UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE AGROPECUARIA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

"EVALUACIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS, HUMUS Y BIO COMPOST EN LA RECUPERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO EN LAS TERRAZAS DE BANCO, SALACHE. 2026"

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

Autora:

Cadena Sánchez Melanie Abigail

Tutor:

Castillo De La Guerra Clever Gilberto

LATACUNGA – ECUADOR

Agosto 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Cadena Sánchez Melanie Abigail, con cédula de ciudadanía No. 1755730627, declaro ser autora del presente Proyecto de Investigación: : **"EVALUACIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS, HUMUS Y BIO COMPOST EN LA RECUPERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO EN LAS TERRAZAS DE BANCO, SALACHE. 2026",** siendo el Ingeniero Clever Gilberto Castillo De La Guerra, Ph.D. tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

Latacunga, 3 de Agosto del 2026

Melanie Abigail Cadena Sánchez
C.C: 1755730627
ESTUDIANTE

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **CADENA SÁNCHEZ MELANIE ABIGAIL**, identificada con cédula de ciudadanía **1755730627** de estado civil casada, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - LA CEDENTE es una persona natural estudiante de la carrera de Agropecuaria titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado : **"EVALUACIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS, HUMUS Y BIO COMPOST EN LA RECUPERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO EN LAS TERRAZAS DE BANCO, SALACHE. 2026",** la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Octubre 2022 - Marzo 2023

Finalización de la carrera: Abril 2026 – Agosto 2026

Tutor: Ing. Clever Gilberto Castillo de la Guerra, Ph.D.

Tema: : **"EVALUACIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS, HUMUS Y BIO COMPOST EN LA RECUPERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO EN LAS TERRAZAS DE BANCO, SALACHE. 2026"**

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

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

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

a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
b) La publicación del trabajo de grado.

c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial

f) **CLÁUSULA QUINTA. -** El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

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

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

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

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

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

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

m) En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 3 días del mes de agosto de 2026.

Melanie Abigail Cadena Sánchez	Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
LA CEDENTE	**LA CESIONARIA**

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación sobre el título:

"EVALUACIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS, HUMUS Y BIO COMPOST EN LA RECUPERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO EN LAS TERRAZAS DE BANCO, SALACHE. 2026", de Cadena Sánchez Melanie Abigail, de la carrera de Agropecuaria, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 3 de Agosto del 2026

Ing. Clever Gilberto Castillo de la Guerra, Ph.D.
DOCENTE TUTOR
CC: 0501715494

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, la postulante: Cadena Sánchez Melanie Abigail, con el título de Proyecto de Investigación: **"EVALUACIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS, HUMUS Y BIO COMPOST EN LA RECUPERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO EN LAS TERRAZAS DE BANCO, SALACHE. 2026",** ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

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

Latacunga, 3 de Agosto del 2026

Ing. Santiago Jiménez, Mg.
C.C: 0501946263
LECTOR 1 (PRESIDENTE)

Ing. Juan Carlos Tapia, Mg.
C.C: 0503480154
LECTOR 2 (MIEMBRO)

Mvz. Edie Molina, Mg.
C.C: 1722547278
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, especialmente a la carrera de Agropecuaria por impartirme todos los conocimientos adquiridos durante esta etapa de mi vida, así como también a todos mis docentes, un infinito agradecimiento.

Agradezco a mi familia, por todos los consejos y apoyo incondicional que me brindaron durante todos estos años, también por darme un ejemplo de humildad, sacrificio y enseñarme el valor de las cosas.

A mis amistades, por ser unas excelentes personas y amigos/as; por formar parte de esta maravillosa etapa de mi vida, agradecerles por los buenos y malos momentos que pasamos juntos; por las experiencias y conocimientos que impartimos juntos durante estos años.

Y, por último, a mi tutor y guía Ing. Ph.D. Clever Castillo por su ayuda, paciencia y consejos brindados para el desarrollo de este proyecto.

Melanie Abigail Cadena Sánchez.

DEDICATORIA

A mi madre por ser ese ejemplo de mujer inteligente y valiente la cual me ha demostrado que en esta vida siempre hay q luchar por lo que quieres lograr.

A mi papi Luis por ser el hombre que me crió como su hija e implantó en mi muchos conocimientos y me enseño el valor del estudio.

A mi hermano el que siempre ha estado a mi lado y me enseño que se necesita poco para ser feliz.

A mi esposo el hombre que ha estado conmigo en las buenas y en las malas el hombre que me hizo sentirme amada y valorada.

A mi abuelita por todo el apoyo y amor que me tiene.

Este logro va dedicado para todos ustedes quienes fueron el impulso para no rendirme y vamos por muchos logros más.

