámetros que se estudiarán, por (José Ronquillo,2026)

3.7 Cálculo para número de muestra

3.7.1 Cálculo de la cantidad de producto a incorporar

Cuando la dosificación del bioinsumo se expresa exclusivamente en litros por hectárea (L/ha) y presentará una capacidad fija, la cantidad de producto a adicionar en cada unidad de aplicación se determina en comparación de las primeras fases de cultivo de

arroz se estableció una dosis de aplicación de 4 L/ha, equivalente al volumen contenido en un galón, el cual es suficiente para cubrir una hectárea mediante la aplicación de la fumigación al inicio en dos tiempos y luego en la fase media de crecimiento del cultivo dos veces más, La cantidad de producto a aplicar en cada unidad experimental se determinó en función del área tratada, utilizando la siguiente expresión:

$$V_{total} = D_{ha} \times A_{lote}$$

- **Vtotal** = volumen total del bioinsumo necesario para la intervención (L)
- **Dha** = dosis de aplicación establecida por unidad de superficie (L·ha⁻¹)
- **Alote** = área real del terreno a tratar, expresada en hectáreas (ha)

Dónde:

- **Dosis por hectárea (Dha)**

Corresponde al volumen de bioinsumo que debe aplicarse de manera homogénea sobre una superficie estándar de 1 hectárea (10 000 m²). Este parámetro constituye la unidad operativa de dosificación utilizada en protocolos agronómicos y en regulaciones de manejo fitosanitario.

- **Área del lote (Alote)**

Permite escalar la dosis según la superficie específica donde se ejecutará el tratamiento. El área del lote (A_{lote}) es la variable que permite escalar cualquier dosis o concentración de aplicación hacia superficies distintas a una hectárea, siendo la Capa superficial del suelo que se encuentra delimitada donde se ejecutará el tratamiento experimental.

- **Volumen total requerido (Vtotal)**

Representa la cantidad exacta del bioinsumo que debe prepararse o cargarse en equipo de aspersión para garantizar una distribución uniforme, manteniendo la equivalencia de dosis establecida en el diseño experimental.

La aplicación del bioinsumo en el cultivo de arroz se basa en principios de ingeniería agronómica, donde la dosis por hectárea constituye la variable de control clave en la estandarización del tratamiento. La fórmula garantiza que el volumen aplicado mantenga proporcionalidad directa respecto al área intervenida, evitando subdosificación o sobredosificación y permitiendo la comparación estadística entre tratamientos.

3.7.2 Conversión de muestras cuando el área está en metros cuadrados

Si el lote es diferente a 1 ha:

Permite extrapolar tratamientos a superficies más pequeñas o grandes manteniendo la equivalencia biológica. A veces el ensayo se realiza en parcelas experimentales

$$A_{ha} = \frac{A_{m^2}}{10\,000} \quad \text{pequeñas (ej.: 250 m}^2, 500 \text{ m}^2)$$

$$D_{ajustada} = D_{ha} \times A_{ha}$$

3.7.3 Recolección y conservación de la muestra

La recolección de las muestras de suelo se realizó una vez definido el recorrido de muestreo y el número de muestras a tomar, siguiendo criterios de representatividad establecidos en el Código Orgánico del Ambiente y la Guía Técnica para Muestreo de Suelo de la Universidad Agraria de Nicaragua. Para este procedimiento se utilizó una

pala o palín, considerando que cada muestra debía reflejar las características físicas, químicas y biológicas de la parcela destinada al cultivo de arroz.

El proceso de muestreo comenzó con la selección del sitio, asegurando que fuese representativo de la hectárea bajo estudio en el sector la Graciela en una hectárea de suelo agrícola (ilustración en Anexo B) en donde:

- Se retiró cuidadosamente la cobertura superficial, incluyendo restos de entomología, piedras y cualquier material que pudiera interferir con el análisis. Posteriormente, se marcó la profundidad de muestreo en la pala y se excavó formando una “V” para recolectar el suelo entre 0 y 10 cm, considerando el uso agrícola tradicional del terreno.
- Cada corte de suelo se limpió de escombros y se trasladó a un balde limpio, libre de impurezas como fertilizantes, cal, estiércol o cemento.
- Este procedimiento se repitió en todos los puntos de muestreo previamente definidos, y las submuestras se mezclaron cuidadosamente en el balde para conformar una muestra compuesta, que posteriormente se depositó en fundas plásticas tipo ziploc, debidamente rotuladas.
- Una vez etiquetadas, las muestras fueron almacenadas en refrigeración a una temperatura de 0–6°C para mantener sus características físicas y microbiológicas hasta el momento de su análisis en laboratorio. Este control garantizó la integridad de los parámetros evaluados, evitando alteraciones que pudieran afectar la validez de los resultados.

3.8 Determinación del pH del suelo

Materiales y equipos: Potenciómetro, vaso de precipitado de 50 ml, balanza analítica, agua destilada, tamiz de 2 mm.

Procedimiento:

- Tamizar 20 g de suelo seco a través del tamiz de 2 mm para eliminar partículas gruesas.
- Colocar el suelo tamizado en un vaso de precipitado de 50 ml y agregar igual volumen de agua destilada (1:1).
- Agitar la suspensión durante 5 segundos y dejar reposar durante 60 minutos para permitir la sedimentación de partículas.
- Introducir el electrodo del potenciómetro en contacto con la solución, evitando tocar los sedimentos.
- Registrar la lectura obtenida y repetir el procedimiento en duplicado para cada muestra.

3.9 Medición de la conductividad eléctrica (CE)

Materiales y equipo: Conductímetro calibrado, vaso de precipitado de 50 ml, balanza analítica, agua destilada, tamiz de 2 mm.

Procedimiento:

- Pesar 20 g de suelo tamizado y colocarlo en un vaso de precipitado previamente tratado.
- Añadir 40 ml de agua destilada.
- Agitar la mezcla para la estabilización iónica.
- Introducir el electrodo del conductímetro en la solución y registrar la lectura.

Repetir la medición en duplicado para asegurar confiabilidad de los resultados.

3.10 Determinación de Humedad

Se realizó a partir de un muestreo compuesto superficial, siguiendo la normativa ecuatoriana vigente. Las muestras fueron recolectadas de manera aleatoria,

homogenizadas y preparadas en laboratorio mediante secado, disgregación y tamizado, con el fin de garantizar la representatividad y reproducibilidad de los resultados. Posteriormente, se efectuó la determinación de humedad.

Procedimiento:

- Secar la muestra al aire durante 24 a 48 horas para eliminar el exceso de humedad y reducir la actividad microbiana.
- Disgregar finamente la muestra utilizando mortero y pilón.
- Tamizar la muestra con una malla de 2 mm (malla N°10) y conservar el material fino para los análisis.
- Pesar entre 10 g de suelo seco en una balanza analítica.
- Colocar la muestra en una Balanza de humedad y en el recipiente adecuado esperar a 105 ± 5 °C durante 24 horas.
- Retirar la muestra, dejar enfriar y registrar el peso final.
- Calcular el porcentaje de humedad del suelo a partir de la pérdida de peso.

3.11 Determinación de materia orgánica

Esta técnica se realizó mediante el método de calcinación o pérdida por ignición, para lo cual se toma en cuenta la eliminación de materia orgánica por combustión a altas temperaturas. Previamente, las muestras fueron secadas, tamizadas y llevadas a peso constante, con el fin de garantizar resultados precisos y reproducibles. Posteriormente, las muestras fueron sometidas a calcinación en mufla y se calculó el porcentaje de materia orgánica e inorgánica del suelo.

- Se debe colocar el crisol vacío en la mufla y encenderla hasta alcanzar una temperatura de 375 °C.

- Una vez alcanzada la temperatura, apagar la mufla y dejar enfriar el crisol durante 24 horas.
- Pesar el crisol en una balanza analítica y registrar el peso del crisol vacío (P_c).
- Preparar la muestra de suelo secándola al aire durante 24 horas y tamizando la fracción menor a 2 mm.
- Pesar 10 g de la muestra preparada, previamente secada en estufa a 105 °C hasta peso constante, y colocarlos en el crisol; registrar el peso de la muestra.
- Introducir el crisol en la mufla con la muestra y calcinarlas a 430 °C durante 24 horas.
- Apagar la mufla y dejar enfriar la muestra durante 24 horas.
- Pesar el crisol en la balanza analítica y verificar el peso final (P_{sc}).
- Calcular el porcentaje de materia orgánica utilizando la siguiente expresión:

$$\% \text{ Materia Orgánica} = \frac{(P_c + P_{ss} - P_{sc})}{P_{ss}} \times 100$$

3.12 Metodología para la creación del Bioinsumo

3.12.1 Obtención, aislamiento y verificación de *Trichoderma spp.*

El principal microorganismo obtenido y empleado en el presente estudio fue *Trichoderma spp.*, debido a su reconocida capacidad para mejorar las condiciones del suelo y favorecer el desarrollo vegetal.

