

**UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL
DE LA SELVA CENTRAL JUAN SANTOS
ATAHUALPA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**RECUPERACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS POR *Zingiber
officinale* MEDIANTE COMPOST AVÍCOLA EN LA
FENOLOGÍA DEL *Zea mays* L.**

Autor

MÁRQUEZ GINÉS Angie Joselin

QUISPE BRICEÑO Elian Dayana

ASESOR:

ING. MUÑOZ HERMITAÑO, Jessica Zaida.

PICHANAQUI – PERÚ

2026

AGRADECIMIENTO

Manifiesto mi agradecimiento a Dios por acompañarme a lo largo de esta etapa y otorgarme la fortaleza necesaria para superar las dificultades presentadas durante este proceso.

A mi pareja, Jhon, por su respaldo permanente, comprensión y motivación brindada en los momentos de mayor exigencia.

Elian QUISPE B.

Deseo agradecer a Dios por permitirme concluir esta etapa universitaria y brindarme constancia para afrontar los desafíos surgidos a lo largo de mi etapa universitaria.

A mi familia, por el acompañamiento, confianza y apoyo brindado durante este desarrollo académico, motivándome a continuar hasta alcanzar esta meta.

A los profesionales que me compartieron sus experiencias y conocimientos durante mi formación profesional.

Angie MÁRQUEZ G.

DEDICATORIA

A mi familia, para que nunca se rindan y comprendan que, a pesar de las dificultades, siempre hay una luz al final del camino.

Que este logro les recuerde que todo es posible cuando uno cree en sí mismo y lucha por sus sueños.

Elian QUISPE B.

Dedico este trabajo a Dios y a mis seres queridos, por el respaldo permanente que me brindaron y por impulsarme a culminar esta etapa de mi desarrollo profesional.

Angie MÁRQUEZ G.

RESUMEN

El crecimiento sostenido de la demanda de jengibre (*Zingiber officinale*) ha intensificado el uso del suelo bajo esquemas de monocultivo, generando procesos de degradación asociados a la disminución del contenido orgánico, el agotamiento de componentes nutritivos y la caída de la productividad agrícola. Frente a este escenario, el estudio evaluó el uso de compost elaborado a partir de residuos avícolas como estrategia de recuperación de suelos degradados. Se analizó su efecto sobre el rendimiento de materia seca del maíz (*Zea mays* L.), así como sobre la disponibilidad de macronutrientes (N, P y K) y el contenido de carbono orgánico del suelo. El experimento fue bajo un diseño completamente al azar, con un tratamiento control y tres niveles de aplicación de compost (1, 2 y 3 kg/m²). Los resultados evidenciaron una respuesta creciente en según la dosis empleada. La masa seca de la mazorca aumentó de 47.74 g en el tratamiento sin enmienda a 136.44 g en la dosis más alta. De manera similar, se observaron incrementos en la masa de tallos, raíces y hojas. En términos edáficos, el potasio evolucionó de niveles bajos a altos, el nitrógeno alcanzó rangos medios y el carbono orgánico se incrementó de 0.81% a 3.12%. En conclusión, el compost de origen avícola constituye una alternativa eficiente para la rehabilitación de áreas degradadas, siendo la dosis de 3 kg/m² la que presentó mayor eficiencia en la recuperación de las características edáficas y el desempeño del cultivo.

Palabras clave: Compost de residuos avícola, recuperación de suelos, *Zea mays* L.

ABSTRACT

The sustained growth in demand for ginger (*Zingiber officinale*) has intensified land use under monoculture systems, generating degradation processes associated with decreased organic content, depletion of nutrients, and a decline in agricultural productivity. In response to this scenario, this study evaluated the use of compost made from poultry manure as a strategy for recovering degraded soils. Its effect on the dry matter yield of maize (*Zea mays* L.), as well as on the availability of macronutrients (N, P, and K) and the soil organic carbon content, was analyzed. The experiment was conducted using a completely randomized design, with a control treatment and three compost application levels (1, 2, and 3 kg/m²). The results showed an increasing response with each dose applied. The dry weight of the ear increased from 47.74 g in the unamended treatment to 136.44 g at the highest dose. Similarly, increases were observed in the mass of stalks, roots, and leaves. In terms of soil characteristics, potassium levels increased from low to high, nitrogen levels reached medium ranges, and organic carbon increased from 0.81% to 3.12%. In conclusion, poultry manure compost is an efficient alternative for rehabilitating degraded areas, with the 3 kg/m² dose showing the greatest effectiveness in restoring soil characteristics and crop performance.

Keywords: Poultry waste compost, soil recovery, *Zea mays* L.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA.....	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
ÍNDICE.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
INTRODUCCIÓN	10
CAPITULO I.....	11
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.1. Fundamentación del problema.....	11
1.2. Formulación del Problema.....	14
1.2.1. <i>Problema General</i>	14
1.2.2. <i>Problemas Específicos</i>	14
1.3. Objetivos.....	14
1.3.1. <i>Objetivo General</i>	14
1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i>	14
1.4. Definición y operacionalización de variables.....	15
1.5. Hipótesis	16
1.5.1. <i>Hipótesis General</i>	16
1.5.2. <i>Hipótesis Específicas</i>	16
1.6. Justificación del Problema.....	16
1.6.1. <i>Justificación Teórica</i>	16
1.6.2. <i>Justificación Práctica</i>	16
1.6.3. <i>Justificación Social</i>	17
1.6.4. <i>Justificación Económica</i>	17
1.6.5. <i>Justificación Ambiental</i>	17
CAPITULO II.....	19
MARCO TEÓRICO.....	19

2.1.	Antecedentes.....	19
2.1.1.	<i>Internacionales</i>	19
2.1.2.	<i>Nacionales</i>	21
2.2.	Bases Teóricas	23
2.2.1.	<i>El Jengibre (Zingiber officinale)</i>	23
2.2.2.	<i>Suelos degradados por monocultivos</i>	23
2.2.3.	<i>Compost de residuos Avícolas</i>	24
2.2.4.	<i>Recuperación de Suelos</i>	25
2.2.5.	<i>Zea mays (Maíz)</i>	25
2.2.6.	<i>Fenología del cultivo de Zea mays L.</i>	26
2.2.7.	<i>Manejo de siembra</i>	27
2.2.8.	<i>Propiedades físicas y químicas del suelo</i>	28
2.2.9.	<i>Análisis de nutrientes (Nitrógeno, Fósforo, Potasio)</i>	28
2.2.10.	<i>Impacto de dosis de compost</i>	29
CAPITULO III		30
METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN		30
3.1.	Ámbito de estudio.....	30
3.2.	Tipo, nivel y diseño de investigación	31
3.3.	Población y muestra.....	32
3.4.	Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	33
3.4.1.	<i>Procedimientos</i>	33
3.4.2.	<i>Técnicas</i>	33
3.4.3.	<i>Instrumentos de recolección de datos</i>	35
3.5.	Análisis de datos	36
3.6.	Consideraciones éticas.....	37
CAPITULO IV		38
RESULTADOS Y DISCUSIONES		38
3.7.	Presentación de resultados y discusiones	38
3.8.	Prueba de hipótesis	52
CONCLUSIONES		54
RECOMENDACIONES		55
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		56

ANEXOS.....	63
Anexo 1. Matriz de consistencia	63
Anexo 2. Instrumento de recolección de datos.	64
Anexo 3. Flujograma de investigación	66
Anexo 4. Análisis de laboratorio	67
Anexo 5. Panel fotográfico	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Área de estudio</i>	31
Figura 2 <i>Comportamiento de la masa seca del tallo según dosis aplicadas</i>	39
Figura 3 <i>Comportamiento de la masa seca radicular en función de las dosis aplicadas</i>	40
Figura 4 <i>Comportamiento de la masa seca foliar frente a las dosis de compost</i>	41
Figura 5 <i>Comportamiento de la masa seca de la mazorca frente a las dosis de compost</i>	42
Figura 6 <i>Concentración de P y K en el suelo</i>	45
Figura 7 <i>Contenido de nitrógeno del suelo bajo diferentes dosis de compost</i>	45
Figura 8 <i>Variación del carbono orgánico bajo diferentes dosis de compost</i>	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Operacionalización de variables</i>	15
Tabla 2 <i>Parámetros de calidad del compost de origen avícola</i>	24
Tabla 3 <i>Diseño experimental</i>	32
Tabla 4 <i>Variación de la masa seca del tallo bajo diferentes dosis de compost</i>	38
Tabla 5 <i>Variación de la masa seca radicular bajo diferentes dosis de compost</i>	40
Tabla 6 <i>Variación de la masa seca foliar bajo diferentes dosis de compost</i>	41
Tabla 7 <i>Variación de la masa seca de la mazorca bajo diferentes dosis de compost</i>	42
Tabla 8 <i>Rendimiento estimado de mazorca</i>	43
Tabla 9 <i>Caracterización química del compost avícola</i>	44
Tabla 10 <i>Comparación de macronutrientes en los suelos tratados</i>	44
Tabla 11 <i>Contenido de carbono orgánico bajo diferentes dosis de compost</i>	46

INTRODUCCIÓN

El deterioro de los terrenos de cultivo constituye una de las principales limitaciones para la sostenibilidad de los sistemas productivos a escala mundial, afectando directamente la seguridad alimentaria y la productividad. Se estima que más del 33% de los suelos del mundo presentan algún grado de degradación debido a prácticas agrícolas no sostenibles (FAO, 2020). Diversos estudios han demostrado que el monocultivo intensivo, el uso excesivo de fertilizantes químicos y la sobreexplotación del suelo generan pérdida de fertilidad, disminución de la materia orgánica y deterioro de sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Lal et al., 2021).

En los últimos años, la degradación del suelo se ha convertido en un problema frecuente en zonas agrícolas de América Latina, especialmente en áreas donde un mismo cultivo permanece por varias campañas consecutivas. En el Perú, el MIDAGRI (2020) informó que muchos suelos agrícolas presentan bajos niveles de materia orgánica, condición que reduce su capacidad productiva y afecta el desarrollo de los cultivos.

Esta situación se hizo más evidente en la selva central durante la pandemia por COVID-19. Debido al incremento de la demanda internacional de jengibre, numerosos agricultores ampliaron rápidamente las áreas de cultivo de *Zingiber officinale*, principalmente bajo la técnica de monocultivo. Como resultado, el suelo fue sometido a un uso continuo, generando pérdida de nutrientes y deterioro de sus propiedades físicas (MIDAGRI, 2021; Llaulli, 2021). En muchas parcelas, los productores comenzaron a observar menor vigor en las plantas y una disminución progresiva de la productividad agrícola.

Frente a esta problemática, el uso de compost elaborado a partir de residuos avícolas representa una alternativa para mejorar las condiciones del suelo. Este insumo aporta materia orgánica y nutrientes que ayudan a recuperar parte de la calidad edáfica y favorecen la actividad biológica del suelo (Aguila et al., 2023; Rivas et al., 2021). Además, el maíz ha sido utilizado en distintos estudios como cultivo indicador debido a su rápida respuesta frente a cambios en la disponibilidad de nutrientes y en las condiciones del suelo (Abendroth et al., 2011).

El aprovechamiento de residuos avícolas también permite reducir problemas ambientales relacionados con su acumulación y, al mismo tiempo, contribuye al manejo más sostenible de áreas agrícolas degradadas.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Fundamentación del problema

La pérdida de calidad de suelo limita la producción continua de alimentos y afecta el rendimiento de los cultivos. La FAO (2020) indicó que alrededor del 33 % de los suelos del mundo se encuentran degradados por el uso intensivo del terreno, la explotación continua y el empleo excesivo de fertilizantes químicos.

La producción de *Zingiber officinale* se encuentra asociado a esta problemática debido a su rentabilidad, muchos productores mantienen el cultivo durante varias campañas en la misma parcela, lo cual estas acciones reducen progresivamente la disponibilidad de nutrientes y afecta las condiciones físicas del suelo (Sathi, et al., 2024). En países como India, donde la producción del jengibre es evidente, se ha incrementado el uso de agroquímicos para mantener la producción, situación que ha generado contaminación por escorrentía y alteraciones en cuerpos de agua cercanos (Ali et al., 2024).

Como consecuencia, el suelo pierde capacidad para retener humedad, sustentar actividad biológica y asegurar niveles adecuados de fertilidad. Esta situación termina afectando el crecimiento de los cultivos y reduciendo la productividad agrícola con el paso del tiempo (Vedashree & Naidu, 2023). De hecho, la pérdida de materia orgánica y la erosión del suelo han reducido hasta en un 50% el rendimiento agrícola, lo que refuerza la necesidad de actuar con estrategias regenerativas y sostenibles que permitan mantener la productividad sin comprometer el equilibrio ecológico (Gardi et al., 2021).

En el caso peruano, se evidencian procesos de degradación en suelos agrícolas asociados a sistemas productivos de alta intensidad. El MIDAGRI reporta que alrededor del 24% de la superficie agrícola del país presenta algún nivel de deterioro, con mayor incidencia en las regiones costeras y andinas (MIDAGRI, 2020).

La sobreutilización de fertilizantes químicos en estos suelos ha llevado a un agotamiento de nutrientes esenciales, como nitrógeno, fósforo y potasio, así como a la disminución de la biodiversidad microbiana, elementos críticos para la salud del suelo (INEI, 2020). Esta situación reduce el potencial productivo del suelo y, además, favorece el uso

creciente de productos de síntesis, lo que genera costos elevados y efectos ambientales negativos en el mediano y largo plazo.

Corilla Flores et al. (2023) evaluaron el efecto de fertilizantes orgánicos y microorganismos sobre el crecimiento y las propiedades fisiológicas del maíz. Los autores reportaron que la aplicación combinada de compost, biochar y rizobium incrementó la biomasa fresca radicular en 43.4 %, la biomasa seca de raíz en 38.3 % y la longitud del tallo en 61.7 % respecto al tratamiento control. Asimismo, observaron mejoras significativas en el contenido de clorofila, fotosíntesis y disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo, concluyendo que las enmiendas orgánicas favorecen el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz.

Un caso representativo se observa en en la localidad de Potreropampa (Apurímac), en la cual más de tres décadas de cultivo continuo de papa sin prácticas de rotación han derivado en un marcado deterioro del suelo. Los análisis edáficos evidencian una reducción significativa de nutrientes, con niveles de nitrógeno cercanos al 2.12% (frente a un valor óptimo de 7%), fósforo alrededor de 10.8 ppm y potasio en rangos de 35 a 65 ppm, por debajo de los valores considerados adecuados. Los valores de conductividad eléctrica oscilaron entre 0.17 y 0.6 dS/m, ubicándose por debajo del intervalo considerado adecuado para el suelo (1.7–4 dS/m). Esta condición podría estar relacionada con una menor presencia de sales y nutrientes disponibles, situación que influye en las características químicas y biológicas del terreno (Loayza, 2020).

En Junín, el cultivo de *Lepidium meyenii* conservado debajo del suelo durante varias campañas ha ido afectando las condiciones del suelo. Entre los cambios más notorios se observó una disminución del pH, pasando de 7.11 a valores cercanos entre 4 y 5. También se registró una menor presencia de materia orgánica y una reducción del fósforo disponible, cuyos valores descendieron de 46.67 a 24.33 ppm. Además, la presencia de suelos franco arenosos y las variaciones en la disponibilidad de nitrógeno y otros nutrientes muestran un desgaste progresivo del suelo asociado al manejo intensivo del cultivo (Arzapalo, 2024).

El manejo continuo de *Zingiber officinale* viene generando un desgaste progresivo de las condiciones del suelo en varias zonas productoras del país (Sierra, 2021). Entre ellas destaca la región Junín, donde se concentra gran parte de la producción nacional de jengibre, permitiendo que el Perú se mantenga entre los principales exportadores, con rendimientos cercanos a 18.5 t/ha (MIDAGRI, 2021). No obstante, el crecimiento del cultivo de jengibre ha venido acompañado de prácticas agrícolas intensivas y poco sostenibles; al ser una planta

altamente demandante de nutrientes, el suelo sufre una rápida pérdida de fertilidad, por lo cual, los agricultores recurren al uso excesivo de fertilizantes y pesticidas, lo que intensifica la degradación química, física y biológica del suelo (Salazar, 2022).