Melanie Abigail Cadena Sánchez.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: "EVALUACIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS, HUMUS Y BIO COMPOST EN LA RECUPERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO EN LAS TERRAZAS DE BANCO, SALACHE. 2026"

Autora:
Melanie Abigail Cadena Sánchez

RESUMEN

La presente investigación se realizó en las terrazas de banco del Campus Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi (Ecuador), con el objetivo de evaluar enmiendas orgánicas humus de lombriz y bio-compost en dosis de 4, 8 y 12 t ha^{-1}; sobre la recuperación de las propiedades físicas y químicas del suelo y el crecimiento del pasto azul (Poa pratensis L.) como planta indicadora. Se implementó un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo factorial 2×3 y tres repeticiones, aplicando las enmiendas fraccionadamente a los 0, 30 y 60 días del ciclo vegetativo, con muestreos de suelo inicial y final a los (0 y 90 días) respectivamente para análisis físico-químico. Los resultados demostraron que los tratamientos con dosis de 12 t ha^{-1}, como H12 (humus) y C12 (bio-compost), lograron los mayores incrementos en nitrógeno (15–16 ppm), materia orgánica (0,82–0,85 %), potasio, calcio y magnesio, además de reducir el pH de 9,93 a valores entre 8,50 y 8,60. La textura del suelo se mantuvo como franco limoso, sin cambios significativos en la proporción de arena, limo y arcilla dado que el periodo de investigación fueron 4 meses. El pasto azul mostró un curva de crecimiento normal y la biomasa fué superior en los tratamientos con 12 t ha^{-1}, destacando H12 con la mayor altura promedio (51,36 cm) y rendimiento de materia fresca (3,19 kg m^{-2}). El análisis económico reveló que, aunque los tratamientos con humus representaron mayor costo, el bio-compost resultó más rentable sin comprometer la efectividad agronómica. Se concluye que la aplicación de enmiendas orgánicas en dosis de 12 t ha^{-1} es una alternativa viable y eficaz para restaurar las propiedades químicas y físicas de suelos degradados en terrazas de banco, promoviendo una agricultura sostenible en la región andina.

Palabras clave: Enmiendas orgánicas, humus de lombriz, bio-compost, propiedades físico-químicas del suelo, pasto azul (Poa pratensis L).

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

THEME: "EVALUATION OF ORGANIC AMENDMENTS, HUMUS AND BIO-COMPOST FOR THE RECOVERY OF SOIL PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES ON THE BENCH TERRACES, SALACHE. 2026"

Author:
Melanie Abigail Cadena Sánchez

ABSTRACT

This study was carried out on the bench terraces at the Salache Campus, Universidad Técnica de Cotopaxi (Ecuador), with the aim of evaluating the effects of organic amendments earthworm humus and bio-compost at rates of 4, 8 and 12 t ha^{-1} on the recovery of soil physical and chemical properties and the growth of bluegrass (Poa pratensis L.) as an indicator plant. A completely randomized block design with a 2×3 factorial arrangement and three replicates was implemented, the soil amendments were applied fractionally at 0, 30 and 60 days of the vegetative growth cycle, and initial and final soil samples taken at 0 and 90 days respectively for physico-chemical analysis. The results showed that treatments with doses of 12 t ha^{-1}, such as H12 (humus) and C12 (bio-compost), achieved the greatest increases in nitrogen (15–16 ppm), organic matter (0.82–0.85 per cent), potassium, calcium and magnesium, as well as reducing the pH from 9.93 to values between 8.50 and 8.60. The soil texture remained silty loam, with no significant changes in the proportions of sand, silt and clay, given that the study period was four months. Bluegrass exhibited a normal growth curve and biomass was higher in the treatments with 12 t ha^{-1}, with H12 standing out as having the highest average height (51.36 cm) and fresh matter yield (3.19 kg m^{-2}). The economic analysis revealed that, although the treatments with humus entailed higher costs, the bio-compost proved to be more cost-effective without compromising agronomic effectiveness. It is concluded that the application of organic amendments at a rate of 12 t ha^{-1} is a viable and effective alternative for restoring the chemical and physical properties of degraded soils on bench terraces, thereby promoting sustainable agriculture in the Andean region.

Keywords: Organic amendments, earthworm humus, bio-compost, soil physico-chemical properties, blue grass (Poa pratensis L).