Recolección de muestras:

- Se recolectaron muestras de suelo rizosférico y/o fragmentos de tallos, raíces o material vegetal con síntomas o presencia visible de colonización fúngica.
- Las muestras se colocaron en bolsas estériles, debidamente rotuladas con fecha, lugar y tipo de muestra.

- Se transportaron en condiciones refrigeradas (4-8 °C) al laboratorio para su procesamiento inmediato o dentro de las 24 horas posteriores.

Estas muestras se obtuvieron en el cantón Santa Lucía, en áreas agrícolas donde existe una elevada actividad biológica y presencia natural de microorganismos benéficos. Estas muestras fueron seleccionadas considerando su proximidad a zonas de cultivo y su apariencia orgánica, lo que aumenta la probabilidad de encontrar cepas activas de *Trichoderma*.

De manera complementaria, se contó con muestras ya recolectadas anteriormente con el hongo *Trichoderma spp*, lo cual permitió reforzar el proceso de aislamiento y servir como referencia comparativa durante la identificación del microorganismo.

Para la verificación del hongo: se empleó un método empírico y ampliamente utilizado en procesos artesanales de identificación, consistente en el uso de arroz blanco previamente lavado y esterilizado, el cual funcionó como sustrato de crecimiento.

Preparación de la muestra

- Se pesaron 100–500 g de arroz (preferentemente arroz blanco sin fortificar).
- El arroz se lavó con agua potable hasta eliminar el exceso de almidón superficial.
- Se dejó en remojo durante 12 horas para facilitar la hidratación uniforme.
- Posteriormente, se cocinó parcialmente (grano firme, no sobrecocido), asegurando una textura suelta.

Siembra en medio selectivo

- El sustrato esterilizado se dejó enfriar completamente a temperatura ambiente.
- En condiciones asépticas, se inoculó el arroz con:

- Fragmentos de micelio activo de *Trichoderma* provenientes de cultivo ya obtenido.
- Una suspensión de esporas previamente estandarizada.
- Se sellaron los recipientes permitiendo intercambio gaseoso

Selección de colonias sospechosas

- Se seleccionaron colonias de crecimiento rápido, con micelio blanco que posteriormente adquiere tonalidades verdes, características de *Trichoderma*.

Este cambio cromático, junto con el crecimiento rápido y uniforme del hongo, permitió confirmar su presencia, ya que dichas características morfológicas son ampliamente reconocidas como indicativas de este género fúngico. La verificación visual y morfológica del cultivo aseguró que el microorganismo obtenido correspondía efectivamente a *Trichoderma spp.*, permitiendo su posterior uso en la formulación del bioinsumo.

3.12.2 Obtención de Hongos *micorrízicos arbusculares*

Adicionalmente, se obtuvieron hongos *micorrízicos arbusculares* (HMA) a partir de muestras de suelo recolectadas en zonas agrícolas en Santa Lucía, considerando áreas cercanas a raíces de plantas, donde este tipo de microorganismos suele desarrollarse de forma natural. Las *micorrizas arbusculares* establecen una relación simbiótica con las raíces de las plantas, favoreciendo principalmente la absorción de nutrientes esenciales como fósforo, nitrógeno y micronutrientes del suelo.

La identificación de los hongos *micorrízicos*: se realizó mediante observaciones indirectas, enfocadas en su asociación con el sistema radicular y la presencia de estructuras características en el suelo. Para ello, se analizaron muestras de suelo rizosférico, observando la textura y restos radiculares finos. La confirmación funcional de los hongos *micorrízicos arbusculares* se apoyó en la observación de mejoras en la

respuesta del suelo, tales como mayor retención de humedad y mejor desarrollo radicular en las áreas donde se aplicaron las muestras. Estas características permitieron la eficiencia en la absorción de nutrientes por las plantas.

3.12.3 Preparación del Bioinsumo

El proceso inició en dos recipientes de aislamiento, cada uno con capacidad suficiente para generar cinco pomas de 25lt. En el proceso principal se llevó una poma de 25lt a los laboratorio para realizar la experimentación en mínima proporción, para así ir analizando la incorporación del bioinsumo al suelo llevado a la universidad correctamente ubicado en fundas transparentes, se inocularon los hongos promotores del crecimiento vegetal, *Trichoderma spp.*, que contribuye al control biológico de patógenos y a la degradación de materia orgánica, y las *micorrizas arbusculares*, que se da el fósforo por las raíces del arroz, además de los microorganismos que se obtuvieron del vino y la cerveza, Estos microorganismos fueron alimentados con melaza, fuente rica en carbohidratos, y extractos vegetales de lengua de suegra y cola de caballo para la interacción con los hongos *micorrizicos*, que aportan compuestos bioactivos, sílice y metabolitos secundarios, fortaleciendo la colonización microbiana y favoreciendo la interacción simbiótica entre hongos y plantas.

Tabla 8

Componentes del bioinsumo

Componente	Función principal
<i>Trichoderma spp.</i>	Estimulación del crecimiento vegetal y control de patógenos

Componente	Función principal
<i>Micorrizas</i>	sociación simbiótica con las raíces que incrementa la absorción de fósforo, micronutrientes y agua, estimula el desarrollo radicular
<i>Lactobacillus spp.</i>	Producción de ácidos orgánicos que inhiben microorganismos patógenos, mejora de la disponibilidad de nutrientes
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Producción de enzimas y metabolitos bioactivos que favorecen la proliferación microbiana
Melaza	Fuente de energía y carbohidratos para el crecimiento microbiano
Lengua de suegra	Estimulación de micorrizas y aporte de compuestos bioactivos
Cola de caballo	Contribuye con sílice y metabolitos que fortalecen la matriz microbiana

Nota. Componentes para el bioinsumo, por (José Ronquillo,2026)

3.12.4 Incorporación de microorganismos fermentativos

Para la preparación del bioinsumo también se obtuvieron otros microorganismos benéficos mediante un proceso de fermentación y aislamiento artesanal, el cual se llevó a cabo un balde de aislamiento ubicado en el laboratorio de la universidad. Este sistema permitió el desarrollo controlado de un consorcio microbiano destinado a la formulación del bioinsumo líquido para su aplicación en el suelo.

Durante la elaboración del bioinsumo, se incorporaron cerveza y vino como fuentes naturales de microorganismos y compuestos fermentables. Estos productos fueron

seleccionados debido a su contenido de microorganismos benéficos, principalmente los que ayudan a la fermentación biológica. El *Saccharomyces spp.* contribuye a la descomposición de azúcares y a la producción de metabolitos orgánicos, vitaminas y compuestos bioactivos que estimulan la actividad microbiana del suelo. Por su parte, *Lactobacillus spp.* regula el pH del bioinsumo y mejoran la estabilidad del producto final. La incorporación de estos microorganismos en la formulación del bioinsumo tuvo como objetivo generar un ambiente favorable para la interacción entre *Trichoderma spp.*, las micorrizas arbusculares y otros microorganismos benéficos.

3.12.5 Maduración biológica

El sistema microbiano se mantuvo en fermentación controlada durante 10 días, periodo durante el cual se conservó una temperatura de 25–30 °C, y aireación intermitente, condiciones que optimizan la proliferación microbiana y la producción de metabolitos útiles para el suelo. Durante esta fase, los microorganismos interactúan entre sí y con los compuestos orgánicos presentes en el medio, transformando la materia orgánica en nutrientes solubles y compuestos bioactivos que mejoran la capacidad de retener el agua del suelo.