Según el estudio de Muñoz (2023), los suelos expuestos a monocultivo de jengibre mostraron un pH ácido de 5.4, asociado a una baja presencia de materia orgánica y un cambio en la coloración del suelo a un tono rojizo, indicativo de agotamiento nutricional, reduciendo la capacidad del suelo para retener humedad, afectando su estructura y compactación, disminuyendo la biodiversidad microbiana y promoviendo procesos de acidez y pérdida de materia orgánica. Por otro lado, la investigación de Llaulli (2021) evidenció que la densidad aparente del suelo disminuye significativamente luego del cultivo de jengibre ($p < 0.05$), lo que sugiere una mayor compactación que podría limitar el desarrollo radicular de futuros cultivos. Se evidenció un incremento atípico en el contenido de fósforo, el cual estaría relacionado con prácticas como la incineración de residuos vegetales y el uso intensivo de fertilizantes. Estas condiciones pueden modificar la composición del suelo y afectar su estabilidad funcional. En este escenario, los resultados evidencian un estado avanzado de deterioro en áreas de alta producción, lo que resalta la importancia de adoptar medidas orientadas a la sostenibilidad, tales como la diversificación de cultivos, el uso de enmiendas orgánicas junto con un manejo eficiente de insumos los sistemas agrícolas. Frente a este escenario, el compostaje de biorresiduos avícolas se presenta como una alternativa viable, capaz de mejorar la fertilidad del suelo y recuperar su biodiversidad microbiana, ya que el uso de compost de estiércol de aves y restos avícolas puede incrementar hasta en un 30% el contenido de materia orgánica y mejorar la estructura del suelo en sistemas agrícolas degradados (Rivas, Silva, & Torres, 2021). Estas prácticas, además de generar efectos positivos sobre el ambiente, permiten valorizar los residuos orgánicos provenientes de la actividad avícola, impulsando un modelo de economía circular orientado al uso eficiente de los recursos.

El impacto de las acciones orientadas a la recuperación del suelo puede analizarse mediante especies vegetales con alta capacidad de respuesta a las condiciones edáficas, como *Zea mays* L. Esta especie, debido a su crecimiento rápido y sensibilidad a la disponibilidad de nutrientes y a la estructura del suelo, permite evidenciar variaciones en la fertilidad y en las propiedades físicas del terreno (Zamora, 2020). Investigaciones desarrolladas en Huánuco y Trujillo por Cervantes & Salas (2022) y Cabrera & Merejildo (2023) demostraron que el uso de biochar como enmienda orgánica favorece significativamente el desempeño del cultivo de maíz, evidenciado en mejoras en parámetros morfológicos y masa. Estos resultados respaldan

su valor como herramienta para evaluar las condiciones del suelo y orientar decisiones dentro de sistemas agro sustentable.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿Cuál es la efectividad del compost de biorresiduos avícolas en la recuperación de suelos degradados por *Zingiber officinale*, evaluada en la fenología del cultivo de *Zea mays* L.?

1.2.2. Problemas Específicos

1. ¿Cuál es el comportamiento de la fenología del *Zea mayz* L. con la aplicación del compost de biorresiduos avícolas de un suelo degradado por *Zingiber officinale*?
2. ¿Cómo varia la concentración macronutrientes (N, P, K) en suelo degradado por el *Zengibre officinale* tras la aplicación de compost de biorresiduo avícolas?
3. ¿Cuál será el efecto de la aplicación de compost de biorresiduos avícolas en la recuperación de suelos a través del carbono orgánico encontrado en el suelo degradado por *Zingiber officinale*?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Evaluar la efectividad del compost de biorresiduos avícolas en la recuperación de suelos degradados por *Zingiber officinale*, evaluada en la fenología del cultivo de *Zea mays* L.

1.3.2. Objetivos Específicos

1. Describir el comportamiento de la fenología del *Zea maíz* L. con la aplicación del compost de biorresiduos avícolas de un suelo degradado por *Zingiber officinale*.
2. Cuantificar la variación en la concentración de macronutrientes (N, P, K) en suelos degradados por el *Zingiber officinale* en la aplicación de compost de biorresiduos avícolas.
3. Analizar el efecto de la aplicación de compost de biorresiduos avícolas en la recuperación de suelos a través del carbono orgánico encontrado en el suelo degradado por *Zingiber officinale*.

1.4. Definición y operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable	Dimensión	Indicadores	Unidad de Medida
Independiente:	Composición	- Proporción de pollo muerto	- %
Compost de biorresiduos avícolas		- Proporción de pollinaza.	- %
	Dosis	- Dosis aplicada	- kg/m ² .
Dependiente:			
- Fenología del <i>Zea mays</i> L.	Fases fenológicas	- Tallo	- g
		- Radicular	- g
		- Foliar	- g
		- Mazorca.	- g
- Macronutrientes	Macronutrientes	- Nitrógeno	- Kg/ha/año
		- Fosforo (P)	- mg/kg
		- Potasio (K)	- mg/kg
- Carbono orgánico	Carbono orgánico	Cantidad de Carbono orgánico	%

Nota. Elaboración propia.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis General

La aplicación del compost de residuos avícolas favorece la recuperación de suelos degradados por *Zingiber officinale*, promoviendo mejoras en la disponibilidad de macronutrientes y en el desarrollo fenológico del *Zea mays L.*

1.5.2. Hipótesis Específicas

- La incorporación de compost de residuos avícolas generara incrementos en la masa seca radical, foliar, del tallo y del fruto (mazorca) en comparación con suelos no tratados.
- La adición de compost de biorresiduos avícolas recuperara significativamente la concentración de macronutrientes esenciales (Nitrógeno, Fósforo y Potasio) en suelos degradados por el cultivo de *Zingiber officinale*, siendo la magnitud del incremento dependiente de la dosis de compost aplicada.
- La aplicación de compost avícola favorecerá el incremento del carbono orgánico en suelos afectados por el monocultivo de *Zingiber officinale*.

1.6. Justificación del Problema

1.6.1. Justificación Teórica

El uso de compost obtenido a partir de residuos avícolas para mejorar suelos degradados responde a la necesidad de encontrar alternativas que permitan aprovechar los desechos orgánicos y, al mismo tiempo, recuperar áreas agrícolas afectadas por el manejo intensivo. En ese sentido, el compost puede contribuir a mejorar algunas características del suelo, principalmente aquellas relacionadas con la estabilidad de su estructura y la actividad biológica del suelo.

Los resultados de esta investigación también permiten generar información sobre el comportamiento de los residuos avícolas una vez incorporados al suelo, especialmente en áreas con antecedentes de degradación. Además, el estudio puede servir como base para futuras evaluaciones relacionadas con el empleo de materiales orgánicos en distintos tipos de suelo y condiciones agrícolas (Aguila et al., 2023)

1.6.2. Justificación Práctica

El aprovechamiento de residuos avícolas mediante la producción de compost representa una alternativa que puede ser aplicada por agricultores que enfrentan problemas de desgaste del suelo ocasionados por el cultivo continuo de *Zingiber officinale*. Su uso permite reutilizar desechos orgánicos generados por la actividad avícola y destinarlos al mejoramiento de áreas agrícolas degradadas, contribuyendo a disminuir parcialmente la dependencia de fertilizantes químicos. Además, los resultados obtenidos pueden servir como referencia para productores interesados en incorporar prácticas de manejo más sostenibles y accesibles en sistemas de producción agrícola intensiva (Heisey, 2022).

1.6.3. Justificación Social

Aprovechar los residuos generados por la actividad avícola para mejorar suelos con problemas de desgaste puede representar una alternativa útil para las comunidades agrícolas. Esta práctica permite dar un mejor destino a los desechos orgánicos producidos en las granjas y, al mismo tiempo, recuperar terrenos que han perdido productividad por el uso continuo. Además, puede ayudar a que los productores incorporen formas de manejo más responsables con el suelo y los recursos naturales, promoviendo actividades agrícolas con menor impacto ambiental y mayor aprovechamiento de recursos disponibles en la propia zona (Liu, et al., 2022).

1.6.4. Justificación Económica

El aprovechamiento de residuos avícolas para producir compost puede representar una opción más accesible para productores de jengibre que enfrentan altos costos por el uso de fertilizantes químicos como urea, fosfato diamónico y cloruro de potasio. A diferencia de estos insumos, cuyos precios dependen del mercado externo, el compost puede elaborarse en zonas productoras como Chanchamayo utilizando materiales disponibles localmente, reduciendo gastos de adquisición y transporte. Su incorporación al suelo también permite reutilizar desechos de la actividad avícola y disminuir parcialmente el empleo de fertilizantes sintéticos, ayudando a reducir costos de manejo y mejorar el aprovechamiento de nutrientes. En ese sentido, Liu et al. (2022) mencionan que el uso de compost puede contribuir a una producción más eficiente y a mejores ingresos en sistemas agrícolas intensivos

1.6.5. Justificación Ambiental

El aprovechamiento de residuos avícolas para la elaboración de compost contribuye a disminuir la acumulación de desechos orgánicos y favorece la recuperación de suelos con problemas de desgaste ocasionados por el manejo agrícola intensivo. Además, su incorporación al suelo mejora condiciones relacionadas con la materia orgánica, la conservación de humedad y la actividad biológica del terreno, reduciendo parcialmente la dependencia de fertilizantes sintéticos. De igual manera, reutilizar estos residuos disminuye parte de los impactos ambientales asociados a su disposición inadecuada y promueve prácticas agrícolas con menor afectación sobre el ambiente (Aguila et al., 2023; IPCC, 2022).

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacionales

Sayed, et al. (2024) Sayed et al. (2024) evaluaron la aplicación de biocarbón elaborado con residuos avícolas, utilizado de manera individual y combinado con microorganismos en suelos franco arenosos. Los autores reportaron incrementos en la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio, además de una respuesta favorable en el desarrollo del cultivo frente al tratamiento sin incorporación de enmiendas. Los resultados obtenidos muestran que los residuos avícolas procesados contribuyen al mejoramiento de las condiciones del suelo y al aporte de nutrientes en áreas con problemas de desgaste, por lo que este estudio sirve como referencia para investigaciones relacionadas con el uso de materiales orgánicos en la recuperación de suelos degradados.

Gupta et al. (2023) evaluaron el uso de plumas de pollo como una alternativa al empleo de fertilizantes sintéticos. Los autores mencionan que este residuo contiene queratina y nutrientes; sin embargo, su descomposición natural es lenta, dificultando su incorporación directa al suelo. Por ese motivo, trabajaron con hidrolizados obtenidos mediante procesos microbianos y enzimáticos, observando que estos materiales aportaban proteínas solubles que favorecían la actividad biológica del suelo. Además, reportaron mejoras en la conservación de humedad, en la disponibilidad de minerales y en la relación carbono/nitrógeno. A partir de ello, señalan que el aprovechamiento de residuos avícolas puede ayudar a mejorar las condiciones del suelo y reducir parcialmente el uso de fertilizantes sintéticos.

Rizzo et al. (2022) analizaron diferentes formas de tratar el estiércol avícola, comparando el material sin procesar con compost y digestato. Los autores observaron que los residuos tratados presentaban menos microorganismos patógenos y menor riesgo de efectos tóxicos en las plantas, por lo que resultaban más adecuados para su uso en el suelo. El compost fue el material que presentó mejores condiciones de estabilidad y descomposición. Con base en ello, los autores señalan que el tratamiento

previo de los residuos orgánicos ayuda a reducir efectos negativos y facilita su utilización en actividades agrícolas.

Bashir et al. (2021) evaluaron el uso de compost de origen animal y vegetal en suelos contaminados con cadmio, analizando su efecto sobre la disponibilidad de este metal y el crecimiento del cultivo de maíz. Los resultados evidenciaron que el uso de compost reduce la movilidad del cadmio en el suelo y su retención en los tejidos de la planta. Además, se observaron mejoras en parámetros como biomasa y contenido de clorofila. Esto sugiere que las enmiendas orgánicas no solo contribuyen a optimizar las propiedades del suelo, además a favorecer el desarrollo del cultivo en condiciones adversas.

Lin et al. (2022) evaluaron el compostaje y el enterramiento profundo para la degradación de pollos muertos, comparando diferentes materiales y condiciones ambientales. Encontraron que el compostaje logra una descomposición más eficiente, asociada a mayor actividad microbiana, mientras que las bajas temperaturas reducen este proceso. Estos resultados respaldan el compostaje como una opción orientada al aprovechamiento y manejo de subproductos avícolas.

Neza et al. (2024) analizaron residuos avícolas tratados térmicamente y su efecto sobre el crecimiento de plantas, utilizando *Lepidium sativum* (berro) como especie de prueba. Los resultados indicaron que los tratamientos incrementan la disponibilidad de nutrientes; sin embargo, el efecto depende de la dosis, ya que niveles moderados favorecen el desarrollo radicular, mientras que concentraciones altas pueden ser desfavorables. Esto evidencia la importancia de la dosificación en el uso de enmiendas orgánicas.

Vásconez Montúfar et al. (2021) analizaron la producción y distribución de masa seca en el cultivo de *Zea mays* L. en la costa ecuatoriana, evaluando su acumulación en distintos órganos y su relación con la disponibilidad de nutrientes. Los resultados mostraron que la masa seca no se distribuye de manera uniforme en la planta, concentrándose principalmente en tallo, hojas y, en mayor proporción, en la mazorca, lo que confirma su importancia en el rendimiento. En este sentido, algunos híbridos alcanzaron valores cercanos a 722 y 709 g MS/m² en mazorca, evidenciando una mayor acumulación en este órgano. Asimismo, se observó que el máximo de masa seca total se

alcanza alrededor de los 60 días después de la siembra, condicionado por la presencia de nutrientes en el suelo.

Es importante considerar que estos valores están expresados por unidad de superficie (g MS/m^2), por lo que no es posible compararlos directamente con mediciones de masa seca por planta, como las empleadas en la presente investigación. Sin embargo, los resultados permiten entender la dinámica de distribución de la masa seca en el cultivo y su relación con la fertilidad del suelo.

2.1.2. Nacionales

Vallejos et al. (2023) evaluaron el uso de compost elaborado con subproductos avícolas y vegetales junto con hongos micorrízicos arbusculares en *Oryza sativa* L. Los hallazgos obtenidos señalaron efectos favorables en el crecimiento del cultivo, observándose un mayor desarrollo de raíces, incremento en la altura vegetal y aumento en la concentración de clorofila. De igual manera, se registraron cambios positivos en las condiciones del suelo, principalmente en la CIC y en el contenido de materia orgánica. Aunque se detectó presencia de cadmio, la utilización conjunta de compost y microorganismos ayudó a disminuir sus efectos negativos y a mejorar el aprovechamiento de nutrientes. En términos generales, los resultados resaltan la importancia de las enmiendas orgánicas de origen avícola para fortalecer la fertilidad de suelos agrícolas.

León et al. (2023) estudiaron el efecto del compost de origen bovino y avícola en la nutrición del cultivo de alfalfa, con especial énfasis en calcio y fósforo. Aunque el compost avícola presentó mayores concentraciones iniciales de nitrógeno y fósforo, la respuesta del cultivo evidenció que la disponibilidad de nutrientes también está condicionada por la interacción con el tipo de suelo. En este sentido, el compost bovino promovió una mayor acumulación de calcio en la planta. Estos resultados demuestran que la eficiencia de una enmienda orgánica no está determinada únicamente por su composición, sino también por su relación con las condiciones edáficas y las demandas del cultivo.

Calvo y Sencia (2022) estudiaron el empleo de bocashi como alternativa orientada a la rehabilitación de suelo deteriorados por el uso excesivo de fertilizantes inorgánicos. Los hallazgos mostraron efectos favorables en las características del suelo,

destacando aumentos en el pH, en la materia orgánica y en la CIC, condiciones que contribuyen a incrementar la retención y el aprovechamiento de nutrientes. En síntesis, la investigación resalta el valor de los abonos orgánicos en el restablecimiento de la calidad del suelo y en la reducción del uso de productos químicos.

Chirinos et al. (2020) analizaron el empleo de compost de estiércol avícola en la producción forrajera de *ryegrass*, considerando distintos niveles de aplicación. La mayor respuesta del cultivo se registró en la dosis más alta (20 t/ha), observándose aumentos en la producción de forraje, biomasa seca y concentración de proteína. Lo cual se evidencia que el compost de origen avícola favorece tanto el rendimiento como la calidad del cultivo. En ese contexto, la respuesta positiva observada en dosis elevadas representa una referencia importante para establecer niveles de aplicación en investigaciones relacionadas con enmiendas orgánicas.

Muñoz Hermitaño et al., (2023) investigaron el uso de vermicompost en suelos deteriorados por la aplicación continua de fertilizantes sintéticos en cultivos de jengibre, bajo condiciones de la selva central (Pichanaqui, Chanchamayo). Los hallazgos señalaron que el tratamiento con mayor proporción de humus (30 %) presentó la respuesta agronómica más favorable, evidenciada en un mayor crecimiento vegetal, alturas cercanas a 45 cm, incremento en el diámetro del tallo y mayor cantidad de hojas respecto al tratamiento sin enmienda, el cual presentó un desarrollo reducido. Estos resultados sugieren que, en condiciones edafoclimáticas semejantes a las del presente estudio, el uso de enmiendas orgánicas contribuye a regeneración de la materia orgánica del suelo y favorece el crecimiento de las plantas. En ese marco, la respuesta favorable observada en dosis altas de enmienda constituye un antecedente relevante para el empleo de compost de origen avícola en suelos afectados previamente por el cultivo de jengibre, en concordancia con lo planteado en la presente investigación.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. El Jengibre (*Zingiber officinale*)

El jengibre es una planta perenne de la familia *Zingiberaceae*, originaria del sudeste asiático y cultivada principalmente por su rizoma carnoso y aromático (Mendoza Santos & Vilcayauri Remon, 2025)..