ÍNDICE

DECLARACIÓN DE AUTORÍA ..... *ii*

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR..... *iii*

AVAL DE LA TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN ..... *vi*

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN ..... *vii*

AGRADECIMIENTO ..... *viii*

DEDICATORIA..... *ix*

RESUMEN ..... *x*

ABSTRACT ..... *xi*

1. INFORMACIÓN GENERAL *1*

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO..... *2*

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO *4*

3.1. Beneficiarios Directos **4**

3.2. Beneficiarios Indirectos **4**

4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN *4*

4.1. Planteamiento del Problema **4**

5. OBJETIVOS *6*

5.1. General..... **6**

5.2. Específicos **6**

6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS..... *7*

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA *9*

7.1. Eficacia de las enmiendas orgánicas: conceptualización integral y métricas de desempeño **9**

7.2. Enmiendas orgánicas: definición, tipología y mecanismos de acción restauradora..... **10**

7.3. El humus: propiedades emergentes y reactividad en suelos degradados **11**

7.4. Biocompost: tecnología de estabilización acelerada y enriquecimiento funcional **15**

7.5. Recuperación de las propiedades físicas del suelo en terrazas de banco **19**

7.6. Recuperación de las propiedades químicas del suelo en terrazas de banco **20**

7.7. Contexto geográfico y agronómico de las terrazas de banco en Salache.... **21**

7.8. El pasto azul (Poa pratensis L.) como planta indicadora de la recuperación edáfica22

8. VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS..... *23*

8.1. Hipótesis nula (H): **23**
8.2. Hipótesis alternativa (Ha): **23**
9. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL ***24***
9.1. Ubicación del Experimento **24**
9.2. Limpieza del área experimental **25**
9.3. Distribución en campo y establecimiento de unidades experimentales **25**
9.4. Muestreo inicial de suelo y establecimiento de la línea base **27**
9.5. Cálculo y aplicación del humus de lombriz (tratamientos H4, H8, H12) ... **28**
9.6. Cálculo y aplicación del bio-compost (DOSIS C4, C8 y C12) **29**
9.7. Muestreo final de suelos y preparación de muestras compuestas por tratamiento **30**
9.8. Siembra del pasto azul (Poa pratensis L.) y sistema de riego **31**
9.9. Medición de la altura del pasto azul (método del cuadrante) **32**
9.10. Medición de biomasa metodo del cuadrante **32**
10. DISEÑO EXPERIMENTAL ***33***
10.1. Tipo de diseño **33**
10.2. Factores de estudio **33**
10.3. Tratamientos **33**
10.4. TABLA 4 : CÓDIGO, EMIENDA Y DOSIS **34**
10.5. Repeticiones **34**
10.6. Unidad experimental **34**
10.7. Aleatorización **34**
10.8. Variables respuesta **34**
10.9. Modelo estadístico **35**
11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS ***36***
11.1. Resultado 1: Informe comparativo de propiedades químicas a los 90 días análisis de suelo S4 INIAP **36**
11.2. Resultado 2: Informe comparativo de propiedades físicas a los 90 días análisis de suelo S4 INIAP **38**
11.3. Resultado 3: Análisis estadísticos de altura de planta en pasto azul **40**
11.4. Resultado 4: Análisis de producción de pasto azul (Pennisetum purpureum) por m2 **50**
11.5. Comparaciones múltiples (Tukey HSD) **51**

11.6. Resultado 5:Análisis de costos por materia orgánica, dosis y tratamiento . 57

12. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)..... *58*

13. PRESUPUESTO DEL PROYECTO *60*

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES *61*

15. BIBLIOGRAFÍA *63*

15. ANEXOS ..... *¡Error! Marcador no definido.*

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

"EVALUACIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS, HUMUS Y BIO COMPOST EN LA RECUPERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO EN LAS TERRAZAS DE BANCO, SALACHE. 2026"

Fecha de inicio:

Marzo 2026

Fecha de finalización:

Agosto 2026

Lugar de ejecución:

Barrio Salache- Parroquia Eloy Alfaro - Universidad Técnica de Cotopaxi- Cantón Latacunga - Provincia de Cotopaxi- Zona 3.

Facultad que auspicia

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

Carrera que auspicia:

Carrera de Agropecuaria

Equipo de Trabajo:

Tutor: Dr.Clever Gilberto Castillo De La Guerra, PhD

Autora: Melanie Abigail Cadena Sánchez

Lector 1: Ing. Santiago Jiménez, Mg

Lector 2: Ing. Juan Carlos Tapia, Mg

Lector 3: Mvz. Edie Molina, Mg

Colaborador: Ing. Jhinson Martinez, Mg

Coordinador del Proyecto:

Nombre: Cadena Sánchez Melanie Abigail

Teléfonos: 0969047104

Correo electrónico: melanie.cadena0627@utc.edu.ec

Área de Conocimiento:

Agricultura -Agricultura, silvicultura y pesca- Agricultura, horticultura y jardinería.

Línea de investigación:

Línea 1: Análisis, conservación y aprovechamiento racional de la biodiversidad, fauna y recursos naturales para el desarrollo sustentable y la prevención de desastres naturales.

La biodiversidad forma parte Intangible del patrimonio nacional: en la agricultura, en la medicina, en actividades pecuarias, incluso en ritos, costumbres y tradiciones culturales. Esta línea está enfocada en la generación de conocimiento para un mejor aprovechamiento de la biodiversidad y los recursos naturales, basado en la caracterización agronómica, morfológica, genómica, física, usos ancestrales de los recursos naturales, la adecuada atención al cambio climático y los ecosistemas frágiles, permitiendo el desarrollo de planes de manejo, producción, equidad social y conservación del patrimonio natural, así como el uso racional de los recursos naturales para reducir y mitigar riesgos naturales.