3.12.6 Fase final del bioinsumo

Existe una fase más del bioinsumo en donde se investigó la aparición de las larvas de mosca soldado-negra (*Hermetia illucens*), que fueron atraída por el bioinsumo debido a la melaza, el vino y la cerveza aportan azúcares fermentables, alcoholes y subproductos orgánicos que generan olores volátiles, además de que como se encontrabas larvas se debía a que durante la fermentación microbiana se liberan:

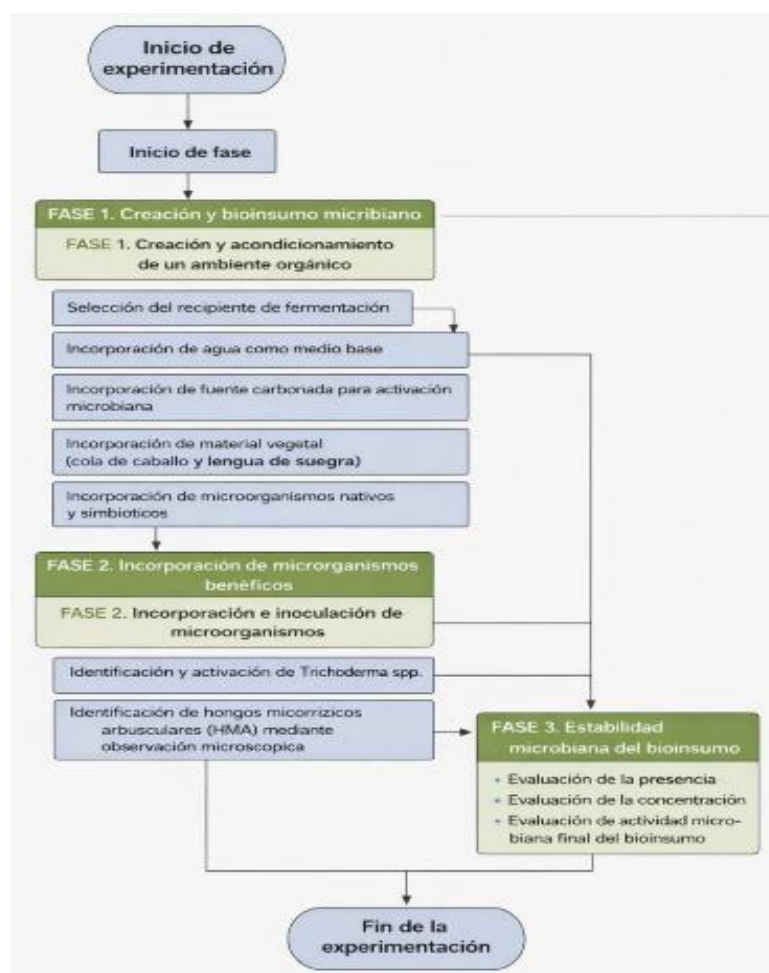
- Dióxido de carbono CO₂
- Ácido láctico

- Ácido acético
- Compuestos volátiles

Estos metabolitos son señales químicas que indican un sustrato adecuado para el desarrollo larval que presentes en el sistema, contribuirán también a la bioconversión de residuos orgánicos, generando excretas ricas en nutrientes que enriquecen la matriz microbiana y mejoran la fertilidad del suelo de manera natural.

Ilustración 9

Diagrama de flujo de la experimentación



Nota. El presente diagrama de flujo se desarrolló para representar el inicio, desarrollo y cierre del proceso experimental, elaborado por (José Ronquillo,2026).

3.12.7 Evaluación del suelo tratado

Posterior a la aplicación del bioinsumo, se realizó un segundo ciclo de muestreo y análisis con la finalidad de evaluar la respuesta del suelo al tratamiento biológico. La comparación entre los valores iniciales y los obtenidos después del tratamiento permitió identificar variaciones en la conductividad, materia orgánica además de la disponibilidad de nutrientes esenciales. La presencia de microorganismos brindó fijación biológica del nitrógeno y la mejora de la estructura del suelo donde se refleja el aumento de materia orgánica, mejora de pH moderadamente ácido y mayor disponibilidad de nutrientes.

CAPITULO IV

4. Resultados

4.1 Recolección de muestras

Se recolectaron un total de seis muestras de suelo en el área de estudio, las cuales fueron integradas en una muestra compuesta, conforme a los lineamientos establecidos en el Código Orgánico del Ambiente y la Guía Técnica para Muestreo de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de Nicaragua, que recomienda combinar entre seis y doce submuestras por unidad de muestreo. Este procedimiento se realizó en la hacienda la Graciela en Santa Lucía y permitió obtener una muestra representativa de la parcela destinada al cultivo de arroz, asegurando la adecuada caracterización de la variabilidad del suelo y la confiabilidad de los análisis realizados antes y después de la aplicación del bioinsumo microbiano (Ilustración en el anexo A).

4.2 Caracterización del suelo antes del bioinsumo

La muestra fue caracterizada en el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana mediante la determinación de parámetros fisicoquímicos como pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y humedad, utilizando los métodos de suspensión suelo-agua con potenciómetro, conductividad en solución con equipo multiparámetro, oxidación húmeda para materia orgánica y secado en horno conforme a la norma INEN 690 para humedad, con el fin de establecer la línea base del suelo y evaluar los cambios edáficos posteriores a la aplicación del bioinsumo microbiano en el sistema arrocero.

4.3 Resultado de la prueba de humedad antes del bioinsumo

El análisis de la humedad del suelo es esencial para comprender su estado hídrico, ya que influye directamente en la disponibilidad de nutrientes, el desarrollo radicular y la productividad de los cultivos. Esta evaluación permite establecer la condición inicial del suelo antes de cualquier intervención, sirviendo como referencia para medir los

cambios posteriores al tratamiento con bioinsumo. En este estudio, la determinación de la humedad inicial evidenció un contenido bajo, reflejado en un valor aproximado de 7,6 %, lo que indica una limitada disponibilidad de agua en el suelo sin tratamiento. Estos resultados permiten valorar de manera objetiva la capacidad del suelo para retener humedad y su respuesta a las prácticas de manejo aplicadas.

Tabla 9

Tabla de resultados de humedad postratamiento

MUESTRA	PESOS		METODO
	Peso del Suelo Seco	Peso de la Plaqueta de Aluminio	Balanza de Humedad
			RESULTADO
Sin bioinsumo	10g	2g	20,6 %

Nota. Resultado de la prueba de humedad para el suelo antes de aplicar el bioinsumo, por (José Ronquillo, 2026).

4.4 Resultado de la prueba de MO antes del bioinsumo

El análisis de la materia orgánica inicial del suelo es fundamental para evaluar su nivel de fertilidad y su capacidad productiva, debido a su influencia directa en la disponibilidad de nutrientes, la estructura del suelo y la actividad microbiana. Esta determinación permitió establecer una línea base previa a la aplicación del bioinsumo, a fin de comparar los cambios generados por el tratamiento. En este estudio, se registró un peso inicial del crisol de 39,6 g y un peso final de 45 g con la muestra de suelo sin bioinsumo, lo que permitió calcular un contenido bajo de materia orgánica. Esta baja concentración se atribuye técnicamente a la ausencia de enmiendas orgánicas y microorganismos benéficos, lo que limita los procesos de descomposición y acumulación de carbono orgánico en el suelo. Estos resultados constituyen un punto de

referencia clave para evaluar la efectividad del tratamiento microbiano en la mejora de las propiedades edáficas.

Tabla 10

Tabla de resultados de Materia Orgánica pos-tratamiento

MUESTRA	PESOS			Formula
	Peso del crisol vacío	Peso del suelo seco	Peso del crisol con el suelo calcinado	$\% \text{Materia orgánica} = \frac{P_c + P_{ss} - P_{sc}}{P_{ss}} \times 100$
				RESULTADO
Sin bioinsumo	39,6 g	10 g	47.3 g	23%

Nota. Resultado de la prueba de materia orgánica para el suelo antes de aplicar el bioinsumo, por (José Ronquillo, 2026).

4.5 Resultado de la prueba de pH previo a aplicar el bioinsumo

El análisis de pH del suelo es fundamental para evaluar su reacción química y su influencia en la disponibilidad de nutrientes y el desarrollo de los cultivos. En este estudio, el pH obtenido fue de 5,54, lo que indica un suelo ligeramente ácido, condición aceptable para el cultivo de arroz; sin embargo, este valor puede ser mejorado mediante la aplicación del bioinsumo, ya que favorece el equilibrio químico del suelo y optimiza la absorción de nutrientes.

Tabla 11

Tabla de resultados de pH postratamiento

MUESTRA	RESULTADO DE pH	ESTÁNDAR
Sin bioinsumo	5.48	5.5 - 6.5

Nota. Resultado de la prueba de materia orgánica para el suelo antes de aplicar el bioinsumo, por (José Ronquillo, 2026)

4.6 Resultado de la prueba de Conductividad Eléctrica previo a aplicar el bioinsumo

La evaluación de la conductividad eléctrica del suelo es esencial para determinar su nivel de salinidad y su impacto en la absorción de agua y nutrientes por parte de los cultivos. Esta medición permite establecer la condición inicial del suelo y sirve como referencia para evaluar los efectos posteriores del tratamiento con bioinsumo. En este estudio, se obtuvo un valor cercano a cero, lo cual es considerado normal para suelos agrícolas no salinos, indicando una baja concentración de sales solubles y una adecuada condición química del suelo para el desarrollo del cultivo.