Clasificación taxonómica: *Zingiber officinale* Roscoe pertenece al reino Plantae, división Magnoliophyta (angiospermas), clase Liliopsida (monocotiledóneas), orden Zingiberales, familia Zingiberaceae y género Zingiber. Es una especie herbácea perenne ampliamente cultivada en regiones tropicales y subtropicales por el valor alimenticio, medicinal e industrial de sus rizomas (Machuca Sánchez, 2019).

2.2.2. Suelos degradados por monocultivos

Son consecuencia de prácticas agrícolas intensivas que agotan nutrientes, reducen la materia orgánica y afectan la retención de agua, aumentando la erosión y la contaminación por agroquímicos (Ramírez, 2022). Esta degradación compromete la productividad y sostenibilidad agrícola, afectando directamente su estructura, capacidad de retención de agua y fertilidad, por lo que se recomienda adoptar prácticas sostenibles como la rotación de cultivos, el compostaje y la preservación de la biodiversidad del suelo (Chirinos, Castro, & Lara, 2020).

El monocultivo de jengibre, una práctica agrícola común en diversas regiones, se caracteriza por el cultivo intensivo y repetido de una única especie vegetal, esta práctica puede generar la degradación del suelo debido a la pérdida de materia orgánica, compactación del suelo, disminución de biodiversidad microbiana, y desequilibrios en los niveles de nutrientes esenciales como nitrógeno (N), fósforo (P) y Potasio (K) (Chirinos, Castro, & Lara, 2020).

La degradación del suelo no solo afecta sus propiedades fisicoquímicas, sino que también reduce directamente la capacidad productiva de los cultivos, evidenciándose en una menor acumulación de biomasa y rendimiento. La disminución de elementos nutritivos y materia orgánica limita el crecimiento radicular y la absorción de agua, afectando procesos fisiológicos clave en cultivos como el maíz, donde la producción de órganos como tallo, hojas y mazorca depende directamente de la fertilidad del suelo.

2.2.3. Compost de residuos Avícolas

El compost avícola se obtiene mediante el proceso controlado de desecho orgánicos generados en la producción de aves, principalmente estiércol, a través de procesos biológicos de estabilización. Este material se caracteriza por su alto contenido de materia orgánica y nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, lo que lo convierte en una enmienda eficaz para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, especialmente en condiciones de degradación (Calvo & Sencia, 2022).

Entre los principales beneficios del compost destacan el aporte de macronutrientes, favoreciendo los procesos de disponibilidad y transformación de nutrientes.

Tabla 2

Parámetros de calidad del compost de origen avícola

Parámetro	Rango óptimo
Temperatura (°C)	50–60
Potencial de hidrogeno (pH)	6.0-8.5
Conductividad (dS/m)	≤ 4
Contenido de Materia Orgánica (%)	≥30
Humedad (%)	40-60
Nitrógeno total (%)	2.0 - 3.55
Relación C/N	< 20
Fosforo (mg/kg)	200 a 5000
Índice de germinación (%)	65 - 78
Calidad microbiológica	
<i>Salmonella</i>	<25 g
<i>Escherichia coli</i>	< 1000 NMP/g.

Nota. Adaptado de Delgado et al. (2020)

Los parámetros presentados reflejan que la calidad del compost depende de su adecuado equilibrio físico, químico y microbiológico. Estas condiciones favorecen la accesibilidad de nutrientes y contribuyen a la recuperación de suelos degradados, mejorando el desarrollo de los cultivos.

2.2.4. Recuperación de Suelos

Es esencial para garantizar la sostenibilidad de los ecosistemas agrícolas y naturales, ya que factores como el tipo de erosión, los fenómenos atmosféricos y las particularidades del terreno determinan la elección de técnicas biológicas, químicas y físicas más adecuadas para cada escenario (Gupta et al., 2023). Este proceso no solo favorece la productividad agrícola, sino que también contribuye a reducir el impacto ambiental ocasionado por las actividades humanas (Rizo et al., 2022).

En este contexto, los suelos naturales en buen estado de conservación presentan condiciones que permiten diferenciarse claramente de aquellos que han sufrido procesos de degradación (FAO, 2021). Un suelo sano suele contener más del 5% de materia orgánica, un pH equilibrado entre 6 y 7, y una estructura que facilita la infiltración de agua y el desarrollo radicular, manteniendo una alta diversidad microbiana (Lal et al., 2021). Los suelos con problemas de desgaste pueden presentar una importante reducción en la conservación de humedad, llegando incluso a perder cerca de la mitad de su capacidad para retener agua. Además, estas condiciones afectan la presencia de organismos del suelo, situación que termina perjudicando el desarrollo de los cultivos y el funcionamiento natural del ecosistema (Bhunia et al., 2021).

Entre las prácticas más empleadas destacan la fitorremediación, la aplicación de enmiendas orgánicas, el uso de microorganismos benéficos y la bioingeniería, las cuales han demostrado efectos positivos en la recuperación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Rizo et al., 2022; FAO, 2021).

En particular, la incorporación de enmiendas orgánicas como el compost desempeña un papel clave en la restauración de la fertilidad edáfica, al incrementar la disponibilidad de nutrientes, mejorar la estructura del suelo y potenciar su capacidad de retención de agua (FAO, 2021). En consecuencia, estos efectos favorecen el desarrollo radicular, el crecimiento del cultivo y la acumulación de biomasa, indicadores asociados a procesos de recuperación de suelos degradados (Lal et al., 2021).

2.2.5. *Zea mays* (Maíz)

El maíz cumple un papel fundamental en la alimentación de las personas como en la actividad pecuaria. Originario del continente americano, presenta una amplia

capacidad de adaptación a diferentes condiciones climáticas y tipos de suelo (Zamora, 2020). Su desarrollo óptimo se presenta en ambientes de clima cálido, con temperaturas entre 18 y 30 °C, en suelos con buen drenaje, adecuados niveles apropiados de materia orgánica y un pH comprendido entre 5.5 y 7.0.

De acuerdo con la duración de su desarrollo fenológico, el maíz puede agruparse en materiales de madurez temprana, intermedia y tardía, característica que condiciona su desempeño agronómico y su capacidad de adaptación a diferentes sistemas de cultivo. La productividad del maíz depende en gran medida de un manejo técnico adecuado, el cual contempla estrategias eficientes de riego, manejo fitosanitario y nutrición equilibrada del cultivo (Benítez, 2022). Asimismo, el maíz se clasifica según la estructura y composición del grano en tipos como duro (flint), dentado, harinoso, dulce y reventón. En el Perú, el maíz amarillo duro destaca como el más utilizado, principalmente en la industria avícola debido a su elevado valor energético. Sus características agroecológicas lo convierten en un material adecuado para evaluar la respuesta productiva del cultivo frente a variaciones en la fertilidad del suelo, como las generadas por la aplicación de enmiendas orgánicas.

Según Benítez (2022), *Zea mays* L. pertenece al reino **Plantae**, división **Magnoliophyta**, clase **Liliopsida**, orden **Poales**, familia **Poaceae**, subfamilia **Panicoideae**, tribu **Andropogoneae**, género **Zea** y especie ***Zea mays* L.**

2.2.6. Fenología del cultivo de *Zea mays* L.

El desarrollo fenológico del maíz se divide en dos fases principales: la fase vegetativa (V), que comprende desde la emergencia (VE) hasta la emisión de la panoja (VT), y la fase reproductiva (R), que inicia con la floración (R1) y culmina en la madurez fisiológica (R6).

La duración de la fase vegetativa depende principalmente de la acumulación de unidades térmicas o grados-día de crecimiento (GDD), más que del tiempo calendario, lo que explica su variabilidad según las condiciones ambientales. En general, el cultivo avanza en sus etapas conforme acumula temperatura, lo que influye directamente en la emisión de hojas y el desarrollo estructural de la planta (Abendroth et al., 2011).

Por su parte, la fase reproductiva incluye etapas de desarrollo del grano, desde la formación inicial hasta su maduración. Este periodo puede durar entre

60 y 70 días, dependiendo del genotipo y de factores como temperatura, disponibilidad hídrica y fertilidad del suelo (Fancelli & Dourado Neto, 2000).

2.2.7. Manejo de siembra

De acuerdo con Zamora (2020), el establecimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) requiere una planificación técnica que permita un adecuado desarrollo fisiológico y un rendimiento óptimo, considerando las condiciones agroecológicas del entorno. Este manejo comprende una serie de prácticas agronómicas interrelacionadas:

- **Acondicionamiento del área:** El cultivo requiere suelos con adecuado drenaje, buena conformación estructural y valores de pH entre 5.5 y 7.0. Las labores de acondicionamiento comienzan con una labranza profunda cercana a 25 cm para disminuir la compactación del suelo, seguida de trabajos de rastra orientados a nivelar la superficie y favorecer la circulación de aire, promoviendo el desarrollo de las raíces.
- **Selección de semilla:** El material genético debe escogerse según las características agroecológicas de la zona, entre ellas altitud, temperatura, disponibilidad de agua y finalidad productiva. por ende, lo ideal es comprar semilla certificada.
- **Siembra:** Generalmente, se utilizan distancias de 0.70 a 0.90 m entre surcos y de 0.20 a 0.30 m entre plantas, con una profundidad aproximada de 3 a 5 cm. La densidad de siembra puede variar según las condiciones de manejo y disponibilidad de agua.
- **Fertilización:** La aplicación de nutrientes suele realizarse de acuerdo con las características del suelo. Como referencia, pueden emplearse dosis de 120-60-40 kg/ha de N, P₂O₅ y K₂O, distribuidas entre la siembra y labores posteriores del cultivo.
- **Riego:** El maíz necesita buena disponibilidad de agua durante etapas como la germinación, floración y formación del grano. La cantidad requerida depende principalmente del clima y del tipo de riego utilizado.
- **Control de malezas:** El control temprano de malezas ayuda a evitar la competencia por agua y nutrientes. Para ello, pueden utilizarse labores manuales, mecánicas o productos químicos según las condiciones del cultivo.

- **Manejo de plagas y enfermedades:** Las principales plagas del cultivo son el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y el barrenador del tallo (*Diatraea* spp.). Para su manejo, se recomienda aplicar estrategias de Manejo Integrado de Plagas (MIP), dando prioridad al monitoreo permanente y al uso de métodos de control biológico (INIA, 2019).
- **Cosecha:** La recolección del grano generalmente se lleva a cabo entre los 90 y 120 días posteriores a la siembra, momento en el que el cultivo alcanza la madurez fisiológica y niveles de humedad entre 13 y 15 %.

2.2.8. Propiedades físicas y químicas del suelo

Las características físicas del suelo, como textura, conformación, densidad aparente y porosidad, cumplen una función importante en el crecimiento vegetal, debido a que regulan la disponibilidad de agua, oxígeno y elementos nutritivos en la interacción suelo-planta. La textura, definida por la cantidad de arena, limo y arcilla, influye en la capacidad de retención de agua y en el contenido de nutrientes, mientras que una estructura adecuada favorece la circulación de aire, la infiltración hídrica y el desarrollo radicular. En ese contexto, la materia orgánica contribuye a la formación de agregados estables, incrementando la porosidad y disminuyendo la compactación del suelo, aspectos esenciales para su equilibrio físico y productivo (Marca Cano, 2025)

Por su parte, las propiedades químicas, como el pH, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la concentración de nutrientes, determinan la fertilidad del suelo y su capacidad productiva. El pH condiciona la disponibilidad nutricional, mientras que la CIC participa en la retención y liberación de cationes indispensables para el desarrollo de las plantas. Según Jaramillo (2002), la interacción entre las propiedades físicas, químicas y biológicas define el comportamiento del suelo como un sistema dinámico, por lo que su evaluación y manejo adecuado mediante análisis de laboratorio permiten optimizar prácticas agrícolas como la fertilización y el uso de enmiendas orgánicas, favoreciendo la sostenibilidad del sistema productivo.

2.2.9. Análisis de nutrientes (Nitrógeno, Fósforo, Potasio)

El análisis de nutrientes en el suelo es fundamental para conocer su nivel de fertilidad y tomar decisiones adecuadas en el manejo agronómico. Entre los elementos más importantes se encuentran el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K), ya que

intervienen directamente en procesos clave del desarrollo de las plantas, como la formación de tejidos, la producción de energía y la regulación del agua dentro de la planta (Owale et al., 2020; Calvo & Sencia, 2022).

Cada uno de estos nutrientes participa de manera diferente en el desarrollo de la planta. El nitrógeno se relaciona principalmente con el crecimiento de hojas y tallos, además de intervenir en la formación de clorofila, influyendo en el color y vigor del cultivo. El fósforo cumple una función importante en el crecimiento radicular y en procesos relacionados con la energía, especialmente durante las primeras etapas de desarrollo. Por otro lado, el potasio participa en la regulación del agua dentro de la planta y ayuda a mejorar la respuesta frente a condiciones de estrés hídrico.

Además, el carbono se relaciona con el contenido de materia orgánica del suelo, aspecto importante para mantener sus condiciones productivas y estabilidad a largo plazo (Cabrera & Merejildo, 2023).

2.2.10. Impacto de dosis de compost

La incorporación de compost al suelo genera cambios relacionados con sus condiciones físicas, químicas y biológicas (FAO, 2021). Entre los principales efectos se encuentran el aumento de materia orgánica, mejoras en la estructura del terreno y una mayor capacidad para conservar agua y nutrientes (Llaulli, 2021).

La respuesta del sistema suelo–planta frente al compost está condicionada por la dosis aplicada, la cual debe ajustarse en función de las características del suelo y los requerimientos del cultivo para optimizar su eficiencia (Aguila, et al., 2023).

Diferentes dosis de compost pueden tener impactos variados en la productividad agrícola y la calidad del suelo; mientras que dosis bajas pueden no aportar suficientes nutrientes, dosis excesivas pueden provocar desequilibrios nutricionales y aumentar la salinidad del suelo (Ramírez, 2022). Por ello, es esencial realizar estudios específicos para determinar las dosis óptimas en cada contexto agrícola, además, el uso de compost contribuye al secuestro de carbono y a la reducción de residuos orgánicos, integrándose en estrategias de manejo sostenible para combatir el cambio climático (Calvo & Sencia, 2022). En este sentido, la aplicación de diferentes dosis de compost permite evaluar su efecto en la recuperación del suelo y en la respuesta del cultivo, siendo la acumulación de masa un indicador clave para determinar la eficiencia de las dosis aplicadas.

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. **Ámbito de estudio**

La investigación se realizó en áreas previamente destinadas al cultivo de *Zingiber officinale*, en el fundo “Santa Venita” ubicada en el centro poblado La Libertad de Toterani, distrito de Perené, provincia de Chanchamayo, región Junín. La selección del área respondió a la presencia de procesos de degradación asociados al monocultivo, entre ellos la disminución de la fertilidad, alteraciones en la estructura del suelo y reducción de la biodiversidad edáfica.

En las parcelas experimentales se aplicaron distintas dosis de compost elaborado con residuos avícolas con el propósito de observar su respuesta en la recuperación del suelo. Para la evaluación se utilizó *Zea mays L.* como cultivo indicador, ya que permite observar cambios relacionados con las condiciones del suelo según el nivel de aplicación empleado.

De manera complementaria, se efectuaron análisis de suelo y compost en un laboratorio local para conocer los niveles de nitrógeno, fósforo y potasio. El seguimiento de las parcelas se realizó durante un ciclo agrícola completo, registrándose la información obtenida a lo largo del desarrollo del cultivo.

Figura 1

Área de estudio



El área de estudio se localiza en el centro poblado La Libertad de Toterani, distrito de Perené, provincia de Chanchamayo, región Junín.

Nota. Imagen elaborada mediante información geoespacial obtenida de Google Earth.

3.2. Tipo, nivel y diseño de investigación

El presente estudio fue de tipo aplicado, ya que se orientó a la solución de un problema concreto, como es la degradación de suelos generada por el monocultivo de jengibre, mediante el uso de compost de residuos avícolas como alternativa para mejorar su calidad (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014)

Asimismo, la investigación tuvo un nivel explicativo, debido a que se analizó la relación de causa y efecto entre la aplicación de compost (variable independiente) y las propiedades del suelo, así como el desarrollo del cultivo de maíz (variables dependientes), permitiendo comprender los procesos involucrados en la recuperación del suelo degradado.

El diseño de investigación fue experimental, empleándose un diseño completamente al azar (DCA), con cuatro tratamientos (T0, T1, T2 y T3) y cuatro repeticiones por tratamiento. En este diseño se manipuló la variable independiente, correspondiente a las dosis de compost de residuos avícolas, con el fin de evaluar su

efecto sobre la fertilidad del suelo y la masa del cultivo de maíz (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014)

3.3. Población y muestra

El experimento se desarrolló en una superficie de 320 m² de suelo agrícola con antecedentes de degradación asociados al monocultivo de *Zingiber officinale*. En dicha área se estableció el cultivo maíz amarillo duro, seleccionado por su importancia productiva y su sensibilidad a las condiciones de fertilidad del suelo.