Sub línea de investigación:

Manejo sostenible de cultivos y tecnologías de agricultura de precisión conservando la biodiversidad.

Línea de vinculación:

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

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La presente investigación, enfocada en la eficacia de enmiendas orgánicas como humus y Bio-compost para la recuperación de suelos erosionados en las terrazas de banco de Salache durante el 2026, se fundamenta en una problemática productiva ambiental que demanda soluciones inmediatas y sostenibles.

A escala mundial, la FAO estima que 1 660 millones de hectáreas se han degradado debido a las actividades humanas y más del 60 % de esta degradación afecta a terrenos

agrícolas, en particular tierras de cultivo y pastizales. Dado que el 95 % de la producción mundial de alimentos depende de la tierra, esta degradación generalizada plantea importantes desafíos para los sistemas agroalimentarios.

La zona de Salache, como gran parte de la región interandina, presenta suelos que han sido sometidos a prácticas de manejo intensivo. Las terrazas de banco, si bien es un método ancestral para controlar la erosión hídrica y ganar superficie cultivable en pendiente, a menudo sufren de un proceso de degradación apresurada. (Guanotasig, 2021)

La construcción de estas terrazas implica el corte y relleno del perfil del suelo, dejando expuesto el subsuelo, el cual es escaso en materia orgánica, nutrientes y actividad biológica. Esta situación se agrava con las precipitaciones estacionales, que continúan degradando la capa superficial del suelo. (David, 2022)

La investigación se realiza porque hay un requerimiento crítico de devolver la funcionalidad ecológica y productiva a estos suelos, y se desconoce con exactitud, a nivel local, la eficacia comparativa del humus y el Bio-compost en estas condiciones específicas de alta degradación. La dependencia de fertilizantes químicos como solución inmediata no aborda la causa raíz del problema.(Endara, 2024)

Desde el punto de vista teórico, esta investigación aportara datos reales sobre la dinámica de recuperación de un suelo de terraza de banco mediante el uso de enmiendas orgánicas. Permite comprender cómo responden variables físicas (textura del suelo, retención de humedad) y químicas (pH, disponibilidad de macronutrientes y micronutrientes).

Desde el punto de vista práctico, la investigación generará una recomendación basada en evidencia sobre cuál de las dos enmiendas, y en qué posible dosificación, es más eficaz para acelerar la recuperación de la fertilidad y la estructura del suelo.

Los beneficiarios son las comunidades académicas, los pequeños y medianos agricultores de zonas de ladera que usan terrazas, El impacto es ambiental, económico, y sociocultural, al revalorizar y modernizar el conocimiento ancestral de las terrazas, evitando su abandono y fortaleciendo la identidad agrícola local, todo esto se alinea con los ODS de Hambre Cero, Acción por el Clima y Vida de Ecosistemas Terrestres.

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

3.1. Beneficiarios Directos

Estudiantes de las carreras de agropecuaria con 220, agronomía 280 y 78 docentes de la facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales y la comunidad Universitaria

3.2. Beneficiarios Indirectos

Los principales beneficiarios son los pequeños y medianos agricultores del barrio Salache, parroquia Eloy Alfaro y los productores de la provincia de Cotopaxi y la región interandina que utilizan sistemas de terrazas así como también los beneficiarios de vinculación

4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

4.1. Planteamiento del Problema

La degradación del suelo es una de las crisis ambientales más silenciosas y devastadoras a nivel global. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) estima que más del 33% de los suelos del planeta se encuentran de moderada a altamente degradados debido a la erosión, la salinización, la compactación y la pérdida de materia orgánica (FAO, 2018).

Esta situación se torna crítica en ecosistemas de montaña, donde las fuertes pendientes, sumadas a lluvias estacionales intensas y prácticas agrícolas inadecuadas, aceleran la pérdida del horizonte superficial fértil, amenazando la seguridad alimentaria de millones de personas y la integridad de servicios ecosistémicos vitales, como la regulación hídrica.(Comite de Seguridad Alimentaria Mundial, 2016)

En la región interandina del Ecuador, el problema se manifiesta de forma aguda. Estudios realizados por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) han documentado que la provincia de Cotopaxi presenta índices alarmantes de erosión, con pérdidas de suelo que pueden superar las 50 toneladas por hectárea al año en laderas sin prácticas de conservación.(Zambrano Mendoza, 2023) Frente a esta realidad, las terrazas de banco surgieron como una estrategia ancestral y técnica para controlar la escorrentía y

habilitar terrenos inclinados para la agricultura. Sin embargo, el proceso constructivo de estas terrazas conlleva un impacto severo e irreversible en el perfil edáfico original. (David, 2022)