Tabla 12

Tabla de resultados de conductividad eléctrica postratamiento

MUESTRA	RESULTADO	ESTÁNDAR
Sin bioinsumo	0.46	<2 mS/cm

Nota. Resultado de la prueba de conductividad eléctrica para el suelo antes de aplicar el bioinsumo, por (José Ronquillo, 2026)

4.7 Valores de los parámetros del suelo previo a aplicar el bioinsumo

En la siguiente tabla se presentan de manera integrada los principales parámetros iniciales del suelo, determinados antes de la aplicación del bioinsumo, con el fin de establecer una línea base confiable del estado edáfico del área de muestreo. Esta información permite caracterizar las condiciones físicas y químicas del suelo, servir como punto de referencia para comparaciones posteriores y evaluar de forma objetiva los efectos del tratamiento aplicado sobre la calidad y fertilidad del suelo.

Tabla 13

Tabla de resultados de valores de los parámetros del suelo previo a aplicar el bioinsumo

PARAMETROS	RESULTADOS	ESTÁNDARES	UNIDAD
Humedad	20,6	25 % – 40 %	%
Materia Orgánica	23	3 % – 5 %	%
Potencial de Hidrogeno	5.48	5.5 - 6.5	pH
Conductividad Eléctrica	0.46	2 mS/cm	mS/cm

***Nota.** Resultado de la prueba antes del bioinsumo en parámetros del suelo, por (José Ronquillo, 2026).*

4.8 Elaboración del bioinsumo microbiano

El bioinsumo elaborado se basa en la creación de un ambiente orgánico controlado que favorece la supervivencia y actividad de microorganismos benéficos del suelo.

4.8.1 FASE 1. Creación y acondicionamiento de un ambiente orgánico

Se generó un ambiente controlado, rico en materia orgánica y nutrientes disponibles, que permita la supervivencia, adaptación y coexistencia inicial de microorganismos benéficos del suelo, como *Trichoderma spp.*, hongos *micorrízicos arbusculares* y otros microorganismos asociados, previo a su activación y estabilización.

4.8.1.1 Selección del recipiente de fermentación

Se utilizó un recipiente plástico con capacidad aproximada de **25 litros**, adecuado para procesos de fermentación artesanal controlada donde se Justifica en:

- Mantener una masa suficiente de sustrato orgánico
- Facilitar la interacción microbiana
- Mantener una temperatura estable para la estabilización microbiana.

Ilustración 10

dimensionamiento del balde



Nota. Lugar de compactación de bioinsumo, por (José Ronquillo,2026)

4.8.1.2 Incorporación de agua como medio base

Se incorporó agua como medio base hasta alcanzar aproximadamente una cuarta parte de la capacidad del recipiente, lo que corresponde a un volumen cercano a 10-10,5 L en un balde de 25 L.

El agua cumple una función esencial como medio de dispersión de nutrientes, facilita la movilidad y contacto entre los microorganismos y actúa como regulador de la humedad, condición indispensable para la actividad metabólica de hongos y bacterias benéficas.

Este volumen moderado permite mantener una adecuada concentración de nutrientes, evitando diluciones excesivas que podrían afectar el desarrollo microbiano inicial.

Ilustración 11

Calculo para la cantidad de agua



Nota. Calculo para la compactación de bioinsumo, por (José Ronquillo,2026)

4.8.1.3 Incorporación de fuente carbonada para activación microbiana

Se incorporó melaza como fuente primaria de carbono fácilmente disponible, utilizando un volumen aproximado de seis fundas de un litro (equivalente a 6 litros), con el objetivo de estimular la actividad metabólica de los microorganismos presentes en el sistema. La adición de melaza contribuye al establecimiento temprano de una comunidad microbiana funcional, generando un ambiente biológicamente activo y estable, adecuado para el desarrollo del bioinsumo.

Fuente energética inmediata: Los carbohidratos simples de la melaza son rápidamente asimilados por microorganismos y larvas, favoreciendo su crecimiento, reproducción y actividad metabólica.

- **Estimulación de la microbiota benéfica:** La melaza promueve la proliferación de bacterias ácido-lácticas y levaduras, las cuales mejoran la fermentación del

sustrato y reducen la presencia de microorganismos patógenos, creando un ambiente más seguro para las larvas.

- **Mejora de la biodisponibilidad de nutrientes:** La actividad microbiana estimulada por la melaza acelera la descomposición de la materia orgánica, liberando nutrientes esenciales que pueden ser aprovechados tanto por los microorganismos.

Ilustración 12

Incorporación de melaza



Nota. Inclusión de melaza al balde con su respectivo cálculo, por (José Ronquillo,2026)

4.8.1.4 Incorporación de material vegetal (cola de caballo y lengua de suegra)

Se incorporaron extractos y fragmentos vegetales de cola de caballo (*Equisetum spp.*) y lengua de suegra (*Sansevieria spp.*) como fuentes naturales de compuestos en una proporción equivalente al 30 % del total del material vegetal incorporado al sistema, correspondiendo aproximadamente a 10 % de cola de caballo y 20 % de lengua de suegra dando un aproximado de 3000g colocado por etapas. La cola de caballo aportó sílice y metabolitos secundarios que contribuyen al fortalecimiento estructural del

medio y favorecen la tolerancia de los microorganismos frente a condiciones de estrés, mientras que la lengua de suegra suministró compuestos orgánicos que estimulan la actividad metabólica microbiana y promueven interacciones simbióticas, particularmente con hongos *micorrízicos*. Esta proporción permitió enriquecer el sustrato fermentativo y reproducir condiciones similares a un suelo con elevada actividad biológica.

Ilustración 13

Incorporación de material vegetal



Nota. Inclusión de plantas (cola de caballo) y (lengua de suegra), por (José Ronquillo,2026)

4.8.1.5 Incorporación de microorganismos nativos y simbióticos

Se incorporaron microorganismos nativos mediante la adición de *Trichoderma spp.* obtenido a partir de muestras de suelo rizosférico y material vegetal recolectados en zonas agrícolas del cantón Santa Lucía, caracterizadas por una elevada presencia de materia orgánica y alta actividad biológica. Adicionalmente, se contó con muestras de referencia de *Trichoderma spp.* proporcionadas anteriormente, obtenidas durante trabajos de campo en áreas con condiciones edáficas favorables para el desarrollo de

microorganismos benéficos. Estas muestras se prepararon en una poma de 1 litro, que contenía una mezcla de agua, hojas, pequeños fragmentos de tallo y porciones de raíces a la viabilidad del hongo previo a su incorporación al sistema.

El contenido de esta preparación microbiana se adicionó de manera progresiva hasta completar un volumen total aproximado de 4 litros, integrándose al sustrato orgánico previamente acondicionado. Esta incorporación favoreció el establecimiento inicial de *Trichoderma spp.*, De forma complementaria, se incorporaron muestras de suelo con presencia de hongos *micorrízicos arbusculares* por parte de raíces de plantas, recolectadas en zonas cercanas a sistemas radiculares, con el fin de promover relaciones simbióticas que mejoran la absorción de nutrientes, el desarrollo radicular y la estabilidad biológica del bioinsumo.

Ilustración 14

Incorporación de microorganismos nativos y simbióticos



Nota. Se incorpora material vegetal recolectados en zonas agrícolas, por (José Ronquillo,2026)

Ilustración 15

Incorporación de material rico en materia orgánica



Nota. Se incorpora material vegetal recolectados en zonas agrícolas, por (José Ronquillo,2026)

4.8.2 FASE 2. Incorporación de microorganismos benéficos

4.8.2.1 Identificación y activación de *Trichoderma spp.*

Para garantizar que el bioinsumo contiene *Trichoderma spp.* activo y funcional, se realizó la identificación de microorganismos utilizando arroz blanco como sustrato en caja Petri. Este procedimiento permitió verificar que el hongo crece de manera vigorosa y presenta su micelio característico verde, confirmando que las cepas son viables y aptas para incorporarse al bioinsumo. La observación de este crecimiento verde asegura que solo se seleccionan microorganismos activos, capaces de estimular el crecimiento vegetal y competir de forma eficiente con otros hongos o patógenos presentes en el medio.