El área fue dividida en 16 unidades experimentales de 20 m² cada una, distribuidas bajo un esquema aleatorizado con el fin de minimizar la variabilidad espacial. En cada parcela se establecieron 55 plantas, alcanzando un total de 880 individuos.

En este trabajo, se consideraron cuatro plantas por parcela mediante muestreo aleatorio, tomando en cuenta los surcos centrales para disminuir el efecto de borde. Durante la etapa de cosecha se analizaron 64 plantas, en las cuales se determinaron variables de masa seca correspondientes a tallo, hojas, raíz y mazorca.

Tabla 3

Diseño experimental

Tratamiento	Dosis aplicada	Nº parcelas	Área (m ²)
T0	0 kg/m ²	4	20
T1	1 kg/m ²	4	20
T2	2 kg/m ²	4	20
T3	3 kg/m ²	4	20
Total		16	320

Nota. Elaboración propia.

Criterios de Inclusión: Se utilizaron suelos provenientes de áreas donde el jengibre había sido cultivado de manera continua por más de tres años. También se trabajó con semillas de maíz certificadas y en buenas condiciones para la siembra.

Criterios de Exclusión: no se utilizaron fertilizantes químicos. Además, se retiraron las plantas que presentaron alteraciones morfológicas o crecimiento irregular.

3.4. Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Procedimientos

Preparación de las parcelas:

Se trabajó en un área de 320 m² de suelo que presentaba deficientes elementos nutricionales. El terreno fue dividido en 16 parcelas de 20 m² (5 m × 4 m). Antes de iniciar el ensayo, se realizó la limpieza y nivelación del área para facilitar el manejo de las parcelas y mantener condiciones similares durante la evaluación.

Aplicación de los tratamientos:

El tratamiento T0 correspondió al grupo sin aplicación, mientras que T1, T2 y T3 recibieron dosis de 1, 2 y 3 kg/m². El compost se mezcló con el suelo removido hasta una profundidad de 15 cm, favoreciendo su interacción con el sistema radicular del maíz.

Siembra del maíz:

Para el ensayo se utilizó maíz amarillo duro y la siembra se realizó de forma directa, tomando como referencia las recomendaciones de Zamora (2020). En cada parcela se abrieron hoyos de aproximadamente 5 cm de profundidad, manteniendo una distancia de 0.50 m entre plantas y 0.75 m entre líneas de siembra. En cada hoyo se colocaron dos semillas y, a los 32 días, se realizó el aclareo dejando la planta con mejor desarrollo.

Cosecha y evaluación de masa seca:

La evaluación se realizó durante la etapa de madurez fisiológica del cultivo, determinándose la masa seca (g) correspondiente a raíz, tallo, hojas y mazorca.

3.4.2. Técnicas

Toma de muestras:

Se empleó el método de muestreo en zig-zag dentro de cada parcela experimental, recolectándose submuestras de manera aleatoria con el fin de garantizar la representatividad del área de estudio, de acuerdo con metodologías estandarizadas de muestreo de suelos (FAO, 2020)

La profundidad de muestreo fue de 0–15 cm, correspondiente al horizonte superficial del suelo (horizonte A), donde se concentra la materia orgánica, la mayor

actividad biológica y la disponibilidad de nutrientes. Asimismo, esta capa coincide con la zona de incorporación del compost y con la mayor densidad de raíces del cultivo de maíz, lo que permite evaluar de manera directa el efecto de los tratamientos (MINAM, 2014).

Las submuestras fueron homogenizadas para obtener una muestra compuesta de aproximadamente 1 kg por parcela de 20 m². Luego, las muestras fueron remitidas al laboratorio para su evaluación.

Análisis de suelo:

Se determinaron nitrógeno, fósforo, potasio y carbono orgánico en muestras de suelo. Los resultados fueron expresados en g/kg de suelo seco y porcentaje (%) para carbono orgánico. La determinación de carbono orgánico se realizó mediante el método Walkley-Black.

Los análisis de suelo fueron realizados en el laboratorio Kipatsi E.I.R.L. (Satipo), mientras que la evaluación del compost fue efectuada por Servicios Analíticos Generales S.A.C.

Determinación de masa seca:

La evaluación de masa se realizó considerando raíz, tallo, hojas y mazorca. La cosecha se efectuó durante la etapa de madurez fisiológica, seleccionando plantas aleatoriamente en cada parcela y evitando las zonas de borde para reducir sesgos.

Las plantas fueron extraídas manualmente procurando recuperar el sistema radicular completo. Posteriormente, cada individuo fue separado en sus componentes y limpiado para retirar restos de suelo y residuos externos. Las muestras fueron acondicionadas en bolsas plásticas tipo Ziploc debidamente rotuladas.

Luego, las muestras fueron sometidas a secado en una estufa a 70 °C hasta obtener peso constante, determinándose posteriormente la masa seca de cada componente para evaluar la respuesta del cultivo frente a los tratamientos aplicados (Sánchez et al., 2024; Montúfar et al., 2021).

3.4.3. Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos empleados en el presente estudio fueron utilizados de manera secuencial durante las etapas de muestreo de suelo, establecimiento del cultivo, aplicación de tratamientos y evaluación de la masa del maíz.

Paso 01. Toma de muestra.

Se utilizaron barrenos para la extracción de submuestras a una profundidad de 0–15 cm mediante recorrido en zig-zag. Las muestras fueron acondicionadas en bolsas plásticas previamente etiquetadas con código de parcela y fecha.

Paso 02. Aplicación de tratamiento

Se empleó una báscula de plataforma para cuantificar las dosis de compost correspondientes a cada tratamiento.

Paso 03. Siembra y manejo de cultivo

Se utilizaron herramientas manuales como pala, azada y cuchillo para la preparación del terreno, establecimiento del cultivo y homogenización del compost.

Paso 04. Cosecha y evaluación de la biomasa

Para la evaluación de masa seca se utilizó cuchillo para la separación de los órganos de la planta, bolsas plásticas herméticas tipo Ziploc para el almacenamiento de muestras, estufa de secado con control de temperatura (70 °C/24 h) y balanza analítica para la medición del peso seco de cada componente.

Paso 04. Registro y procesamiento de datos

Se utilizaron fichas de registro y el software estadístico SPSS para el procesamiento y análisis de datos.

3.5. Análisis de datos

El tratamiento de la información comprendió las etapas de organización, procesamiento y análisis estadístico. Los datos obtenidos en campo y laboratorio fueron sistematizados en matrices considerando como factor principal las dosis de compost avícola y como variables de respuesta la masa seca de tallo, hojas, raíz y mazorca, además de los macronutrientes y carbono orgánico del suelo.

Luego del registro de datos, la información fue ordenada en hojas de cálculo de Microsoft Excel y procesada en el programa estadístico SPSS. Los resultados obtenidos se presentaron mediante cuadros y gráficos para facilitar la visualización de las diferencias entre tratamientos.

El aporte de macronutrientes del compost fue estimado en función de su composición química mediante la siguiente expresión:

$$\text{Aporte} \left(\frac{g}{m^2} \right) = \frac{\% \text{ nutriente}}{100} * \text{dosis aplicada} \left(\frac{kg}{m^2} \right) * 1000$$

Donde:

- **% nutriente:** nitrógeno (N), fósforo (P) o potasio (K) del compost (%).
- **dosis aplicada:** cantidad de compost aplicada por area (kg/m²).
- **1000:** factor de conversión de kilogramos a gramos.

El rendimiento estimado del cultivo fue calculado mediante la siguiente ecuación:

$$R \left(\frac{kg}{ha} \right) = B \left(\frac{g}{planta} \right) * D \left(\frac{plantas}{m^2} \right) * 10$$

Donde:

- R: rendimiento estimado (kg/ha);
- B: masa promedio por planta (g/planta);
- D: densidad de plantas (plantas/m²).

Para la estimación se consideró una densidad de 2.75 plantas/m², equivalente a 55 plantas distribuidas en un área de 20 m².

Para el procesamiento de los datos se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía con el fin de identificar diferencias entre los tratamientos evaluados. Cuando los

resultados mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), se aplicó la prueba de Tukey para comparar las medias. También se realizaron análisis de correlación para observar la relación entre las propiedades del suelo y la masa seca del cultivo de maíz.

3.6. Consideraciones éticas

La investigación se desarrolló manteniendo un manejo responsable de la información, el cuidado del ambiente y el uso adecuado de residuos orgánicos. El compost utilizado fue obtenido de fuentes locales que realizan un tratamiento previo de los residuos avícolas antes de su aplicación en campo. Durante su manipulación se tomaron medidas básicas para evitar riesgos sanitarios y posibles problemas de contaminación.

El cultivo de maíz fue manejado bajo condiciones agronómicas adecuadas, procurando mantener un desarrollo normal de las plantas durante el ensayo. Además, el trabajo estuvo orientado al aprovechamiento de materiales orgánicos como alternativa para contribuir a la recuperación de suelos con problemas de desgaste y reducir posibles efectos negativos sobre el entorno.

Los datos obtenidos durante la investigación fueron registrados y organizados de manera ordenada, evitando modificaciones que alteraran los resultados del estudio. Asimismo, los residuos generados durante el trabajo fueron manejados de acuerdo con las disposiciones relacionadas con residuos sólidos, promoviendo una disposición adecuada y reduciendo impactos sobre el ambiente.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.7. Presentación de resultados y discusiones

3.7.1. Resultados

Respuesta de *Zea mays* L. frente a diferentes dosis de compost avícola en suelo degradado por *Zingiber officinale*.

Tabla 4

Variación de la masa seca del tallo bajo diferentes dosis de compost

Tratamiento	Dosis	Masa del tallo (g)
T0	0 kg/m ²	28.97 ± 0.82
T1	1 kg/m ²	50.84 ± 2.19
T2	2 kg/m ²	79.64 ± 1.34
T3	3 kg/m ²	112.51 ± 4.91

Nota. Elaboración propia.

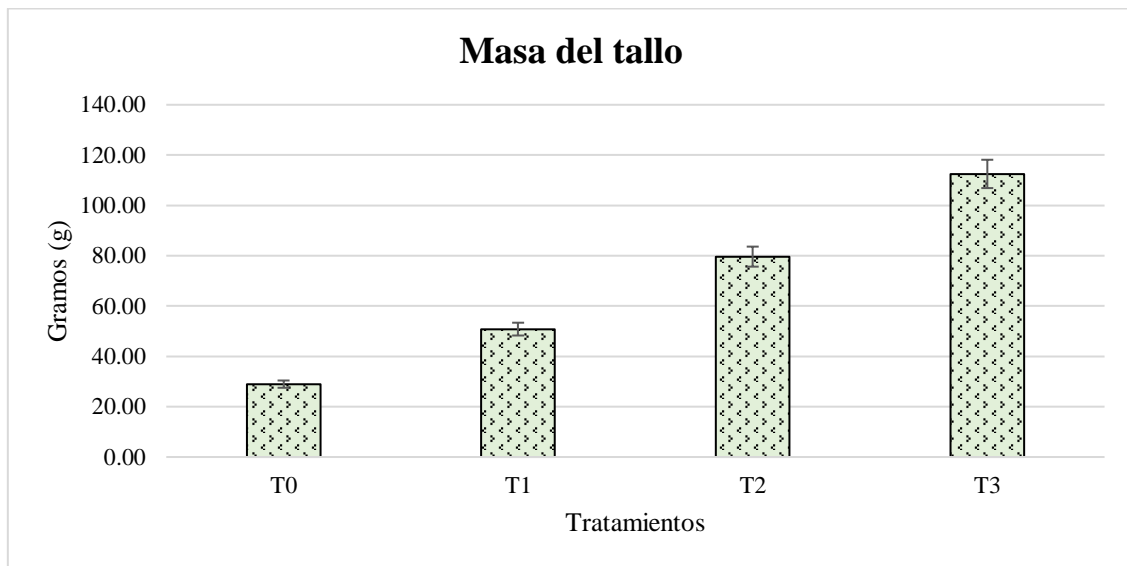
Los resultados muestran un incremento progresivo de la masa seca del tallo conforme aumentó la dosis de compost aplicada. El tratamiento T0, correspondiente a la condición sin aplicación de compost, registró el menor valor con 28.97 ± 0.82 g.

En T1, con una dosis de 1 kg/m², la masa seca alcanzó 50.84 ± 2.19 g, mientras que T2 presentó 79.64 ± 1.34 g con la aplicación de 2 kg/m². El valor más alto fue observado en T3, donde la dosis de 3 kg/m² alcanzó 112.51 ± 4.91 g.

Los resultados evidencian una tendencia ascendente entre las dosis de compost y la acumulación de masa seca del tallo, sugiriendo una respuesta favorable del cultivo frente a la incorporación de compost avícola en suelos degradados.

Figura 2

Comportamiento de la masa seca del tallo según dosis aplicadas



Nota. Elaboración propia.

Tabla 5*Variación de la masa seca radicular bajo diferentes dosis de compost*

Tratamiento	Dosis	Masa radicular (g)
T0	0 kg/m ²	3.52 ± 0.18
T1	1 kg/m ²	5.30 ± 0.66
T2	2 kg/m ²	6.75 ± 0.44
T3	3 kg/m ²	10.87 ± 1.23

Nota. Elaboración propia.

Los resultados muestran un incremento progresivo de la masa seca de la raíz conforme aumentó la dosis de compost aplicada. El tratamiento T0, correspondiente a la condición sin aplicación de compost, presentó el menor valor con 3.52 ± 0.18 g.

En T1, con una dosis de 1 kg/m², la masa seca de la raíz alcanzó 5.30 ± 0.66 g, mientras que T2 registró 6.75 ± 0.44 g con la aplicación de 2 kg/m². El mayor valor fue observado en T3, donde la dosis de 3 kg/m² alcanzó 10.87 ± 1.23 g.

La tendencia observada indica una respuesta positiva del sistema radicular frente a la incorporación de compost avícola, evidenciando un mayor desarrollo de raíces en los tratamientos con dosis más elevadas.

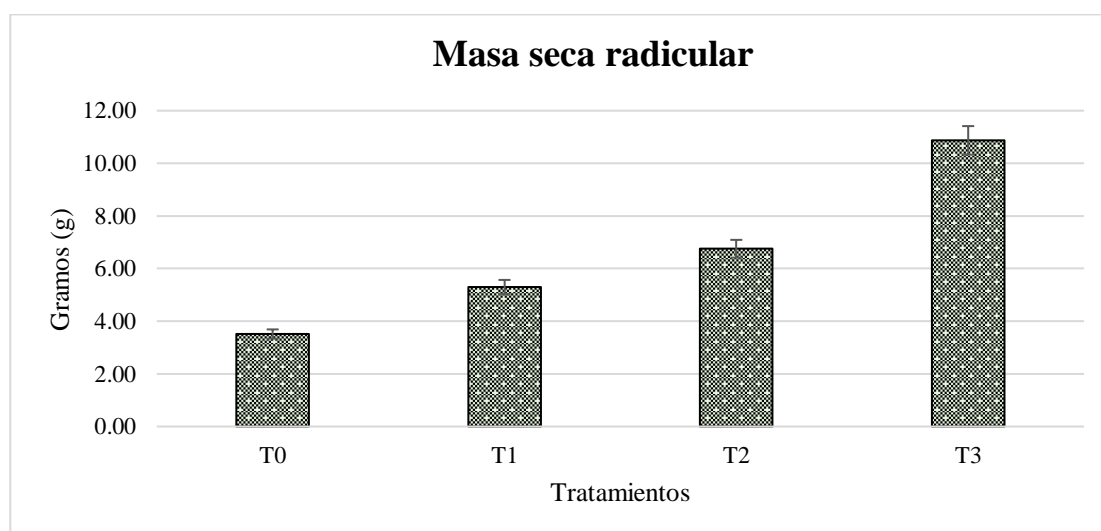
Figura 3*Comportamiento de la masa seca radicular en función de las dosis aplicadas**Nota.* Elaboración propia.

Tabla 6*Variación de la masa seca foliar bajo diferentes dosis de compost*

Tratamiento	Dosis	Masa de la hoja (g)
T0	0 kg/m ²	17.89 ± 0.87
T1	1 kg/m ²	28.10 ± 0.70
T2	2 kg/m ²	36.96 ± 0.68
T3	3 kg/m ²	43.41 ± 1.25

Nota. Elaboración propia.

Los resultados muestran un incremento progresivo de la masa seca foliar conforme aumentó la dosis de compost aplicada. El tratamiento T0, correspondiente a la condición sin incorporación de compost, presentó el menor valor con 17.89 ± 0.87 g.