El corte y relleno del terreno deja expuesto el subsuelo, el cual, en la zona de Salache, está compuesto típicamente por materiales de origen volcánico como la cangahua (toba volcánica endurecida) y horizontes B de suelos Mollisoles o Andisoles truncados. Estos materiales se caracterizan por una fertilidad natural muy baja, contenidos de materia orgánica inferiores al 1%, una estructura masiva y compacta que limita la infiltración del agua, y una casi nula actividad biológica. (Garro, 2016)

Las prácticas comunes en terrazas nuevas o degradadas es la aplicación intensiva de fertilizantes de síntesis química, una solución de corto plazo que no regenera la matriz coloidal del suelo y que, con el tiempo, puede agravar la acidificación y la degradación de su ya precaria estructura física.(Navas Daniel Gonzalo & Troya Sarzosa Jorge Fabián Mg, 2020)

El caso específico de las unidades experimentales de Salache, pertenecientes a la Universidad Técnica de Cotopaxi, constituye un ejemplo representativo de esta problemática. Los suelos de estas terrazas, tras años de uso experimental y exposición a los elementos, presentan signos evidentes de erosión laminar y degradación estructural progresiva.(Endara, 2024)

La situación actual se caracteriza por un suelo superficialmente sellado y encostrado, con muy baja tasa de infiltración de agua, pedregosidad superficial elevada, aparición de parches estériles donde la vegetación espontánea no logra establecerse, y una marcada deficiencia en la capacidad de retención de humedad. (David, 2022)

Datos preliminares de observación en campo sugieren un contenido de materia orgánica consistentemente por debajo del umbral crítico del 2%, lo que se traduce en una capacidad de intercambio catiónico (CIC) deprimida y, por tanto, en una incapacidad del suelo para retener nutrientes esenciales, volviéndolo improductivo sin una intervención correctiva de fondo que ataque la causa raíz: la pérdida de las propiedades físicas y químicas fundamentales del suelo.(Guanotasig, 2021)

El escaso conocimiento impide diseñar estrategias de restauración calibradas a la realidad específica de los suelos truncados de terraza y a la disponibilidad real de materiales orgánicos por parte de los agricultores de la zona.

La relevancia de abordar esta problema radica en la necesidad urgente de transitar de una visión puramente química de la fertilización a un enfoque de regeneración integral del suelo que priorice la recuperación de sus propiedades físicas y químicas. No hacerlo condena a estas terrazas al abandono productivo, fomentando indirectamente la expansión de la frontera agrícola hacia páramos y bosques nativos, con consecuencias nefastas para la captación y regulación hídrica en la cuenca del río Cutuchi.

La presente investigación se sitúa, por lo tanto, en la recuperacion de las propiedades fisicas y quimicas para contribuir a una agricultura sostenible, buscando generar evidencias reales de recuperación de suelos locales que permita recomendar una estrategia de enmienda orgánica con dosis validadas, que sea técnica, económica y ambientalmente viable para el contexto andino.

5. OBJETIVOS

5.1.General

Evaluar las enmiendas orgánicas, humus y bio-compost en la recuperación de las propiedades fisicas y quimicas del suelo en las terrazas de banco, salache. 2026

5.2.Específicos

5.2.1. Evaluar el efecto de la aplicación de humus y bio-compost en la recuperación de las propiedades físicas y químicas del suelo.

5.2.2. Comparar la respuesta de la planta indicadora pasto azul (Poa pratensis L.) frente a diferentes dosis de humus y Bio – compost**.**

5.2.3. Analizar los costos por materia organica, dosis y tratamiento.

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

TABLA 1: ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

OBJETIVOS	ACTIVIDAD	METODOLOGÍA	RESULTADOS
Evaluar el efecto de la aplicación de humus y bio-compost en la recuperación de las propiedades físicas y químicas del suelo.	Adecuación del área experimental, aplicación de los tratamientos, muestreo inicial y final del suelo y análisis de laboratorio.	Se realizó la limpieza y delimitación del área experimental bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con arreglo factorial 2×3. Se aplicaron humus y bio-compost en dosis de 4, 8 y 12 t ha^{-1}. Se efectuó un muestreo inicial del suelo para establecer la línea base y un muestreo final a los 90 días, enviando las muestras al laboratorio del INIAP para determinar propiedades físicas (textura) y químicas (pH,	Determinación del efecto de cada tratamiento sobre las propiedades físicas y químicas del suelo e identificación de la dosis con mayor potencial para la recuperación de la fertilidad del suelo.