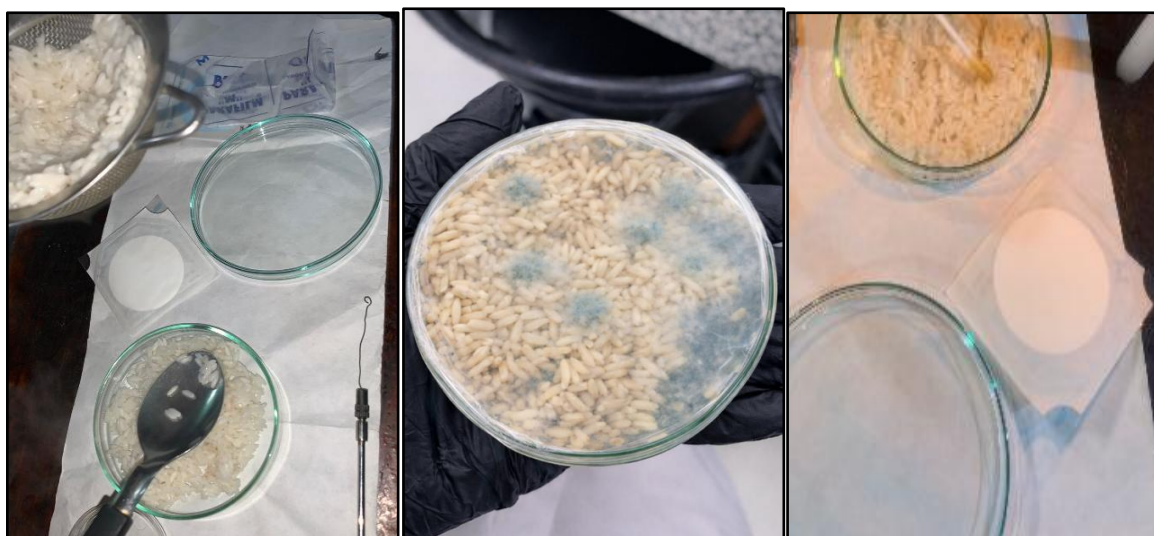
La identificación permitió establecer una comunidad microbiana funcional que se mantuvo estable durante la fermentación y que fue efectiva al aplicarse en el suelo.

Procesos principales:

- **Preparación y esterilización del arroz blanco:** Se colocó el arroz en una caja Petri estando estéril y se procede a llevar a la autoclave a 121 °C por 15–20 minutos, manteniendo la esterilidad del arroz y de la caja hasta la inoculación para evitar contaminación.
- **Inoculación de muestras microbianas:** Se introdujo fragmentos de micelio o esporas del bioinsumo sobre el arroz utilizando pinzas y pipetas estériles.
- **Incubación controlada:** Se mantuvieron las cajas a 25–28 °C durante 5 días, con humedad adecuada para favorecer el crecimiento, esto evitó cambios bruscos de temperatura o exposición directa a la luz intensa para no afectar el desarrollo.
- Se verificó el micelio verde típico de *Trichoderma spp.*, registrando la textura y coloración.

Ilustración 16

Método de verificación de Trichoderma spp.



Nota. La identificación del hongo se realizó a través del método de inoculación en arroz blanco, como sustrato para evidenciar su crecimiento. (José Ronquillo,2026)

4.8.2.2 Identificación de hongos *micorrízicos arbusculares* (HMA) mediante observación microscópica

Pasos técnicos:

1. Recolección de raíces y suelo: Se seleccionaron raíces finas con signos de colonización fúngica y suelo rizosférico asociado.
2. Limpieza y preparación de muestras: Las raíces se lavaron con agua estéril y se cortaron en fragmentos finos que se agregaron al bioinsumo para así visualizar en el microscopio, manipulamos con pinzas estériles
3. Montaje en portaobjetos: Se colocaron los fragmentos de raíces en portaobjetos con solución tampón o colorante específico.
4. Observación bajo microscopio óptico: Se identificaron estructuras típicas de HMA, como hifas y vesículas, a diferentes aumentos (10x-40x-100x-400x).
5. Evaluación funcional: Se corroboró la eficacia de HMA mediante la colocación de plantas en el bioinsumo.

Ilustración 17

Visualización microscópica de colonias de hongos micorrízicos arbusculares a 10x-40x

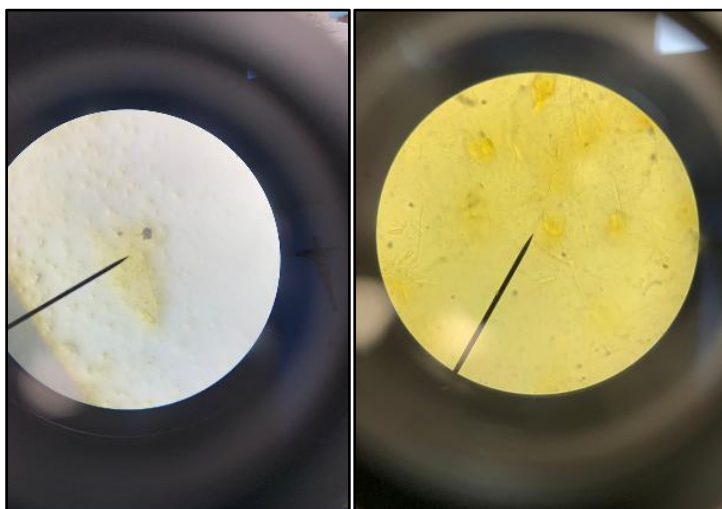
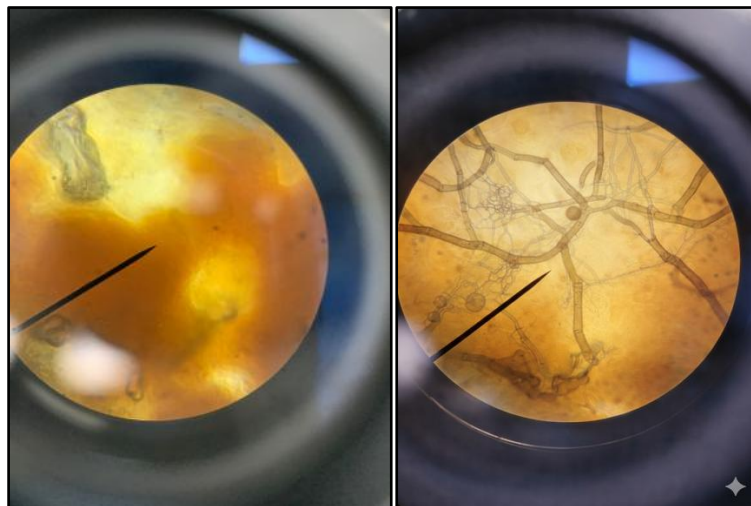


Ilustración 18

Visualización microscópica de hifas de apariencia hialina y organización filamentosa de 100×-400x



Nota. La identificación se apoyó en la observación microscópica de esporas de pared gruesa e hifas encontradas en el bioinsumo, morfológicamente compatibles con hongos micorrízicos arbusculares.

4.8.2.3 Inclusión de microorganismos fermentativo

La incorporación de microorganismos fermentativos provenientes de la cerveza y el vino se realizó con el propósito de enriquecer la diversidad microbiana del bioinsumo y potenciar los procesos de descomposición y transformación de la materia orgánica.

Estos microorganismos contribuyeron a la producción de metabolitos secundarios, ácidos orgánicos y compuestos bioactivos que favorecieron la solubilización de nutrientes y la mejora de las condiciones químicas del suelo. Además, su inclusión permitió fortalecer la actividad microbiológica del sistema edáfico, promoviendo un entorno más favorable para el desarrollo vegetal.

4.8.3 FASE 3. Estabilidad microbiana del bioinsumo

En esta fase se evaluó la estabilidad y viabilidad microbiana, con el fin de comprobar la presencia, concentración y actividad de los microorganismos contenidos en el producto final. Para ello, se tomaron muestras representativas del bioinsumo y se realizó en el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana para los análisis microbiológicos.

Los análisis incluyeron el conteo de hongos mediante técnicas de cultivo con Agar y observación microscópica, así como la identificación morfológica de los microorganismos presentes utilizando microscopio óptico. Estos procedimientos permitieron verificar la viabilidad de los microorganismos y confirmar la calidad microbiológica del bioinsumo.

Los resultados obtenidos del laboratorio de la Universidad fueron los siguientes:

Conteo de hongos (UFC/g o unidad reportada por el laboratorio): Cientos de colonias pequeñas (puntos) esparcidas por toda la placa.

Microorganismos observados al microscopio: Crecimiento mixto. Se visualizó el color verde bosque intenso en las colonias circulares grandes con anillos concéntricos y esos cientos de "puntos" pequeños, redondos y de aspecto cremoso o mucilaginoso que rodean a las colonias grandes que son característicos de las levaduras.

Observaciones morfológicas relevantes: Se observan colonias de aspecto rugoso y radial en el centro (típico de hongos filamentosos) rodeadas por una proliferación de colonias puntiformes lisas y brillantes (levaduras).