En T1, con una dosis de 1 kg/m², la masa seca foliar alcanzó 28.10 ± 0.70 g, mientras que T2 registró 36.96 ± 0.68 g con la aplicación de 2 kg/m². El mayor valor fue observado en T3, donde la dosis de 3 kg/m² alcanzó 43.41 ± 1.25 g.

La tendencia observada evidencia una respuesta favorable del cultivo frente a la incorporación de compost avícola, reflejada en un mayor desarrollo foliar en los tratamientos con dosis más elevadas.

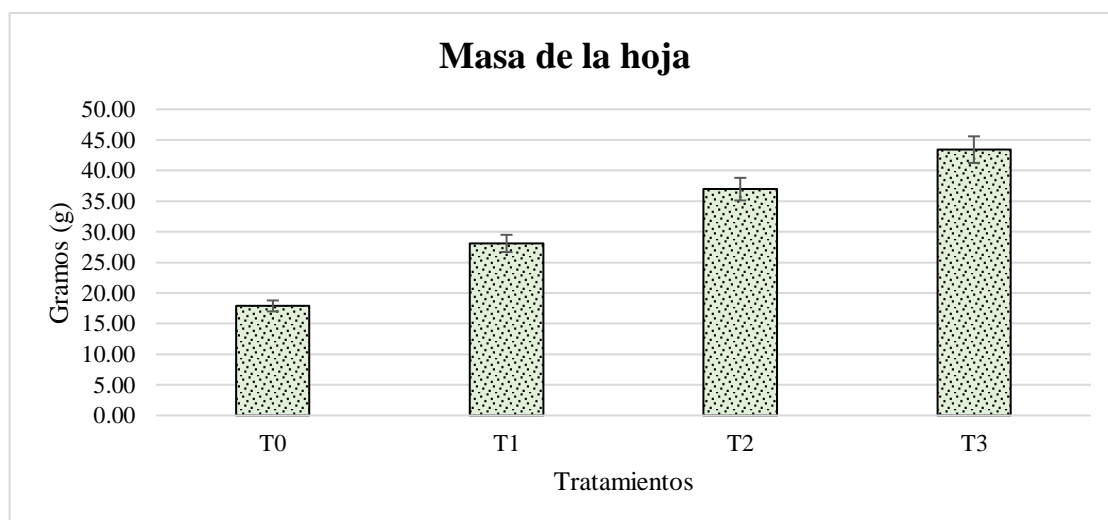
Figura 4*Comportamiento de la masa seca foliar frente a las dosis de compost**Nota.* Elaboración propia.

Tabla 7

Variación de la masa seca de la mazorca bajo diferentes dosis de compost

Tratamiento	Dosis	Masa de la mazorca (g)
T0	0 kg/m ²	47.74 ± 3.62
T1	1 kg/m ²	83.75 ± 2.84
T2	2 kg/m ²	102.48 ± 2.31
T3	3 kg/m ²	136.44 ± 3.69

Nota. Elaboración propia.

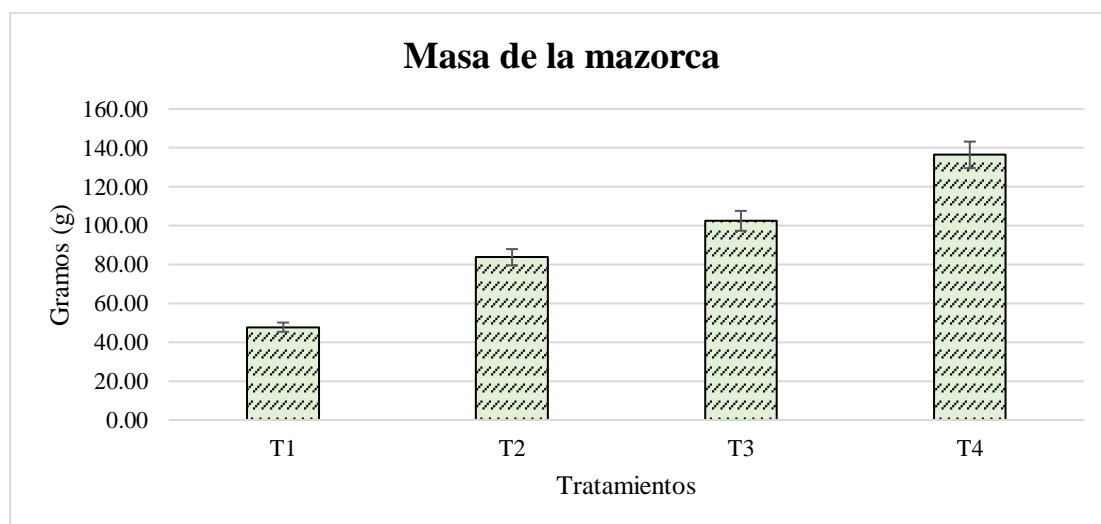
Los resultados evidencian un incremento progresivo de la masa seca de la mazorca conforme aumentó la dosis de compost aplicada. El tratamiento T0, correspondiente a la condición sin incorporación de compost, presentó el menor valor con 47.74 ± 3.62 g.

En T1, con una dosis de 1 kg/m², la masa seca de la mazorca alcanzó 83.75 ± 2.84 g, mientras que T2 registró 102.48 ± 2.31 g con la aplicación de 2 kg/m². El mayor valor fue observado en T3, donde la dosis de 3 kg/m² alcanzó 136.44 ± 3.69 g.

La tendencia observada indica una respuesta favorable del cultivo frente a la incorporación de compost avícola, reflejada en un mayor desarrollo de la mazorca en los tratamientos con dosis más elevadas.

Figura 5

Comportamiento de la masa seca de la mazorca frente a las dosis de compost



Nota. Elaboración propia.

Tabla 8*Rendimiento estimado de mazorca*

Tratamiento	g/planta	kg/ha	t/ha
T0	56.35	1550	1.55
T1	98.23	2701	2.70
T2	120.47	3313	3.31
T3	159.87	4396	4.40

Nota. Elaboración propia.

El rendimiento estimado de la masa de la mazorca presentó una tendencia ascendente conforme aumentó la dosis de compost incorporada. El tratamiento T0 registró 1550 kg/ha, mientras que T1 alcanzó 2701 kg/ha, T2 obtuvo 3313 kg/ha y T3 presentó el valor más alto con 4396 kg/ha, evidenciando una respuesta favorable del cultivo frente a la incorporación de compost avícola y las mejoras en las condiciones del suelo.

Concentración de macronutrientes (N, P, K) en suelos degradados por el *Zingibre officinale* en la aplicación de compost de residuos avícolas.

Tabla 9

Caracterización química del compost avícola

Macronutriente	Unidad	Resultado
Nitrógeno total (N)	%	2.58
Fósforo total (P)	%	2.435
Potasio total (K)	%	3.106

Nota. Resultados obtenidos del análisis químico del compost utilizado en la investigación

El análisis químico realizado al compost utilizado en la investigación permitió identificar contenidos representativos de macronutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas. Entre los elementos evaluados, el potasio registró la concentración más elevada (3.106 %), seguido del nitrógeno (2.58 %) y del fósforo (2.435 %). La presencia de estos nutrientes indica que el compost avícola constituye una alternativa adecuada para aportar elementos esenciales al suelo y contribuir a la recuperación de sus propiedades productivas.

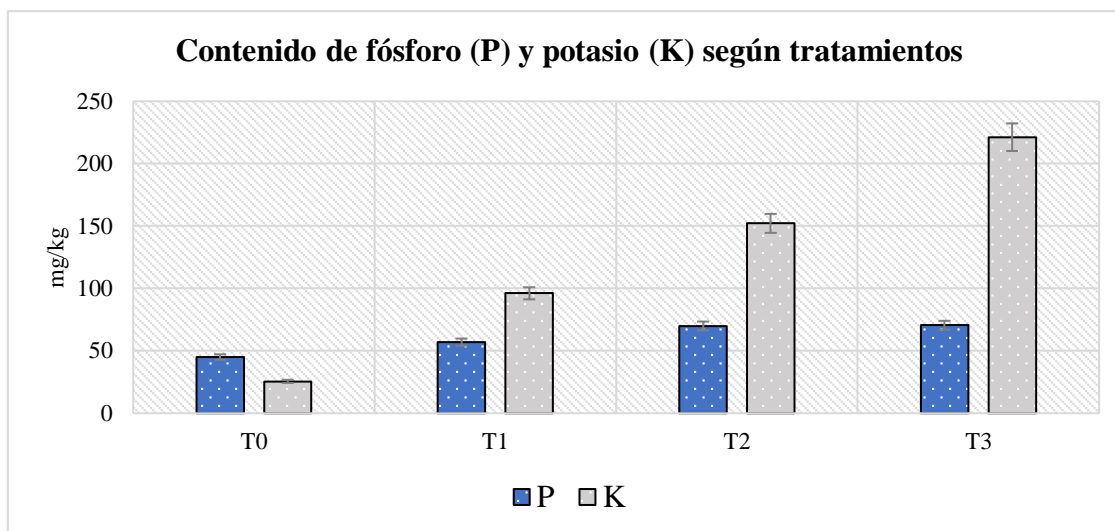
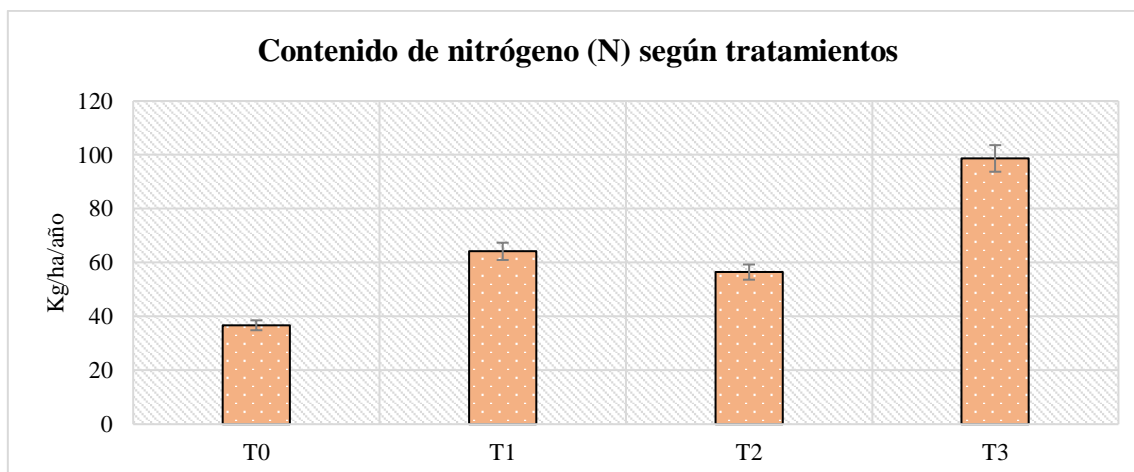
Tabla 10

Comparación de macronutrientes en los suelos tratados

Macronutriente	T0	T1	T2	T3
N min (Kg/ha/año)	36.73	64.18	56.48	98.68
P (mg/kg)	45	57.02	69.98	70.56
K (mg/kg)	25.55	96.13	152.17	221.24

Nota. Información procesada a partir de los resultados obtenidos en laboratorio.

Los resultados muestran un aumento en el contenido de macronutrientes conforme aumentó la dosis de compost aplicada. El tratamiento T3 registró los valores más elevados de nitrógeno, fósforo y potasio, a su vez que el tratamiento control presentó las concentraciones más bajas. Los valores obtenidos evidencian una respuesta favorable del suelo frente a la incorporación de compost avícola.

Figura 6*Concentración de P y K en el suelo**Nota.* Elaboración propia.**Figura 7***Contenido de nitrógeno del suelo bajo diferentes dosis de compost**Nota.* Elaboración propia.

Las figuras muestran una tendencia creciente en la concentración de macronutrientes conforme aumentó la dosis de compost aplicada. El tratamiento T3 registró los mayores niveles de nitrógeno, fósforo y potasio, evidenciando una respuesta favorable del suelo frente a la incorporación de compost avícola.

Variación del carbono orgánico en suelo degradado bajo diferentes dosis de compost

Tabla 11

Contenido de carbono orgánico bajo diferentes dosis de compost

Tratamiento	Dosis	%C orgánico	Calificación
T0	0 kg/m ²	0.81	Bajo
T1	1 kg/m ²	1.50	Medio
T2	2 kg/m ²	2.60	Alto
T3	3 kg/m ²	3.12	Alto

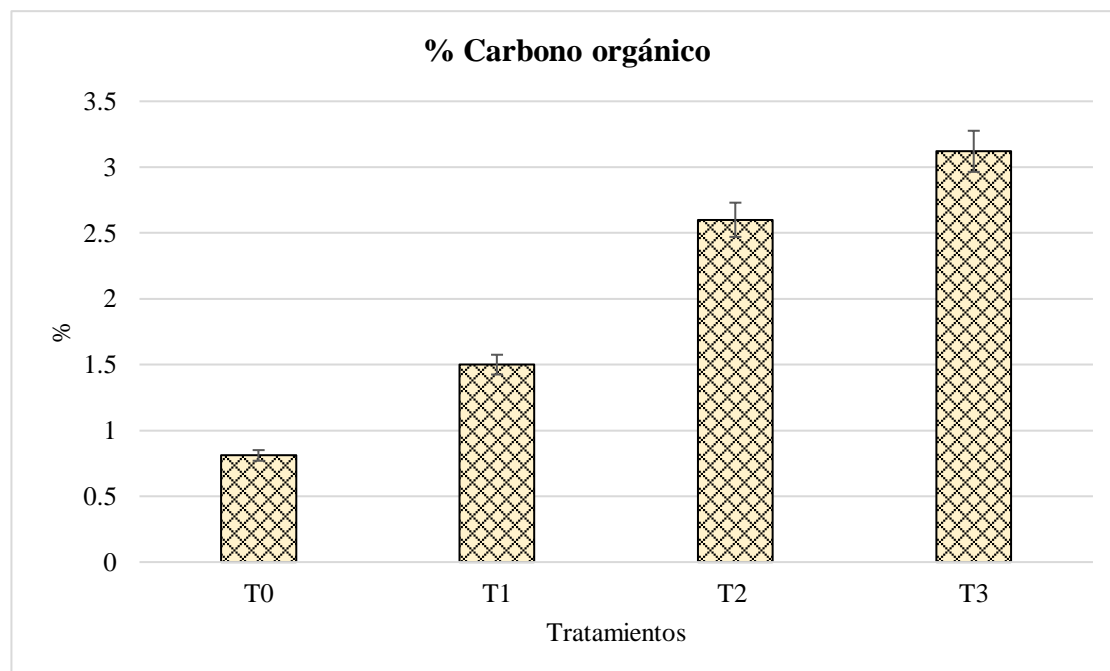
Nota. Elaboración propia.

Los resultados obtenidos evidencian un aumento del carbono orgánico conforme se incrementó la dosis de compost aplicada. El tratamiento T0 registró 0.81 %, clasificado dentro del nivel bajo, mientras que T1 alcanzó 1.50 %, correspondiente a la categoría media.

Los mayores valores fueron observados en T2 y T3, con 2.60 % y 3.12 %, respectivamente, ubicándose dentro de la categoría alta. La tendencia observada sugiere que la incorporación de compost avícola favoreció el incremento de materia orgánica en el suelo y contribuyó a la recuperación de áreas degradadas por el monocultivo de *Zingiber officinale*.

Figura 8

Variación del carbono orgánico bajo diferentes dosis de compost



Nota. Elaboración propia.

3.7.2. Discusiones

La aplicación de compost avícola en suelos afectados por el cultivo continuo de jengibre generó una respuesta positiva en el desarrollo del maíz, observándose mayores valores de masa seca en tallo, raíz, hojas y mazorca. Este comportamiento puede asociarse al aporte de materia orgánica y nutrientes, así como a la reactivación biológica del suelo (FAO, 2021; IPCC, 2022).

La masa seca del tallo aumentó de 28.97 ± 0.82 g en T0 hasta 112.51 ± 4.91 g en T3, evidenciando un mayor desarrollo vegetativo asociado a la recuperación de la fertilidad del suelo. Estos resultados coinciden con lo reportado por Corilla Flores et al. (2023), quienes observaron incrementos significativos en el crecimiento y desarrollo del tallo de maíz tras la aplicación de compost y microorganismos. De manera similar, en el presente estudio el aumento progresivo de la masa seca del tallo conforme se incrementaron las dosis de compost avícola sugiere una mejora en la disponibilidad de nutrientes y en las condiciones físicas del suelo degradado.

Los valores obtenidos evidenciaron un incremento de la masa seca de la raíz desde 3.52 ± 0.18 g en el tratamiento sin compost hasta 10.87 ± 1.23 g en la dosis de 3 kg/m². La tendencia observada refleja un mayor desarrollo del sistema radicular conforme aumentó la incorporación de compost avícola. Hallazgos semejantes fueron descritos por Corilla Flores et al. (2023), quienes registraron aumentos de 38.3 % en biomasa seca radicular del maíz mediante la aplicación de compost, biochar y rizobium. En el presente estudio, El dato registrado podría relacionarse con una mayor disponibilidad de nutrientes y con condiciones más favorables del suelo para el crecimiento de las raíces Gupta et al. (2023) y Rizzo et al. (2022).