		materia orgánica, N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, B). Los resultados fueron analizados mediante estadística descriptiva y comparación con la línea base.	
Comparar la respuesta de la planta indicadora pasto azul (*Poa pratensis* L.) frente a diferentes dosis de humus y bio-compost.	Siembra del pasto azul, manejo agronómico, medición de altura y biomasa de la planta.	Después de la aplicación de las enmiendas se sembró *Poa pratensis* L. y se estableció un sistema de riego uniforme. La altura de las plantas se evaluó cada 15 días hasta los 90 días mediante el método del cuadrante, mientras que la biomasa se determinó al finalizar el ensayo. Los datos fueron analizados mediante ANOVA y prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0,05$).	Comparación del crecimiento y producción de biomasa del pasto azul entre tratamientos, identificando la dosis y tipo de enmienda que generó la mejor respuesta vegetal.
Analizar los costos por materia orgánica, dosis y tratamiento.	Registro y análisis de los costos de producción e implementación de los tratamientos.	Se registraron los costos de adquisición de humus y bio-compost, transporte, mano de obra, aplicación de las enmiendas, siembra, riego y análisis de laboratorio. Posteriormente se elaboró	Determinación del costo total de cada tratamiento y selección de la alternativa más rentable para la recuperación de suelos degradados mediante enmiendas

	un análisis comparativo de costos por tratamiento y por dosis para determinar la alternativa con mayor eficiencia económica.	orgánicas.

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

7.1. Eficacia de las enmiendas orgánicas: conceptualización integral y métricas de desempeño

La eficacia agronómica no puede reducirse a un incremento inmediato en el rendimiento del cultivo; constituye un fenómeno multidimensional que expresa la capacidad de una intervención para restaurar las funciones ecosistémicas del suelo.

Se entiende por eficacia de una enmienda orgánica la magnitud y sostenibilidad con que ésta logra recomponer la arquitectura física, reactivar los ciclos biogeoquímicos y reensamblar las redes tróficas edáficas (Lal, 2016).

Dicha eficacia debe evaluarse mediante indicadores compuestos que integren propiedades emergentes como la supresividad natural, la eficiencia en el uso del agua y la estabilidad del carbono orgánico secuestrado (Bünemann et al., 2018). En suelos estructuralmente perturbados, como las terrazas de banco, la eficacia se alcanza cuando el sistema suelo supera un umbral de funcionalidad autoorganizada, es decir, cuando la biota edáfica asume progresivamente el control de la agregación y del reciclaje de nutrientes, reduciendo la dependencia de insumos externos (Andrews et al., 2004; Karlen et al., 1997).

Desde la óptica de la restauración, la eficacia se manifiesta en tres dominios complementarios: (1) dominio físico, donde la enmienda debe reducir la densidad aparente y aumentar la capacidad de retención de agua disponible; (2) dominio químico, que exige incrementar la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la reserva de nutrientes lábiles; y (3) dominio biológico, donde el desencadenamiento de una

explosión de actividad microbiana constituye el motor que articula los dos dominios anteriores (Bastida et al., 2008; Tejada et al., 2009). La eficacia no es una propiedad intrínseca del material orgánico, sino una resultante de la interacción entre la reactividad de la enmienda, las condiciones edafoclimáticas del sitio y el tiempo transcurrido desde su incorporación (Diacono & Montemurro, 2010). Por ello, para las terrazas de Salache, la evaluación de la eficacia en el horizonte 2026 requiere diseños experimentales que capturen la evolución temporal de un set mínimo de indicadores (respiración basal, estabilidad de agregados, CIC, pH y materia orgánica total), analizados bajo el concepto de salud del suelo (Doran & Zeiss, 2000).

7.2. Enmiendas orgánicas: definición, tipología y mecanismos de acción restauradora

Las enmiendas orgánicas son materiales de origen biológico, no tratados químicamente de forma severa, cuya incorporación al suelo tiene por objeto prioritario la mejora de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, y solo secundariamente el suministro inmediato de nutrientes (Senesi & Loffredo, 2018). Se diferencian de los fertilizantes orgánicos por su mayor complejidad molecular, relación C/N más amplia y lenta tasa de mineralización, lo que favorece la acumulación de humus estable (Stevenson, 1994).

Su clasificación funcional distingue cuatro categorías: (a) materiales frescos o poco transformados, como estiércoles crudos, purines y abonos verdes, caracterizados por una alta proporción de compuestos lábiles que disparan rápidamente la actividad microbiana; (b) materiales compostados, en los cuales una fase termofílica ha higienizado y estabilizado parcialmente la materia orgánica; (c) materiales vermicompostados o humus de lombriz, donde la acción conjunta de lombrices y microorganismos genera un producto con alto contenido de sustancias húmicas, fitohormonas y enzimas; y (d) materiales pirogénicos, como el biochar, que destacan por su elevada aromaticidad y porosidad, ofreciendo refugio microbiano y una recalcitrancia que prolonga su efecto sobre las propiedades físicas (Lehmann et al., 2011; Agegnehu et al., 2017).

La idoneidad de una enmienda para la recuperación de suelos decapitados radica en su capacidad para suplir de manera simultánea las carencias estructurales y la pobreza biológica del material subsuperficial expuesto (Ros et al., 2003).