Fecha del análisis: 30 de enero

Adicionalmente, se realizó una interpretación de los resultados con base en criterios de calidad microbiológica para bioinsumos agrícolas, considerando que una adecuada concentración de microorganismos viables es indicativa de un producto biológicamente activo y potencialmente efectivo para su aplicación en el suelo.

La efectividad del bioinsumo se definió como la capacidad del producto para mantener microorganismos vivos y funcionales, capaces de ejercer efectos positivos en el suelo, tales como la mejora de las condiciones biológicas y el apoyo a los procesos de transformación de la materia orgánica. En este sentido, la presencia y el conteo adecuado de hongos viables constituyeron un indicador directo de la estabilidad microbiana del bioinsumo (Ilustración en el anexo F).

4.9 Caracterización del suelo posterior a la aplicación del bioinsumo

Una vez aplicado el bioinsumo al suelo, se procedió a evaluar nuevamente sus características fisicoquímicas. Previamente, se verificó que el bioinsumo tenga larvas activas, estado líquido adecuado y coloración marrón rojiza, indicadores de una fermentación exitosa. Posteriormente, se aplicó la dosis correspondiente conforme a la metodología establecida en el Capítulo III con una dosis correspondiente a la hectárea delimitada, garantizando una distribución homogénea en la muestra de suelo. Esta etapa permitió establecer las condiciones necesarias para evaluar el impacto real del bioinsumo sobre la calidad edáfica.

4.10 Humedad del suelo después de la aplicación del bioinsumo

Tras la aplicación del bioinsumo, se realizó nuevamente la medición de humedad siguiendo el mismo procedimiento inicial, lo que permitió asegurar la comparabilidad de los resultados. Se registró un incremento aproximado del 39.2 % en el contenido de humedad, lo cual evidencia una mejora significativa en la capacidad de retención de

agua del suelo. Este aumento puede atribuirse al aporte de materia orgánica y a la acción de los microorganismos, que favorecen la formación de agregados estables. La mejora en la humedad contribuye directamente al desarrollo radicular y a la eficiencia en la absorción de nutrientes.

Tabla 14

Tabla de resultados de humedad con la incorporación del bioinsumo

MUESTRA	PESOS		METODO
	Peso del Suelo seco tratado	Peso de la Plaqueta de Aluminio	Balanza de Humedad
			RESULTADO
Con el bioinsumo	9,40g	2g	39,2 %

Nota. El incremento en el contenido de humedad del suelo se atribuye al favorecimiento la retención de agua mediante la mejora de la estructura del suelo, indica una mayor capacidad del suelo para conservar humedad después de la aplicación del bioinsumo, por (José Ronquillo,2026).

4.11 Materia orgánica después de la aplicación del bioinsumo

La determinación posterior de materia orgánica se efectuó mediante el mismo método de calcinación, garantizando consistencia metodológica. Los resultados evidenciaron un incremento en el contenido de materia orgánica, lo que indicó un aporte efectivo del bioinsumo al suelo. Este aumento favorece la mejora de la estructura edáfica, incrementa la capacidad de intercambio catiónico y estimula la actividad microbiana. Asimismo, contribuye al almacenamiento de carbono y a la sostenibilidad del sistema agrícola.

Tabla 15

Tabla de resultados de materia orgánica con la incorporación del bioinsumo

MUESTRA	PESOS			Formula
	Peso del crisol vacío	Peso del suelo seco tratado	Peso del crisol con el suelo calcinado	$\% \text{Materia orgánica} = \frac{P_c + P_{ss} - P_{sc}}{P_{ss}} \times 100$
				RESULTADO
Con el bioinsumo	39,6 g	10 g	45 g	46%

Nota. El valor de materia orgánica se debe a una mayor pérdida de masa durante la calcinación, lo que indica una mayor presencia de compuestos orgánicos en la muestra tratada con bioinsumo, por (José Ronquillo, 2026).

4.12 pH del suelo después de la aplicación del bioinsumo

El pH del suelo posterior a la aplicación del bioinsumo fue determinado nuevamente mediante suspensión suelo-agua, obteniéndose un valor cercano a 6, considerado óptimo para la mayoría de los cultivos agrícolas, incluido el arroz. Este ajuste del pH favoreció la disponibilidad de nutrientes esenciales y mejora las condiciones para la actividad microbiana beneficiosa. La modificación observada se atribuye a la producción de metabolitos orgánicos durante la fermentación del bioinsumo, los cuales influyen en la neutralización de la acidez del suelo.

Tabla 16

Tabla de resultados de pH con la incorporación del bioinsumo

MUESTRA	RESULTADO DE pH	ESTÁNDAR
Con el bioinsumo	6.28	5.5 - 6.5

Nota. El pH del suelo aumentó de 5,48 a 6,28 tras la aplicación del bioinsumo, lo que indica una mejora en la condición química del suelo, por (José Ronquillo, 2026)

4.13 Conductividad eléctrica después de la aplicación del bioinsumo

La medición de la conductividad eléctrica posterior evidenció un incremento hasta un valor aproximado de 1.56, lo que indicó una mayor disponibilidad de sales solubles y nutrientes en el suelo. Este resultado refleja un efecto positivo del bioinsumo sobre la dinámica iónica del sistema edáfico, sin alcanzar niveles perjudiciales para el cultivo. La mejora en la conductividad eléctrica sugiere una mayor eficiencia en la liberación y disponibilidad de nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal.

Tabla 17

Tabla de resultados de conductividad eléctrica con la incorporación del bioinsumo

MUESTRA	RESULTADO	ESTÁNDAR
Con el bioinsumo	1.56	<2 mS/cm

Nota. La conductividad eléctrica aumentó tras la aplicación del bioinsumo, pasando a 1,56 mS/cm, lo que indica que el suelo continúa presentando baja salinidad y condiciones adecuadas para el desarrollo del cultivo, por (José Ronquillo,2026)

4.14 Comparación de los resultados después de la aplicación del bioinsumo

Los parámetros fisicoquímicos evaluados después de la aplicación del bioinsumo mostraron valores favorables en todos los indicadores analizados, destacándose la humedad, la materia orgánica, el pH y la conductividad eléctrica. Estos resultados reflejaron el impacto positivo del bioinsumo en la recuperación de las condiciones edáficas y en la activación de los procesos biológicos del suelo. El comportamiento adecuado de estos parámetros contribuyó a crear un ambiente edáfico más equilibrado, lo cual favorece el desarrollo del cultivo de arroz y fortalece la sostenibilidad del sistema productivo.

Tabla 18

Tabla de resultados de valores de los parámetros del suelo tras la aplicar el bioinsumo

Parámetros	Antes del bioinsumo	Después del bioinsumo	Unidad
Humedad	20.6	39.2	%
Materia orgánica	23	46	%
pH	5.48	6.28	pH
Conductividad eléctrica	0.46	1.56	mS/cm

Nota. Los valores presentados corresponden a los análisis del suelo realizados antes y después de la aplicación del bioinsumo microbiano, por (José Ronquillo,2026).

4.15 Evaluación de la eficiencia del bioinsumo microbiano

La eficiencia del bioinsumo se evaluó en función del incremento porcentual de los parámetros edáficos clave, especialmente el contenido de materia orgánica y la humedad del suelo. Los resultados obtenidos permitieron inferir que el bioinsumo contribuyó de manera efectiva a la recuperación de la calidad del suelo, favoreciendo un entorno más estable para el desarrollo de los cultivos. Asimismo, su aplicación se consolida como una alternativa ambientalmente sostenible frente al uso intensivo de insumos químicos, promoviendo prácticas agrícolas más responsables.

Metodología estadística propuesta: La eficiencia del bioinsumo microbiano se evaluó mediante el incremento porcentual de los parámetros edáficos clave, principalmente materia orgánica (%) y humedad del suelo (%), Además del pH y conductividad eléctrica comparando los valores obtenidos antes y después de su aplicación.

El incremento porcentual se calculó utilizando la siguiente expresión:

$$\text{Incremento (\%)} = \frac{(\text{Valor final} - \text{Valor inicial})}{\text{Valor inicial}} \times 100$$

Los resultados obtenidos muestran incrementos significativos en los parámetros evaluados, lo que evidencia un efecto positivo del bioinsumo sobre las propiedades del suelo. En particular, la humedad del suelo presentó un incremento aproximado del 90,3 %, mientras que la materia orgánica mostró un aumento del 100 %, indicando una mejora sustancial en la calidad edáfica. El pH aumentó en aproximadamente 14,6 %, desplazándose hacia un rango más favorable para el cultivo.

Estos resultados permitieron inferir que el bioinsumo contribuyó de manera efectiva a la recuperación de la calidad del suelo, favoreciendo un entorno más estable para el desarrollo de los cultivos y consolidándose como una alternativa ambientalmente sostenible frente al uso intensivo de insumos químicos.