Los valores registrados para masa seca foliar variaron de 17.89 ± 0.87 g en T0 a 43.41 ± 1.25 g en T3, mostrando un mayor desarrollo del follaje en los tratamientos con mayor incorporación de compost avícola. Esta respuesta podría asociarse a un incremento en la disponibilidad de nitrógeno y otros elementos esenciales involucrados en la producción de clorofila y en la actividad fotosintética del cultivo. Corilla Flores et al. (2023) reportaron aumentos de 41.3 % en el contenido de clorofila y de 58.5 % en la tasa fotosintética del maíz tras la aplicación de compost, biochar y rizobium. Del mismo modo, Vallejos-Torres et al. (2023) describieron mejoras en biomasa vegetal y

crecimiento foliar en cultivos tratados con compost de origen avícola, relacionando este efecto con una mayor disponibilidad nutricional y mejores características del suelo.

El incremento de la masa seca de la mazorca (47.74 ± 3.62 g a 136.44 ± 3.69 g) refleja una mejora en el desempeño productivo del cultivo, relacionada con una mayor disponibilidad de nutrientes, especialmente potasio, y con la recuperación de las propiedades físicas y químicas del suelo. El rendimiento estimado alcanzó 4.40 t/ha en el tratamiento T3, resultado comparable con sistemas agrícolas bajo procesos de recuperación mediante manejo orgánico. Vásquez Montúfar et al. (2021) registraron acumulaciones de masa seca superiores a 8 t MS/ha en híbridos de maíz establecidos en suelos con condiciones edáficas favorables y adecuada disponibilidad nutricional. Aunque los valores reportados fueron superiores a los obtenidos en la presente investigación, dichos resultados corresponden a suelos con mejores condiciones de fertilidad respecto al área evaluada en este estudio. En contraste, el presente estudio se desarrolló en un suelo deteriorado por el monocultivo de jengibre, el cual presentó inicialmente bajos niveles de carbono orgánico, nitrógeno y una limitada capacidad de intercambio catiónico, factores asociados a una menor retención de nutrientes.

Desde el enfoque edafológico, la respuesta observada estaría relacionada con el aporte de materia orgánica generado por el compost, favoreciendo la recuperación de la fertilidad y del equilibrio funcional del suelo (Jaramillo, 2002). Del mismo modo, el incremento de la CIC permitió aumentar la retención de elementos fundamentales como calcio, magnesio y potasio, aumentando su disponibilidad para el cultivo. Marca Cano (2025) señala que la materia orgánica contribuye significativamente a la estabilidad estructural del suelo, favoreciendo la formación de agregados, la circulación de aire y la infiltración de agua, aspectos fundamentales para el desarrollo radicular y la productividad agrícola.

El uso de compost generó cambios diferenciados en la concentración de macronutrientes del suelo. El nitrógeno presentó una dinámica variable, aumentando en T1, disminuyendo en T2 y alcanzando su valor máximo en T3. Este comportamiento responde a los procesos de inmovilización y mineralización del nitrógeno asociados a la incorporación de materia orgánica, ampliamente descritos en la ciencia del suelo (Jaramillo, 2002). Inicialmente, la actividad microbiana consume nitrógeno disponible, pero posteriormente se libera mediante descomposición, tal como explica Lal (2021).

El fósforo se mantuvo en niveles altos durante todo el experimento, incrementándose ligeramente con la aplicación de compost. Este comportamiento se explica por su baja movilidad y tendencia a acumularse en el suelo (Brady & Weil, 2017; Porta et al., 2003).

El potasio presentó el incremento más significativo, pasando de niveles muy bajos a altos, evidenciando la mayor disponibilidad de este nutriente en el compost avícola. Este resultado coincide con Florida et al. (2020) y se explica porque el potasio no forma parte de estructuras orgánicas complejas, lo que facilita su rápida liberación (Brady & Weil, 2017).

Estos cambios están relacionados con la recuperación del pH y de la CIC, lo que incrementa la disponibilidad y retención de nutrientes. Asimismo, la mejora de la estructura del suelo contribuye a la estabilidad de los nutrientes en el sistema suelo-planta (Marca Cano, 2025). El incremento de la conductividad eléctrica refleja una mayor concentración de sales; sin embargo, no afectó negativamente la disponibilidad de nutrientes en las condiciones evaluadas. En conjunto, estos resultados confirman que el compost constituye una enmienda multifuncional que incrementa la fertilidad química del suelo, en concordancia con los principios de manejo sostenible del suelo (Porta et al., 2003).

El carbono orgánico del suelo incremento progresivamente de 0.81% a 3.12%, evidenciando una recuperación progresiva del suelo degradado. Este incremento representa la restitución de uno de los componentes más importantes de la calidad del suelo, ya que el carbono orgánico regula la fertilidad, la estructura y la actividad biológica (Jaramillo, 2002; Porta et al., 2003). El aumento inicial refleja el aporte directo del compost, mientras que los incrementos posteriores evidencian procesos de estabilización del carbono en el suelo. Este comportamiento está asociado a la formación de compuestos húmicos y a la actividad microbiana, como señalan Aguila et al. (2023) y Llaulli (2021). El carbono orgánico optimiza la capacidad de intercambio catiónico, la retención de agua y la estructura del suelo, favoreciendo la productividad agrícola. Desde el enfoque físico, contribuye a la formación de agregados estables, reduciendo la compactación y mejorando la infiltración (Marca Cano, 2025). El comportamiento observado en T3 sugiere un acercamiento a un nuevo equilibrio del sistema, donde el suelo alcanza niveles adecuados de materia orgánica. Según Lal et al.

(2021),suelos con más del 2% de materia orgánica presentan mayor resiliencia, estabilidad estructural y capacidad productiva.

En conjunto, el incremento del carbono orgánico confirma que el compost no solo fortalece la fertilidad del suelo, sino que actúa como un agente de recuperación integral, favoreciendo la recuperación de sus propiedades químicas, físicas y biológicas, en concordancia con los principios de sostenibilidad ambiental (Porta et al., 2003). Aun cuando se evidenciaron mejoras importantes, el estudio fue desarrollado durante un solo ciclo agrícola, por lo que sería importante evaluar el comportamiento del compost avícola en aplicaciones sucesivas y bajo condiciones de campo a largo plazo.

3.8. Prueba de hipótesis

3.8.1 Hipótesis 1

“La incorporación de compost de residuos avícolas generara incrementos en la masa seca radicular, foliar, del tallo y del fruto (mazorca) en comparación con suelos no tratados”.

La evidencia obtenida indica que el empleo de compost de residuos avícolas influyó significativamente sobre el crecimiento vegetativo de *Zea mays L.*, reflejado en el aumento de la masa de los órganos analizados (tallo, raíz, hoja y mazorca), con una respuesta relacionada con las dosis aplicadas y valores máximos en el tratamiento T3. Por ende, se acepta la hipótesis específica, ya que el compost produjo una respuesta favorable significativa sobre el crecimiento del cultivo.

3.8.2 Hipótesis 2

“La adición de compost de residuos avícolas recuperara significativamente la concentración de macronutrientes esenciales (Nitrógeno, Fósforo y Potasio) en suelos degradados por el cultivo de *Zingiber officinale*, siendo la magnitud del incremento dependiente de la dosis de compost aplicada”.

Los resultados evidencian que la incorporación de compost elaborado a partir de residuos avícolas produjo cambios importantes en los niveles de macronutrientes del suelo, con comportamientos diferenciados según el elemento. El nitrógeno presentó una tendencia general al incremento, el fósforo se mantuvo en niveles altos con aumentos moderados, y el potasio mostró el mayor incremento, pasando de niveles muy bajas a altos. De acuerdo con los resultados obtenidos, se respalda la hipótesis específica, ya que la evidencia obtenida indica que el compost mejora la fertilidad del suelo degradado, constituyendo una fuente eficiente de nutrientes.

Hipótesis 3

“La aplicación de compost avícola favorecerá el incremento del carbono orgánico en suelos afectados por el monocultivo de *Zingiber officinale*”

Los valores registrados demuestran que la incorporación de compost avícola favoreció un aumento gradual e importante del carbono orgánico del suelo, pasando de niveles bajos en el tratamiento testigo (0.81 %) a niveles altos en los tratamientos con

mayores dosis aplicadas. Este incremento confirma la recuperación en la calidad del suelo y su recuperación funcional. Con base en los datos registrados, la hipótesis específica queda validada.

CONCLUSIONES

1. La incorporación de biorresiduos avícolas transformados en compost favoreció el desarrollo de *Zea mays* L. cultivado en terrenos afectados por el cultivo previo de *Zingiber officinale*. A medida que se incrementó la dosis aplicada, se observó una mayor acumulación de materia seca en los diferentes órganos de la planta. La dosis de 3 kg/m² alcanzó los mejores valores, registrándose en la mazorca un incremento de 47.74 g a 136.44 g respecto al control. El análisis estadístico mediante ANOVA y la prueba de Tukey evidenció diferencias significativas entre las dosis evaluadas, confirmando la influencia positiva de esta enmienda orgánica sobre el crecimiento del cultivo.
2. La evaluación de los macronutrientes mostró una mejora gradual de la fertilidad química del terreno. El potasio presentó la respuesta más marcada, pasando de niveles deficientes a concentraciones consideradas altas. De igual manera, el nitrógeno aumentó hasta alcanzar valores intermedios en las mayores dosis aplicadas, mientras que el fósforo se mantuvo en niveles adecuados durante el periodo de estudio. Estos cambios reflejan una mayor disponibilidad de elementos esenciales para el desarrollo vegetal.
3. El contenido de carbono orgánico evidenció una recuperación importante como consecuencia de la incorporación de materia orgánica. Los valores pasaron de 0.81 % en la condición inicial a 3.12 % en la dosis más alta, lo que representa un incremento de 2.31 puntos porcentuales. Este comportamiento indica una mejora en la calidad del terreno, favoreciendo procesos relacionados con la retención de humedad, la actividad biológica y la dinámica de nutrientes.
4. En conjunto, los hallazgos obtenidos demuestran que el aprovechamiento de residuos avícolas compostados constituye una alternativa técnicamente viable para rehabilitar áreas degradadas por la producción de jengibre. Entre las dosis estudiadas, 3 kg/m² mostró el mejor desempeño, al combinar un mayor desarrollo del maíz con una mejora sustancial de las características químicas y orgánicas del terreno, contribuyendo a la sostenibilidad de los sistemas agrícolas de la zona.

RECOMENDACIONES

Se sugiere incorporar compost de residuos avícolas como una práctica habitual para la rehabilitación de suelos afectados por monocultivo como *Zingiber officinale*, dado a su capacidad para incrementar simultáneamente el rendimiento del cultivo, la calidad del suelo y el contenido de carbono orgánico, promoviendo sistemas agrícolas sostenibles

La dosis de 3 kg/m² mostró la mayor eficiencia en la recuperación productiva del suelo, al generar los incrementos más altos en la masa de *Zea mays L.*, principalmente en la mazorca y en el desarrollo vegetativo. En este sentido, se recomienda complementar su aplicación con evaluaciones periódicas de masa por órganos, permitiendo un seguimiento más preciso de la respuesta del cultivo frente a las mejoras en las condiciones del suelo.

Asimismo, el compost avícola puede considerarse una fuente importante de potasio en estrategias de manejo nutricional para suelos degradados. Se recomienda su aplicación entre 4 y 6 semanas antes de la siembra, con la finalidad de favorecer el acceso de nutrientes durante los periodos de mayor requerimiento fisiológico y disminuir posibles efectos de inmovilización inicial del nitrógeno. Esta práctica debe acompañarse de análisis periódicos de suelo que permitan ajustar las dosis y optimizar el manejo nutricional en campañas posteriores.

Para garantizar la recuperación del suelo a largo plazo, se sugiere mantener estrategias continuas de incorporación de materia orgánica, procurando niveles de carbono superiores al 2.5 %. En este contexto, la adición frecuente de compost en cantidades moderadas (2–3 kg/m²), junto con prácticas de rotación agrícola y cobertura del suelo, contribuirá a mejorar las condiciones físicas del suelo, la retención hídrica y la dinámica microbiana y su resistencia frente a procesos de degradación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguila, A., Valdés, G., Araneda, N., Valdebenito, E., Hansen, F., & Nuti, M. (2023). Microbial Community in the Composting Process and Its Positive Impact on the Soil Biota in Sustainable Agriculture. *Agronomy*, *13*(2), 542. doi:<https://doi.org/10.3390/agronomy13020542>
- Ali, H., Hussain, I., Ali, K., Ali, S., & Ali, G. (2024). Invitro propagations and micro rhizome induction of zingiberaceae officinale. *Biological and Clinical Sciences Research Journal*, *5*(1), 1358. Retrieved from <https://doi.org/10.54112/bcsrj.v2024i1.1358>
- Arzapalo, L. (2024). Evaluación físico - química de suelos alto andinos perturbados con monocultivo de maca *Lepidium meyenii*. *Alicia Concytec*, *2*(5), 127. doi:<http://hdl.handle.net/20.500.12894/11303>
- Bashir, S., Gulshan, A., Iqbal, J., Husain, A., Alwahibi, M., Alkahtani, J., . . . Diao, Z. (2021). Comparative role of animal manure and vegetable waste induced compost for polluted soil restoration and maize growth. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *28*(4), 2534-2539. doi:<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.01.057>
- Benítez, O. (2022). Influencia de los factores climáticos en la producción de maíz en México. *El semestre de las especializaciones*, *3*(2), 83-112.
- Bhunja, S., Bhowmik, A., Mallick, R., & Mukherjee, J. (2021). Agronomic Efficiency of Animal-Derived Organic Fertilizers and Their Effects on Biology and Fertility of Soil: A Review. *Agronomy*, *11*(5), 823. doi:<https://doi.org/10.3390/agronomy11050823>
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2017). *The nature and properties of soils (15th ed.)*. Pearson.
- Cabrera, S., & Merejildo, K. (2023). *Efecto del Biochar de pepa de palta en la mejora de las*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Institucional: UNT. Obtenido de <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/aaa66daa-49d2-4fa3-8653-118fb1971c5e/content>

- Calvo, Z., & Sencia, A. (2022). *Eficiencia del bocashi compost de residuos orgánicos para la recuperación de suelo contaminado por fertilizantes químicos: Revisión sistemática, 2022*. [Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional: UCV. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/111141>
- Cervantes, J., & Salas, C. (2022). *Efecto del Biochar de Molle (Schinus Molle L.) en la recuperación de suelos degradados, usando como indicador el maíz (Zea Mays L.), Huánuco 2021*. [Tesis de Pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional: UDH. Obtenido de <https://repositorio.udh.edu.pe/handle/123456789/3408>
- Chirinos, D., Castro, J., & Lara, P. (2020). Biofortification of the Ryegrass (*Lolium multiflorum* L.) with Chicken Manure Compost in the Central Sierra of Peru. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 5(1), 418-423. doi:<https://dx.doi.org/10.25046/aj050153>
- Cieza Ruiz, I., & Vásquez Rojas, T. (2022). Productividad de tres híbridos experimentales de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) bajo condiciones climáticas de la costa norte del Perú. *Revista de Investigación Agropecuaria Science and Biotechnology*, 21–28.
- Corilla Flores, D. D., More Lopez, J. M., & Caira Mamani, C. M. (2023). *Use of organic fertilizers with microbes for improving maize growth, physiology and soil properties*. Huancavelica: Brazilian Journal of Biology.
- Delgado, M., Mendoza, K., Gonzales, I., Tadeo, L., & Sanchez, J. (2020). Evaluación del proceso de compostaje de residuos avícolas empleando diferentes mezclas de sustratos. *SciELO*, 35(4), 12. doi:<https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.04.15>
- Enhancing Ginger Yield Through Front Line Demonstrations: Pro Tray Technology and Single Node Seedlings of Ginger (var. Nadia) in Tribal Areas of Alluri Sitaramraju District, Andhra Pradesh, India. (n.d.).
- FAO. (2020). *Estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura*. SOLAW.
- FAO. (2021). *The state of the world's land and water resources for food and agriculture: Systems at breaking point*.