En terrazas de banco donde el horizonte A ha sido eliminado, la selección debe privilegiar materiales con una fracción humificada importante y baja relación C/N final (<20), que garanticen la formación de complejos organominerales y la liberación gradual de nitrógeno (Bonanomi et al., 2018).

En el contexto andino de Salache, se dispone de estiércol de ganado lechero, residuos de cosecha (paja de cebada, rastrojo de maíz) y material procedente de podas, que pueden transformarse localmente en compost, biocompost y humus de lombriz, integrando un modelo circular de restauración (GAD Cotopaxi, 2020).

7.3.El humus: propiedades emergentes y reactividad en suelos degradados

El humus, entendido en la práctica agronómica andina como el producto del vermicompostaje con lombrices rojas californianas (*Eisenia fetida*), representa un material de elevada madurez y estabilidad biológica. Su singularidad radica en la combinación de tres fracciones funcionales: (1) una fracción orgánica estabilizada rica en ácidos húmicos y fúlvicos, que incrementa drásticamente la CIC y amortigua el pH; (2) una fracción mineral fina que, tras el paso por el tracto digestivo de la lombriz, se presenta íntimamente asociada a la materia orgánica, facilitando la microagregación; y (3) una fracción biológicamente activa que contiene enzimas extracelulares (ureasa, fosfatasa, deshidrogenasa) y fitohormonas (auxinas, giberelinas) que estimulan el crecimiento radicular y la germinación (Domínguez et al., 2019; Atiyeh et al., 2000).

Desde el punto de vista químico, la abundancia de grupos funcionales carboxílicos y fenólicos en los ácidos húmicos del humus de lombriz le confiere una CIC que oscila entre 200 y 400 cmolc kg^{-1} de materia orgánica, valor que puede incrementar en un 40-60 % la CIC efectiva de un suelo arenoso con bajo contenido de arcilla (Stevenson, 1994; Edwards & Arancon, 2004).

En el dominio físico, el humus promueve la formación de macroagregados estables al agua mediante el mecanismo de núcleos orgánicos y puentes catiónicos, reduciendo la

densidad aparente y aumentando la macroporosidad (Tisdall & Oades, 1982; Bronick & Lal, 2005).

Estas propiedades convierten al humus de lombriz en una enmienda estratégica para las terrazas de Salache, donde la baja estabilidad de agregados y la limitada CIC constituyen factores primarios de degradación (Villacís & Álvarez, 2017).

TABLA 2: FICHA TÉCNICA DEL HUMUS DE LOMBRIZ COMERCIAL MEGAGRO

Parámetro	**Valor típico**	**Observaciones y Referencias**
Materia orgánica total	40 – 60 % s.m.s.	Base de la enmienda. Un mínimo del 40% es un estándar de calidad común en productos comerciales
Relación C/N	10 – 15	Indicador clave de madurez y estabilidad
Nitrógeno total (N)	1,5 – 3 %	Mayoritariamente orgánico. El proceso de vermicompostaje lo enriquece frente al compost tradicional
Fósforo (P_2O_5)	2 – 5 %	La acción digestiva de la lombriz incrementa su solubilidad
Potasio (K_2O)	1 – 3 %	Muy soluble y fácilmente asimilable.
Ácidos húmicos	8 – 15 %	Responsables de la bioestimulación y la quelatación
pH	6,5 – 7,5	La neutralidad del pH es un rasgo distintivo del vermicompost maduro
Conductividad eléctrica	1 – 3 dS/m	Un valor bajo asegura que no provoca salinidad, apto para semilleros.
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	80 – 120 meq/100g	Una CIC alta es un indicador directo de su capacidad para retener nutrientes

Flora microbiana	10^8 – 10^{10} UFC/g	Incluye bacterias, actinomicetos y hongos benéficos. Esta carga biológica es el motor de su acción
Patógenos y semillas de malas hierbas	Ausentes	El paso por el intestino de la lombriz y el calor del proceso los eliminan

7.3.1. Mineralización del Humus de Lombriz

La mineralización es el proceso de transformación de nutrientes orgánicos en formas minerales asimilables por las plantas.

Mineralización "predigerida": La actividad combinada de las enzimas digestivas de la lombriz y la microflora de su intestino provoca una mineralización parcial de la materia orgánica, resultando en excretas con mayor concentración de nitratos y fosfatos solubles que el material original (Atiyeh et al., 2000).

Mineralización lenta en el suelo: Una vez aplicado, el humus actúa como un fertilizante de liberación lenta. Su baja relación C/N (10–15) y el alto grado de humificación evitan la típica "hambre de nitrógeno" y los picos de salinidad. La mineralización de la fracción orgánica restante es gradual, sincronizándose con la demanda de la planta durante su ciclo de cultivo (Edwards & Arancon, 2010).