Ilustración 19

Incremento porcentual de parámetros edáficos

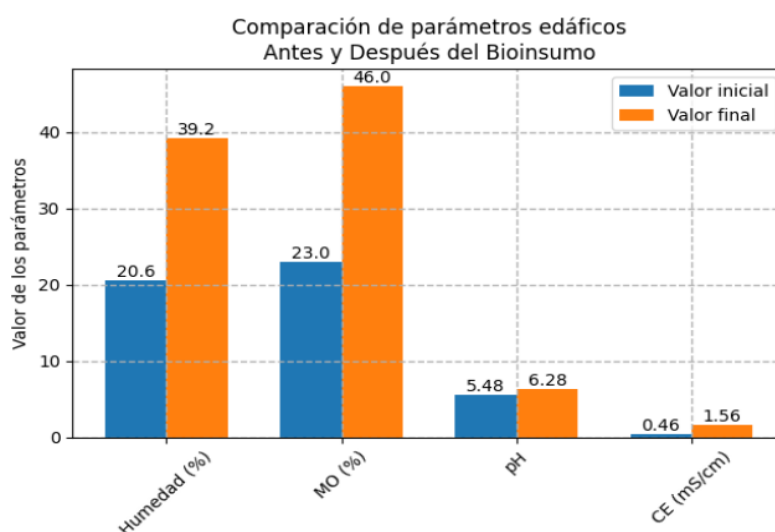
Parámetros edáficos	Valor inicial	Valor final	Incremento (%)
Humedad (%)	20,6	39,2	90,3%
Materia orgánica (%)	23	46	100,0%
pH	5,48	6,28	14,6%
Conductividad eléctrica (mS/cm)	0,46	1,56	Mayor al 100%

Nota. Los valores presentados corresponden a las mediciones de los parámetros edáficos antes y después de la aplicación, por (José Ronquillo, 2026).

El bioinsumo no está diseñado para “subir mucho” el pH como lo haría una cal agrícola, sino para estabilizarlo gradualmente mediante la actividad microbiana y la transformación de la materia orgánica. por eso, un aumento de 14-15 % en pH es coherente, realista y técnicamente correcto, y en términos agronómicos es muy positivo.

Ilustración 20

Incremento en la eficacia del bioinsumo



Nota. Los valores finales muestran un incremento significativo en los parámetros edáficos tras la aplicación del bioinsumo microbiano, por (José Ronquillo, 2026).

4.16 Comprobación de la hipótesis mediante prueba t de Student

La prueba t de Student es una herramienta de la estadística inferencial utilizada para determinar si existen diferencias significativas entre dos conjuntos de datos obtenidos a partir de una misma muestra.

En el presente estudio, se empleó la prueba t de Student para muestras pareadas, la cual es apropiada cuando se realizan dos mediciones sobre la misma unidad experimental, en este caso, el suelo antes y después de la aplicación. Este enfoque permitió analizar si los cambios observados en los parámetros evaluados pueden atribuirse al efecto del bioinsumo.

HIPÓTESIS GENERAL (Hg)

¿La aplicación de un bioinsumo elaborado a base de microorganismos benéficos permite restablecer la microbiota natural de un suelo agrícola degradado y mejorar sus condiciones edáficas?

HIPÓTESIS NULA (H_0)

La aplicación del bioinsumo microbiano no produce cambios significativos en las condiciones del suelo ni en la restauración de su microbiota natural.

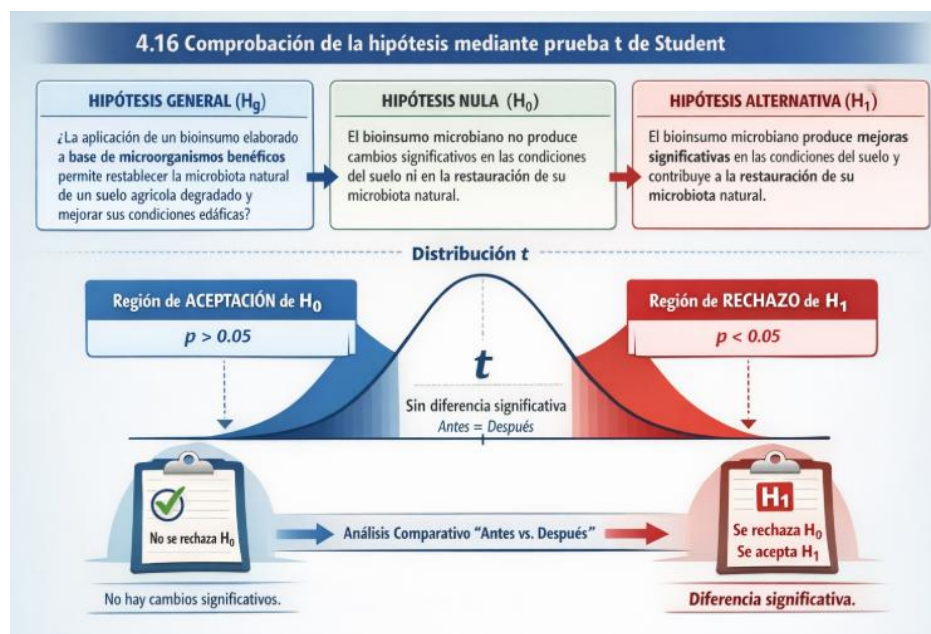
HIPÓTESIS ALTERNATIVA (H_1)

La aplicación del bioinsumo microbiano produce mejoras significativas en las condiciones del suelo y contribuye a la restauración de su microbiota natural.

El contraste de estas hipótesis permite definir las regiones de aceptación o rechazo de la hipótesis nula. En este sentido, valores que no evidencien diferencias significativas entre las mediciones antes y después del tratamiento conducen a la aceptación de H_0 , mientras que resultados que muestren diferencias estadísticamente significativas respaldan el rechazo de H_0 y la aceptación de H_1 .

Ilustración 21

Prueba *t* de Student



Nota. Se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis alternativa, demostrando que la aplicación del bioinsumo microbiano produjo mejoras significativas en las condiciones edáficas del suelo, por (José Ronquillo, 2026).

CAPITULO V

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Los ensayos de laboratorio permitieron evaluar los cambios en las propiedades fisicoquímicas del suelo tras la aplicación del bioinsumo microbiano, mediante la determinación de humedad, materia orgánica, pH y conductividad eléctrica. La medición de la humedad por secado en estufa evidenció una mejora en la capacidad de retención hídrica, asociada al incremento de la fracción orgánica y a la acción de los microorganismos sobre la estructura del suelo. Asimismo, el análisis de materia orgánica por calcinación confirmó un aumento del contenido orgánico, lo que implica una mejora en la calidad edáfica, en la capacidad de intercambio catiónico y en el soporte de los procesos biológicos del suelo.

La determinación del pH en suspensión suelo-agua mostró una variación hacia valores más cercanos a la neutralidad, lo que indica una mayor estabilidad química del sistema edáfico y condiciones más favorables para la disponibilidad de nutrientes. Por su parte, la conductividad eléctrica evidenció un incremento moderado, interpretado como una mayor disponibilidad de sales y nutrientes en la solución del suelo, sin alcanzar niveles que representen riesgo de salinidad para el cultivo, lo cual es coherente con los procesos de mineralización de la materia orgánica promovidos por la actividad microbiana.

Con base en la comparación de los resultados antes y después del tratamiento y en el análisis de eficiencia, se determinó que el bioinsumo microbiano produjo una variación positiva en los principales parámetros edáficos, destacándose la mejora en la retención de humedad y el incremento del contenido de materia orgánica. Estos cambios confirman su aplicabilidad agronómica y su aporte al manejo sostenible del suelo, al

favorecer un entorno edáfico más equilibrado y funcional para el desarrollo del cultivo, manteniendo la estabilidad química y una adecuada disponibilidad de nutrientes.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda realizar una caracterización previa del suelo antes de la aplicación del bioinsumo microbiano, considerando parámetros como pH, humedad, materia orgánica y conductividad eléctrica, ya que la respuesta del suelo puede variar en función de sus condiciones iniciales y del manejo agronómico. Esta evaluación permitirá ajustar dosis, forma de aplicación y frecuencia de uso, con el fin de maximizar la eficiencia y asegurar resultados consistentes en diferentes tipos de suelo y sistemas de cultivo.

Asimismo, se sugiere desarrollar y evaluar variaciones utilizando diferentes fuentes de materia orgánica o consorcios microbianos, con el propósito de comparar su desempeño propuesto en este estudio. Estas comparaciones permitirían analizar la variabilidad en los parámetros edáficos y seleccionar formulaciones con mayor estabilidad microbiológica y mejor impacto sobre la calidad del suelo.