- Florida, N., Levano, J., & Jacobo, S. (2020). Effect of feather compost on soil chemical indicators in CCN-51 cocoa plantation (*Theobroma cacao* L.). *Producción + Limpia*, 15(1), 455-480. doi:<https://doi.org/10.22507/pml.v15n1a2>
- Gardi, C., Taruni, T., Cristan, A., & Landro, P. (2021). oil threats in Europe: Status, methods, drivers and effects on ecosystem services. *Journal of Environmental Management*, 140, 76-83.
- Gupta, S., Sharma, S., Aich, A., Kumar, A., Bhuyar, P., Kumar, A., . . . Kalia, S. (2023). Chicken Feather Waste Hydrolysate as a Potential Biofertilizer for Environmental Sustainability in Organic Agriculture Management. *Waste and Biomass Valorization*, 14, 2783-2799. doi:<https://doi.org/10.1007/s12649-023-02123-6>
- Heisey, S., Ryals, R., McClellan, T., & Nguyen, N. (2022). A Single Application of Compost Can Leave Lasting Impacts on Soil Microbial Community Structure and Alter Cross-Domain Interaction Networks. *Front. Soil Sci.*, 2. doi:<https://doi.org/10.3389/fsoil.2022.749212>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. Mc Graw Hill.
- INIA. (2019). *Guía técnica del cultivo de maíz amarillo duro*. Instituto Nacional de Innovación Agraria. Repositorio INIA.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2020). *Informe técnico: Indicadores agropecuarios 2018-2019*. INEI.
- IPCC. (2022). *Climate change 2022: Mitigation of climate change*. Cambridge University Press.
- Jaramillo, D. F. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Nacional de Colombia. colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Lal, R., Maroušek, J., & Kráčmar, S. (2021). Soil degradation and sustainable agriculture: Insights from sugarcane production systems. *Agronomy Journal*, 113(2), 256-267. doi:<https://doi.org/10.1002/agj2.20597>

- Lal, R., Maroušek, J., & Kráčmar, S. (2021). Soil degradation and sustainable agriculture: Insights from sugarcane production systems. *Agronomy Journal*, *113*(2), 256-267. doi:<https://doi.org/10.1002/agj2.20597>
- León, N., García, I., Quezada, M., Rodríguez, M., Roas, S., Nazario, R., & Cabanillas, L. (2023). Effect of beef and chicken manure compost on the nutritional content of calcium and phosphorus in Alfalfa. *AIP Conf. Proc.* . doi:<https://doi.org/10.1063/5.0171985>
- Lin, Z., Yang, C., Xia, B., Qiu, M., Peng, H., Jiang, X., . . . Yu, C. (2022). Succession of the microbial communities and metabolic functions in composting or deep burial processing of dead chickens. *British Poultry Science*, *64*(2), 185-194. doi:<https://doi.org/10.1080/00071668.2022.2130683>
- Liu, X., Shi, Y., Kong, L., Tong, L., Cao, H., Zhou, H., & Lv, Y. (2022). Long-Term Application of Bio-Compost Increased Soil Microbial Community Diversity and Altered Its Composition and Network. *Microorganisms*, *10*(2), 462. doi:<https://doi.org/10.3390/microorganisms10020462>
- Llaulli, F. (2021). Efecto del cultivo de *Zingiber officinale* Roscoe en las propiedades del suelo, en el distrito de Pichanaki. *Alicia Concytec*, *4*(6), 50. doi:https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNCP_d29f819e674b73b03f16c5440ed5e35b/Details
- Loayza, J. C. (2020). Degradación de la fertilidad química y biológica del suelo por efecto del cultivo intensivo de la papa en Potreropampa, Andahuaylas, Apurímac. *Alicia Concytec*, *1*(1), 71. doi:https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RNAP_2a842dd0605c3f4f125e4a7d3f103561
- Machuca Sánchez, K. (2019). *Infusión de jengibre (Zingiber officinale) con porcentajes de miel de abeja y adición de vitamina C*. Quevedo: Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- Marca Cano, S. (2025). *Edafoambiente: fundamentos físicos del suelo y su relación ambiental*. Huancayo: Editorial Académica.

- Mendoza Santos, E., & Vilcayauri Remon, J. (2025). *Revisión sistemática de Zingiber officinale (Roscoe): Evaluación de su relevancia farmacéutica en la familia Zingiberaceae*. Lima: Universidad María Auxiliadora.
- MINAM. (2014). *Protocolo de muestreo de suelos*. Lima: Ministerio del Ambiente.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI]. (2020). *Diagnóstico de los suelos agrícolas en el Perú*. MIDAGRI.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2021). *Perú se consolidó el 2020 como el cuarto exportador mundial de jengibre*. gov.pe. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/323582-peru-se-consolido-el-2020-como-el-cuarto-exportador-mundial-de-jengibre>
- Muñoz, J., Aranda, T., Espinosa, E., Martínez, D., Mendoza, M., & Segura, K. (2023). Importancia de la aplicación del vermicompost en suelo degradado por sobrecultivo de Jengibre (*Zingiber officinale*), Chanchamayo(Perú). *Revista Científica Yotantsipanko*, 3(1), 49-60. doi:<https://doi.org/10.54288/yotantsipanko.v3i1.29>
- Neza, S., Janja, S., Matevz, B., Darko, G., & Danijela, U. (2024). The utilisation of thermally treated poultry farm waste for energy recovery and soil application. *Renewable Energy*, 221(24), 119. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119809>
- Olawale, O., Obayomi, K., Dahunsi, O., & Florain, O. (2020). Bioremediation of artificially contaminated soil with petroleum using animal waste: cow and poultry dung. *Cogent Engineering*, 7(1). doi:<https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1721409>
- Porta, Jaume; López-Acevedo, Marta; Roquero, Carlos. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Mundi-Prensa.
- Ramírez, J. (2022). *Mejoramiento de la calidad del compost Takakura por aplicación de estiércol de animal en el relleno sanitario, Andahuaylas, 2022*. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional: UCV. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/106468>

- Rivas, J., Silva, L., & Torres, P. (2021). Efecto del compost de estiércol avícola en la restauración de suelos agrícolas degradados. *Revista de Suelo y Nutrición Vegetal*, 21(3), 267-278.
- Rizo, P., Young, B., Pin, N., Carbajal, J., Martínez, L., Riera, N., . . . Crespo, D. (2022). Integral approach for the evaluation of poultry manure, compost, and digestate: Amendment characterization, mineralization, and effects on soil and intensive crops. *Waste Management*, 139, 124-135. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.12.017>
- Salazar, J. (2022). Manejo Agronómico del cultivo de Jengibre (*Zingiber officinale*) y sus procesos agroindustriales. *Alicia Concytec*, 5(3), 30. doi:<https://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/11340>
- Sathi, N., Raja, N., Kishor, N., Babu, P., Sowjanaya, A., Ramu, P., . . . Sravanthi, Y. (2024). Enhancing Ginger Yield Through Front Line Demonstrations: Pro Tray Technology and Single Node Seedlings of Ginger (var. Nadia) in Tribal Areas of Alluri Sitaramraju District, Andhra Pradesh, India. *Current Research Progress in Agricultural Sciences*, 5(27), 124-148. doi:<https://doi.org/10.9734/bpi/crpas/v5/2624>
- Sayed, Y., Ali, A., Ibrahim, M., Fadl, M., Casucci, C., Drosos, M., . . . Al Sayed, H. (2024). Impact of Poultry Manure-Derived Biochar and Bio-Fertilizer Application to Boost Production of Black Cumin Plants (*Nigella sativa* L.) Grown on Sandy Loam Soil. *Agriculture*, 14(10), 1801. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/agriculture14101801>
- Sierra, Y. (27 de Febrero de 2021). Estudio revela que cultivos de palma causaron la pérdida de dos millones de toneladas de carbono. *BioDiversidadLA*. Obtenido de <https://www.biodiversidadla.org/Documentos/Estudio-revela-que-cultivos-de-palma-causaron-la-perdida-de-dos-millones-de-toneladas-de-carbono>
- Singh, P., Gitonga, D., Hajihassani, A., Verhage, A., Van, E., Philipse, A., . . . Wim, B. (2023). Una nueva especie de nematodo formador de nudos, *Meloidogyne karsseni* n. sp. (Nematoda: Meloidogynidae), de México y una actualización taxonómica de *M. paranaensis* de Guatemala. *The Journal of Nematology*, 55(1). doi:10.2478/jofnem-2023-0042

- Vallejos, G., Gaona, N., Ordoñez, L., Lozano, C., Alva, A., Lozano, A., . . . Marín, C. (2023). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi, poultry manure compost, and cadmium on plant growth and nutrient absorption of *Oryza sativa*. *Chilean journal of agricultural research*, 83(6). doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392023000600656>
- Vásquez Montúfar, G. H., Caicedo Acosta, L. A., Véliz Zamora, D. V., & Sánchez Mora, F. D. (2021). Producción de biomasa en cultivos de maíz: Zona central de la costa de Ecuador. *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, 417–431.
- Vásquez Montúfar, Gregorio Humberto; Caicedo Acosta, Luis Alberto; Véliz Zamora, Diego Vladimir; Sánchez Mora, Freddy Daniel;. (2021). Producción de biomasa en cultivos de maíz: Zona central de la costa de Ecuador. *Revista de Ciencias Sociales*, 417–431.
- Vedashree, M., & Naidu, M. (2023). Influence of ginger cultivars and maturity stages on oleoresin, 6-gingerol, polyphenol contents and antioxidant property. *Indian Journal of Experimental Biology*, 61(5), 55-62. doi:<https://doi.org/10.56042/ijeb.v61i05.846>
- Zamora, G. (2020). *El biochar de Guadua angustifolia Kunth procedente de los residuos del aprovechamiento de plantaciones forestales como enmienda orgánica para el suelo*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional: UNALM. Obtenido de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/items/0a079708-f5c7-4497-be56-fd79d84f1b9e>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	Variables, Dimensiones e Indicadores	Metodología de la investigación
<p>Problema General: ¿Cuál es la efectividad del compost de biorresiduos avícolas en la recuperación de suelos degradados por <i>Zingiber officinale</i>, evaluada en la fenología del cultivo de <i>Zea mays</i> L.?</p>	<p>Objetivo General: Evaluar la efectividad del compost de biorresiduos avícolas en la recuperación de suelos degradados por <i>Zingiber officinale</i>, evaluada en la fenología del cultivo de <i>Zea mays</i> L.</p>	<p>Hipótesis General: La aplicación del compost de residuos avícolas favorece la recuperación de suelos degradados por <i>Zingiber officinale</i>, promoviendo mejoras en la disponibilidad de macronutrientes y en el desarrollo fenológico del <i>Zea mays</i> L.</p>	<p>Variable Independiente: Compost de biorresiduos avícolas</p> <p>Dimensión Composición y dosis de aplicación del compost.</p> <p>Indicadores: Proporción de biorresiduos de pollo y pollinaza (%). Cantidad de compost aplicada (kg/m²).</p>	<p>a) Tipo, nivel y diseño de investigación: Tipo: Aplicada. Nivel: Descriptivo -explicativo. Diseño: Experimental completamente al azar (DCA) con cuatro tratamientos (T0, T1, T2 y T3) y cuatro repeticiones.</p> <p>b) Población, Muestra: Población: Un área de 320 m² de suelo agrícola degradado por <i>Zingiber officinale</i>, donde se sembrarán 880 plantas de <i>Zea mays</i> L.</p> <p>Muestra: 64 plantas de maíz, seleccionadas aleatoriamente (4 por cada una de las 16 parcelas de 20 m²) de los tres surcos centrales.</p>
<p>Problemas específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ¿Cuál es el comportamiento de la fenología del <i>Zea mays</i> L. con la aplicación del compost de biorresiduos avícolas de un suelo degradado por <i>Zingiber officinale</i>? - ¿Cómo varía la concentración macronutrientes (N, P, K) en suelo degradado por el <i>Zingiber officinale</i> tras la aplicación de compost de biorresiduo avícolas? - ¿Cuál será el efecto de la aplicación de compost de biorresiduos avícolas en la recuperación de suelos a través del carbono orgánico encontrado en el suelo degradado por <i>Zingiber officinale</i>? 	<p>Objetivos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Describir el comportamiento de la fenología del <i>Zea mays</i> L. con la aplicación del compost de biorresiduos avícolas de un suelo degradado por <i>Zingiber officinale</i>. - Cuantificar la variación en la concentración de macronutrientes (N, P, K) en suelos degradados por el <i>Zingiber officinale</i> en la aplicación de compost de biorresiduos avícolas. - Analizar el efecto de la aplicación de compost de biorresiduos avícolas en la recuperación de suelos a través del carbono orgánico encontrado en el suelo degradado por <i>Zingiber officinale</i>. 	<p>Hipótesis específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La incorporación de compost de residuos avícolas generara incrementos en la masa seca radical, foliar, del tallo y del fruto (mazorca) en comparación con suelos no tratados. - La adición de compost de biorresiduos avícolas recuperara significativamente la concentración de macronutrientes esenciales (Nitrógeno, Fósforo y Potasio) en suelos degradados por el cultivo de <i>Zingiber officinale</i>, siendo la magnitud del incremento dependiente de la dosis de compost aplicada. - La aplicación de compost avícola favorecerá el incremento del carbono orgánico en suelos afectados por el monocultivo de <i>Zingiber officinale</i>. 	<p>Variable Dependiente: -Fenología del <i>Zea mays</i> L. -Macronutrientes -Relación carbono orgánico de suelo</p> <p>Dimensión: -Fases fenológicas -Macronutrientes -Cantidad de Carbono</p> <p>Indicadores: - Tallo (g) - Radicular (g) - Foliar (g) - Mazorca (g) - N (Kg/ha/año) - P, K (g/kg) - C (%)</p>	<p>c) Técnicas e instrumentos de recolección de datos: Técnicas: Análisis químico y peso de la planta de maíz. Instrumentos: Barreno para muestras de suelo, colorímetros y balanza analítica.</p> <p>d) Análisis de datos: Análisis descriptivo para medidas de tendencia central y dispersión. ANOVA y prueba de Tukey para determinar diferencias significativas entre tratamientos. Software estadístico: SPSS o R.</p>

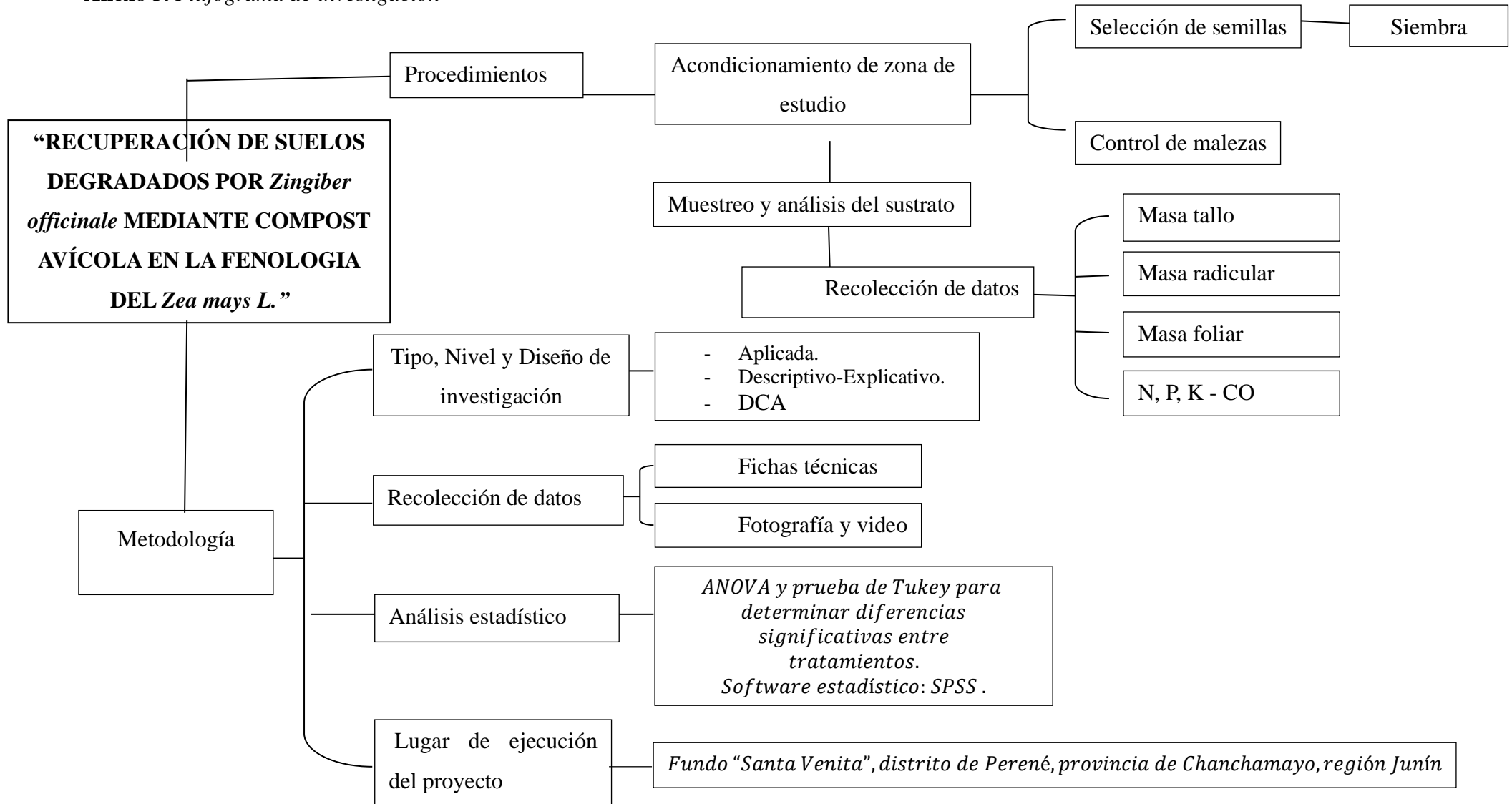
Anexo 2. Instrumento de recolección de datos.