Para obtener una visión más integral del comportamiento, se recomienda ampliar el número de parámetros evaluados, incorporando variables biológicas y nutricionales, así como estudiar su interacción con otros insumos agrícolas, como fertilizantes orgánicos o enmiendas, siempre que sean compatibles con la actividad microbiana. Esto permitiría comprender mejor los efectos sinérgicos o antagonistas dentro del sistema edáfico.

Finalmente, se sugiere evaluar el potencial del bioinsumo no solo como mejorador de la retención de humedad y de la calidad del suelo, sino también como una alternativa para la recuperación de suelos degradados, además de realizar un análisis de costo-beneficio en caso de considerar su producción y aplicación a mayor escala dentro de sistemas agrícolas sostenibles.

6. Citas bibliográficas

1. Agrocalidad. (2020). Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro. <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/material1.pdf>
2. Agrostream. (2018, 2 julio). DIGITALIZACIÓN DE SUELOS vs TOMA DE MUESTRAS - Agrostream. <http://agrostream.es/index.php/digitalizacion-suelos-vs-toma-de-muestras/>
3. Ayan, L. R., Coutiño, P. M., González, M. M., Vázquez, R. L., & Hernández, F. G. (2021). Microorganismos del suelo y sus usos potenciales en la agricultura frente al escenario del cambio climático. *Magna Scientia UCEVA*, 1(1), 104–119. <https://doi.org/10.54502/msuceva.v1n1a14>
4. CEPAL. (s. f.). Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/1419157d-6e9d-4cf3-b489-ade65efb12bd/content>
5. Ch, M. (2023, junio 2). Características y uso de la mosca Soldado Negra BSF. *Tu Granja de Insectos*. <https://tugranjadeinsectos.com/caracteristicas-y-uso-de-la-mosca-soldado-negra-bsf/>
6. Ecoportal. (s. f.). Las 17 enfermedades que pueden provocar los agroquímicos. <https://www.ecoportal.net/salud/las-17-enfermedades-que-pueden-provocar-los-agrotoxicos/>
7. Gobierno del Ecuador. (2018). Acuerdo Ministerial 097-A. https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Acuerdo-Ministerial-097-A-ANEXOS.pdf
8. Jaime Izquierdo Bautista, J. J. (2021). Determinación de la materia orgánica del suelo (MOS) por el método químico y calcinación. *Revista Ingeniería y Región*, 29, 21–26.

9. Lomonaco, G., Franco, A., De Smet, J., Scieuzo, C., Salvia, R., & Falabella, P. (2024). Larval frass of *Hermetia illucens* as organic fertilizer: composition and beneficial effects on different crops. *Insects*, 15(4), 293. <https://doi.org/10.3390/insects15040293>
10. MESMIS. (s. f.). Framework MESMIS. Universidad Nacional Autónoma de México. <https://www.mesmis.unam.mx/MESMIS/framework.xhtml>
11. Naciones Unidas. (s. f.). Objetivo 2: Hambre cero. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/hunger/>
12. Nature Reviews Microbiology. (2020). Soil microbiomes and climate change. Nature Publishing Group. <https://www.nature.com/articles/nrmicro797>
13. Nuñez-Peñaloza, J. L., & Prado-Hernández, J. P.-N. (2023). Análisis de indicadores e índices de calidad de suelos en México. *SciELO*, 1–14. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342023000600201
14. TestAgro. (2023, febrero 28). Análisis de suelos: Cómo preparar una solución de suelo con el método de dilución 1:2. <https://www.testagro.com/post/analisis-de-suelos-dilucion-1-2?lang=es>
15. FAO. (2020). State of knowledge of soil biodiversity: Status, challenges and potentialities. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cb1928en>
16. Comunicacion. (2025, 21 enero). ¿Qué son los microorganismos del suelo y qué tipos hay? Instituto Europeo de Química, Física y Biología. <https://ieqfb.com/tipos-microorganismos-del-suelo/>

17. Jaime Izquierdo Bautista, J. j. (2021). Determinación de la Materia Organica del Suelo (MOS) por el Método Químico y Calcinación . Revista Ingenieria Y Región Vol.29- Universidad Surcolombia , 21-26.
18. Julio Gabriel Ortega, A. Z., & Raquel Vera Velázquez, W. M. (2022). Análisis físico y químico de los suelos agrícolas del Sur de Manabí y su relación con los cultivos. ROCA. Revista Científico-Educacional de la provincia Granma
19. TestAgro. (28 de febrero de 23). TestAgro. Obtenido de Análisis de suelos: Cómo preparar una solución de suelo con el método de dilución 1:2: <https://www.testagro.com/post/analisis-de-suelos-dilucion-1-2?lang=es>
20. Triviño Pineda, J. S. (2021). Evaluación de cuatro modelos de labranza en la calidad del suelo y sus efectos en la producción. Colombia: Fundación Universitaria Los Libertadores
21. Importancia de los suelos en la agricultura | Ondarural. (s. f.). <https://ondarural.org/ondarural.org/importancia-de-los-suelos-en-la-agricultura>
22. Marín, M. (2023, 11 diciembre). Hongos y bacterias, microorganismos clave para el rendimiento de los cultivos agrícolas. Agencia SINC. <https://www.agenciasinc.es/Reportajes/Hongos-y-bacterias-microorganismos-clave-para-el-rendimiento-de-los-cultivos-agricolas>
23. Agritecno. (2025, 7 abril). La importancia del microbioma del suelo en la agricultura sostenible: funciones, beneficios y estrategias de manejo. <https://www.agritecno.com/es/microbioma-suelo-agricultura-sostenible/>
24. Tuz-Guncay, I. G., Simbaña-Villarreal, A., Quevedo-Guerrero, J. N., & Vera-Cruz, E. F. (2025). Trichoderma asperellum: persistencia en el suelo bajo distintos métodos de aplicación en cultivo de banano. Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas, 8(4), 77-86. <https://doi.org/10.62452/bj7q9284>

25. Ortega, C. (2023, 5 octubre). Prueba t: Qué es, ventajas y pasos para realizarla. QuestionPro. <https://www.questionpro.com/blog/es/prueba-t-de-student/>
26. Deka, B., Baruah, C., & Babu, A. (2021). Entomopathogenic microorganisms: their role in insect pest management. *Egyptian Journal Of Biological Pest Control*, 31(1). <https://doi.org/10.1186/s41938-021-00466-7>

7. Anexos

7.1 ANEXO A

Tabla 3 del Anexo 2 del Código Orgánico del Ambiente

**TABLA 3. MUESTREO PARA SUELOS
CONTAMINADOS**
(Con superficies comprendidas entre 0.1 Ha y 30 Ha)

Superficie del sitio que se supone contaminado (hectáreas)		Número mínimo de puntos de muestreos
DE	A	
0.1	0.19	6
0.2	0.29	7
0.3	0.39	8
0.4	0.49	9
0.5	0.69	10
0.7	0.99	11
1	1.99	12
2	2.99	14
3	3.99	16
4	4.99	18
5	5.99	19
6	6.99	20
7	7.99	21
8	8.99	22
9	10.99	23
11	11.99	24
12	13.99	25
14	15.99	26
16	17.99	27
18	19.99	28
20	21.99	29
22	24.99	30
25	27.99	31
28	29.99	32

7.2 ANEXO B

Toma de muestras de suelo



7.3 ANEXO C

Visualización de la *Hermetia illucens* en un tanque de aislamiento con bioinsumo



7.4 ANEXO D

Caracterización de parámetros de suelos

- pH del Suelo Tratado

ANTES



DESPUES



- Humedad del Suelo Tratado

ANTES



DESPUES



- Materia Orgánica del Suelo Tratado



- Conductividad Eléctrica del Suelo Tratado

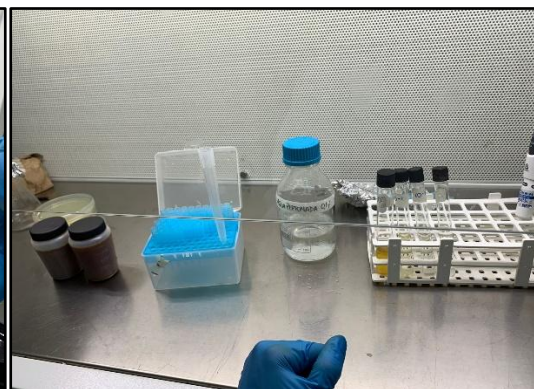
ANTES

DESPUES



7.5 ANEXO E

Proceso Microbiológico



7.6 ANEXO F

Visualización de Hongos y Levaduras en Agar