FICHA DE CARACTERISTICAS MORFOLÓGICAS						
INVESTIGADORES		QUISPE BRICEÑO, Elian & MÁRQUEZ GINÉS, Angie.				
FECHA: 26-08-2025			HORA: 12:30			
UBICACIÓN GEOGRAFICA:			UBICACIÓN POLÍTICA:			
Coordenadas UTM (490178 m E – 8793858 m N)			La Libertad de Toterani – Perené – Chanchamayo – Junín – Perú			
ETAPA DEL Zea Mayz L.			R6 – madurez fisiológica			
N° TRATAMIENTOS	REPETICIONES	PLANTAS	Masa tallo (g)	Masa radicular (g)	Masa foliar (g)	Masa de la mazorca (g)
T0	T0-R0	a	26.46	2.88	18.68	20.68
		b	22.56	3.47	10.75	84.1
		c	31.31	4.54	17.14	46.98
		d	34.6	4.12	23.24	44.23
	T0-R1	a	31.11	2.56	21.16	73.74
		b	23.17	2.63	15.06	73.6
		c	25.97	4.1	12.26	72
		d	30.81	3.02	19.78	66.23
	T0-R2	a	31.26	4.87	22.07	64.65
		b	29.12	3.21	17.51	50.87
		c	29.18	3.64	19.54	46.98
		d	28.93	3.45	15.71	44.23
	T0-R3	a	31.77	4.11	19.93	43.44
		b	28.61	3.63	14.63	37.61
		c	26.95	3.1	18.41	55.97
		d	31.69	2.91	20.38	73.32
T1	T1-R0	a	43.01	3.26	24.83	100.73
		b	42.93	4.42	26.57	113.67
		c	45.85	4.5	27.13	111.55
		d	47.7	2.98	28.41	111.92
	T1-R1	a	45.88	4.82	27.49	87.73
		b	64.21	14.04	36.59	83.42
		c	36.9	2.21	24.12	81.96
		d	69.74	6.83	30.15	82.04
	T1-R2	a	64.21	4.93	26.36	100.29
		b	46.72	6.26	27.82	91.01
		c	48.73	5.65	28.96	113.67
		d	54.3	5.29	29.12	111.67
	T1-R3	a	52.88	4.44	27.95	108
		b	53.17	5.21	29.83	100.74
		c	50.44	3.77	26.47	73.74
		d	46.72	6.26	27.82	104.33
T2	T2-R0	a	80.52	6.4	40.55	129.08
		b	84.23	5.85	37.12	117.22
		c	70.71	7.25	36.51	99.92
		d	70.57	5.57	42.18	121.35
	T2-R1	a	88.92	5	36.05	149.71
		b	82.87	3.57	32.73	115.58
		c	74.64	8.16	32.56	113.67
		d	75.94	9.16	33.24	111.55
	T2-R2	a	76.2	10.65	35.8	115.18

		<i>b</i>	88.26	5.1	37.7	117.22
		<i>c</i>	82.45	7.61	38.02	120.08
		<i>d</i>	79.31	6.32	37.85	127.26
	<i>T2-R3</i>	<i>a</i>	77.54	5.68	39.71	124.99
		<i>b</i>	83.28	8.12	36.94	131.94
		<i>c</i>	80.16	7.09	35.42	117.66
		<i>d</i>	78.63	6.54	38.97	116.65
<i>T3</i>	<i>T3-1</i>	<i>a</i>	98.11	8.89	46.56	143.82
		<i>b</i>	93.23	10.13	39.31	143.96
		<i>c</i>	128.96	8.01	58.93	147.47
		<i>d</i>	124.61	10.27	42.81	150.67
	<i>T3-2</i>	<i>a</i>	102.94	28.26	41.64	191.37
		<i>b</i>	171.37	6.54	37.24	196.25
		<i>c</i>	124.49	12.49	40.35	147.54
		<i>d</i>	95.08	10.56	38.55	162.24
	<i>T3-3</i>	<i>a</i>	113.53	8.59	41.64	144.19
		<i>b</i>	92.04	10.42	44.36	149.58
		<i>c</i>	110.22	9.83	43.27	161.72
		<i>d</i>	120.15	7.64	45.91	166.64
	<i>T3-4</i>	<i>a</i>	101.67	12.35	40.12	154.22
		<i>b</i>	108.94	8.72	46.38	169.59
		<i>c</i>	115.36	11.28	42.74	186.69
		<i>d</i>	99.48	9.95	44.82	152.35

Nota. Elaboración propia

Anexo 3. Flujograma de investigación



Anexo 4. Análisis de laboratorio

INFORME DE ENSAYO N° 1900425-2025

RAZÓN SOCIAL	: GRANJAS ORIHUELA S.A.C.
DOMICILIO LEGAL	: CAR. CENTRAL KM. 100 SEC. CHUNCHUYACU - SAN RAMÓN - JUNÍN - CHANCHAMAYO
SOLICITADO POR	: GRANJAS ORIHUELA S.A.C.
REFERENCIA	: ANÁLISIS DE COMPOST
PROCEDENCIA	: MALVINAS
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS	: 2025-01-23
FECHA(S) DE ANÁLISIS	: 2025-01-23 AL 2025-02-03
FECHA(S) DE MUESTREO	: 2025-01-22
MUESTREADO POR	: EL CLIENTE
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	: LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C	Unidades
Conductividad (1:5)	Test Methods for the Examination of Composting and Compost TMECC 04.10 Electrical Conductivity for Compost. 2002.	---	dS/m
Materia orgánica	ASTM D 2974-20e1. Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils. 2020.	0.48	%
Nitrógeno total	Test Methods for the Examination of Composting and Compost TMECC 04.02-A Total Kjeldahl Nitrogen, Semi-micro Kjeldahl Technique. 2002.	0.05	N %
Fósforo total	Test Methods for the Examination of Composting and Compost TMECC 04.03-A Total Phosphorus. 2002.	---	%
Potasio total	Test Methods for the Examination of Composting and Compost TMECC 04.04-A Total Potassium. 2002.	---	%
Metales pesados	Test Methods for the Examination of Composting and Compost TMECC 04.14-A Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy, US EPA Method 6010A. 2002.	---	ppm

L.C.: Límite de cuantificación.

II. RESULTADOS:


Producto declarado	Compost	
Matriz analizada	Compost	
Fecha de muestreo	2025-01-22	
Hora de inicio de muestreo (h)	14:00	
Condiciones de la muestra	Conservada	
Código del Cliente	CM-001-2025	
Código del Laboratorio	25012759	
Ensayo	Unidades	Resultados
Conductividad (1:5)	dS/m	13.3
Materia Orgánica	%	78.1
Nitrógeno total	N %	2.58
Fósforo total (P)	%	2.435
Óxido de Fósforo (P2O5)	%	5.581
Potasio total (K)	%	3.106
Óxido de Potasio (K2O)	%	3.743



Ing. TELLO PAUCAR
MARIJU
SERVICIOS ANALITICOS
GENERALES SAC
Firmado con www.tocapu.pe



DIRECTOR TÉCNICO DE LABORATORIO




**LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS
AGUA, PLANTAS Y FERTILIZANTES**
KIPATSI E.I.R.L. RUC 20568261578

ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN


Interesado : Elian D. Quispe Briceño
 Lugar : Libertad de Toterani. Miraflores. Fundo Santa Venita.
 Muestra Control :
 Altitud : 1200 m. s. n. m. Edad : 0.0 años
 Cultivo : Zea mays Código : C.C. 0
 Registro : 25-297 Densidad: 0.8 x 0.4
 Promotor : Granjas Orihuela SAC
 Proyecto : Recuperación de suelos degradados por el Zingiber
 oficiniale mediante compost avicola en la fenología de
 Zea mays L.

VARIABLE	UNIDAD	CONTENIDO	CALIFICACIÓN
pH	Unidad	5.85	Lig. ácido
CE _{1:5}	mS/cm	0.04	No salino
C org	%	0.81	Bajo
N min	Kg/ha/año	36.73	Bajo
P	mg/Kg	45.00	Muy alto
K	mg/Kg	25.55	Muy bajo
CO ₂ Ca	%	0.00	Muy bajo
CIC	meq/100g	4.20	Bajo
Ca++	meq/100g	2.60	Bajo
Mg++	meq/100g	1.30	Bajo
K+	meq/100g	0.30	Muy bajo
Al+H	meq/100g	0.00	Muy bajo
S.A.I	%	0.00	Muy bajo

Satipo, 17 de abril del 2025.



Jr. las Orquídeas N° 280 - Río Negro - Satipo - Junín / Contacto al: 998 607 007



INFORME DE ENSAYO N°1902514-2025


Razón social o interesado : Elian D. Quispe Briceño & Angie J. Márquez Gines
 Lugar de estudio : Libertad de Toterani/Fundo Santa Venita
 Coordenadas : 490178 m E - 8793858 m N
 Altitud : 1.200 msnm
 Código : Tratamiento 1
 Título de proyecto : "Recuperación de suelos degradados por el Zingiber
 oficiniale mediante compost avicola en la fenología del Zea Maiz L."

I. RESULTADOS

ENSAYO	UNIDAD	RESULTADOS	CALIFICACIÓN
Producto declarado		Suelo tratado	
Matriz analizada		Suelo tratado	
Fecha de muestreo		2025-10-30	
Hora de inicio de muestreo		14:15	
Condiciones de la muestra		Conservada	
Código del cliente		T1/2025	
Código del laboratorio		1902514-2025	
pH	Unidad	7.01	Neutro
CE _{1:5}	mS/cm	1.45	Ligeramente salino
M.O	%	3.02	Medio
C org	%	1.50	Medio
N min	Kg/ha/año	64.18	Medio
P	mg/kg	57.02	Muy alto
K	mg/Kg	96.13	Medio
CO ₂ Ca	%	0.00	Muy bajo
CIC	meq/100	6.61	Medio
Ca++	meq/100	3.30	Bajo
Mg++	meq/100	2.20	Bajo
K+	meq/100	1.24	Alto
Al+H	meq/100	0.00	Muy bajo
S.A.I	%	0.00	Muy bajo
Arena	%	51.45	Franco Arenoso
Arcilla	%	13.77	
Limo	%	34.78	

Ing. TELLO PAUCAR MARILÚ
 SERVICIO GENERALES SAC
 Firmado con www.tocapu.pe

 DIRECTOR TÉCNICO DE LABORATORIO




INFORME DE ENSAYO N°1902516-2025

Razón social o interesado : Elian D. Quispe Briceño & Angie J. Márquez Gines

Lugar de estudio : Libertad de Toterani/Fundo Santa Venita

Coordenadas :490178 m E – 8793858 m N

Altitud : 1.200 msnm

Código : Tratamiento 3

 Título de proyecto : "Recuperación de suelos degradados por el *Zingiber officinale* mediante compost avícola en la fenología del *Zea Maiz L.*"

I. RESULTADOS

Producto declarado		Suelo tratado	
Matriz analizada		Suelo tratado	
Fecha de muestreo		2025-10-30	
Hora de inicio de muestreo		14:21	
Condiciones de la muestra		Conservada	
Código del cliente		T3/2025	
Código del laboratorio		1902516-2025	
ENSAYO	UNIDAD	RESULTADOS	CALIFICACIÓN
pH	Unidad	8.28	Alcalino
CE ₁₅	mS/cm	3.17	Extremadamente salino
M.O	%	4.58	Alto
C org	%	3.12	Alto
N min	Kg/ha/año	98.68	Medio
P	mg/kg	70.56	Muy alto
K	mg/Kg	221.24	Alto
CO ₂ Ca	%	0.00	Muy bajo
CIC	meq/100	7.58	Medio
Ca ⁺⁺	meq/100	6.32	Medio
Mg ⁺⁺	meq/100	2.50	Bajo
K ⁺	meq/100	2.58	Muy Alto
Al+H	meq/100	0.00	Muy bajo
S.A.I	%	0.00	Muy bajo
Arena	%	70.36	Franco Arenoso
Arcilla	%	6.77	
Limo	%	22.87	

 Ing. TELLO PAUCAR MARILÚ
 SERVICIO GENERALES SAC

 Firmado con www.tocapu.pe

DIRECTOR TÉCNICO DE LABORATORIO


INFORME DE ENSAYO N°1902515-2025

Razón social o interesado : Elian D. Quispe Briceño & Angie J. Márquez Gines

Lugar de estudio : Libertad de Toterani/Fundo Santa Venita

Coordenadas :490178 m E – 8793858 m N

Altitud : 1.200 msnm

Código : Tratamiento 2

 Título de proyecto : "Recuperación de suelos degradados por el *Zingiber officinale* mediante compost avícola en la fenología del *Zea Maiz L.*"

I. RESULTADOS

Producto declarado		Suelo tratado	
Matriz analizada		Suelo tratado	
Fecha de muestreo		2025-10-30	
Hora de inicio de muestreo		14:15	
Condiciones de la muestra		Conservada	
Código del cliente		T2/2025	
Código del laboratorio		1902515-2025	
ENSAYO	UNIDAD	RESULTADOS	CALIFICACIÓN
pH	Unidad	7.58	Alcalino
CE ₁₅	mS/cm	2.11	Extremadamente salino
M.O	%	3.37	Medio
C org	%	2.60	Alto
N min	Kg/ha/año	56.48	Bajo
P	mg/kg	69.98	Muy alto
K	mg/Kg	152.17	Medio
CO ₂ Ca	%	0.00	Muy bajo
CIC	meq/100	6.79	Medio
Ca ⁺⁺	meq/100	6.32	Medio
Mg ⁺⁺	meq/100	2.50	Bajo
K ⁺	meq/100	1.78	Muy Alto
Al+H	meq/100	0.00	Muy bajo
S.A.I	%	0.00	Muy bajo
Arena	%	69.36	Franco Arenoso
Arcilla	%	5.77	
Limo	%	24.78	

 Ing. TELLO PAUCAR MARILÚ
 SERVICIO GENERALES SAC

 Firmado con www.tocapu.pe

DIRECTOR TÉCNICO DE LABORATORIO



Anexo 5. Panel fotográfico



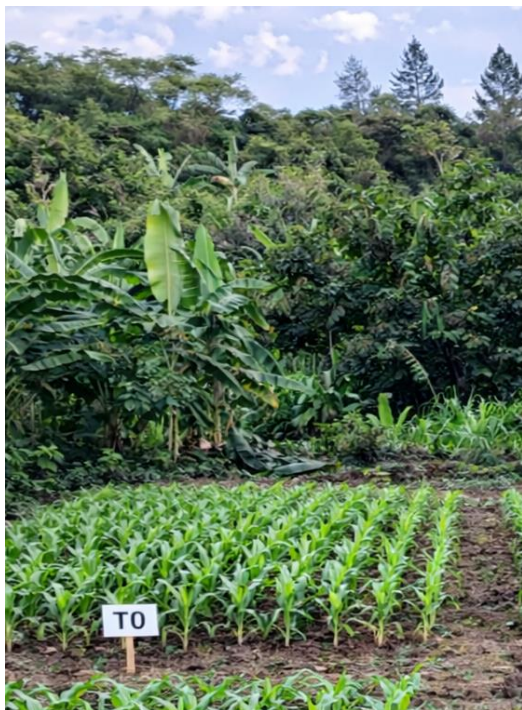
Nota. Acondicionamiento del terreno



Nota. Delimitación del área de muestreo de suelo mediante recorrido en zig-zag para la recolección de muestras destinadas a análisis fisicoquímico.



Nota. Recolección de compost avícola para su respectiva dosificación en las parcelas experimentales.



Nota. Etapa inicial del cultivo de *Zea mays L.*, caracterizada por la emergencia y establecimiento de plántulas en las parcelas experimentales.



Nota: Etapa vegetativa del cultivo de *Zea mays L.*, caracterizada por el desarrollo activo de hojas y tallo.



Nota. Muestras de maíz etiquetadas por tratamiento para secado y análisis.



(a) Secado en horno



(b) Pesaje de raíces



(c) Pesaje de raíces



(d) Pesaje de tallos



(e) Pesaje de mazorca

Nota. Muestras de plantas de *Zea mays* L. sometidas a secado en horno de laboratorio y posterior determinación de masa mediante el pesaje separado de raíz, tallo, hojas y mazorca, utilizando balanza digital.