7.3.2. ¿Cómo Actúa el Humus de Lombriz Comercial?

Acción Física sobre el Suelo

Estructura y porosidad: Los polisacáridos y ácidos húmicos actúan como agentes cementantes que forman agregados estables en el suelo, mejorando la aireación y la infiltración del agua (Stevenson, 1994).

Retención hídrica: Debido a su alta superficie específica y porosidad, el humus incrementa significativamente la capacidad de retención de agua del suelo.

Acción Química y Nutricional

Nutrición de liberación lenta: Aporta un suministro constante y equilibrado de macro y micronutrientes (Ndegwa & Thompson, 2001).

Quelatación de nutrientes: Los ácidos húmicos y fúlvicos forman complejos estables con micronutrientes como el hierro, manteniéndolos solubles y disponibles para la planta incluso en suelos con pH adverso (Stevenson, 1994).

Acción Biológica y Bioestimulante

Inóculo microbiano: El vermicompost introduce una vasta comunidad de microorganismos benéficos que colonizan la rizosfera, compitiendo y suprimiendo patógenos por antagonismo (Edwards & Arancon, 2010).

Efecto fitohormonal: Se ha demostrado que el humus de lombriz contiene sustancias húmicas y metabolitos microbianos con efectos similares a las fitohormonas (auxinas, giberelinas), que estimulan el crecimiento radicular y el vigor general de la planta de manera directa (Atiyeh et al., 2002).

Supresión de Enfermedades

La actividad biológica del humus es capaz de inducir resistencia sistémica en las plantas (ISR, por sus siglas en inglés), "activando" sus mecanismos de defensa

naturales contra un amplio espectro de patógenos, incluyendo hongos como *Pythium* y *Fusarium* (Edwards & Arancon, 2010).

7.4.Biocompost: tecnología de estabilización acelerada y enriquecimiento funcional

El biocompost es el producto de un proceso de compostaje en el que se inoculan consorcios microbianos seleccionados (bacterias celulolíticas, actinomicetos, hongos ligninolíticos) y/o se adicionan materiales complementarios, como biochar, para optimizar la eficiencia del proceso y las propiedades del producto final. Esta biotecnología permite reducir el tiempo de estabilización, aumentar la temperatura termofílica y obtener un material con supresividad natural frente a fitopatógenos edáficos (Pane et al., 2016; Bonanomi et al., 2018).

La sinergia entre compost y biochar, conocida como bio-compostaje, es particularmente relevante: el biochar proporciona una elevada área superficial y porosidad que aloja microorganismos benéficos, mientras que el compost aporta nutrientes lábiles y una carga microbiana inicial que acelera la colonización del biochar, generando un material híbrido de liberación lenta y prolongada actividad biológica (Agegnehu et al., 2017).

Químicamente, el bio-compost exhibe una relación C/N equilibrada (12-18) y una concentración significativa de fósforo y potasio biodisponibles, resultado de la actividad fosfatasa y de la solubilización microbiana (Thangarajan et al., 2013).

En suelos volcánicos o derivados de ceniza, donde la fijación de fósforo es un problema severo, el bio-compost ofrece una estrategia de liberación lenta que sortea parcialmente la retención mineral, incrementando la eficiencia de uso del fósforo (Borie & Rubio, 2003).

7.4.1. TABLA 3: FICHA TÉCNICA DE BIOCOMPOST MEGAGRO

Parámetro	Valor típico / Rango	Observaciones y sustento
Materia orgánica total	35 – 50 %	Aporta el carbono necesario para la microbiota del suelo. Un contenido superior al 35 % es indicador de un compost de calidad agronómica
Nitrógeno total (N)	1,5 – 2,5 %	Predomina la forma orgánica, lo que garantiza una liberación gradual
Fósforo asimilable (P_2O_5)	1,0 – 2,5 %	La mineralización de la materia orgánica durante el compostaje incrementa la disponibilidad del fósforo
Potasio soluble (K_2O)	1,0 – 2,0 %	Altamente disponible y fundamental para la floración y la resistencia al estrés hídrico.
Calcio (CaO)	3,0 – 6,0 %	Favorece la agregación del suelo y el equilibrio catiónico.
Relación C/N	12 – 18	Rango que indica madurez y estabilidad biológica; evita la inmovilización de nitrógeno en el suelo
Ácidos húmicos	4 – 10 %	Responsables de la quelatación de nutrientes y de efectos bioestimulantes sobre las plantas
Ácidos fúlvicos	2 – 5 %	Fracción de bajo peso molecular que mejora la absorción de microelementos y activa rutas metabólicas
pH	6,0 – 7,5	Un pH cercano a la neutralidad es característico de compost bien madurado y apto para todo tipo de cultivos
Conductividad eléctrica (1:5)	≤ 3 dS/m	Valores bajos confirman la ausencia de fitotoxicidad salina, permitiendo su uso en semilleros y plantas sensibles.
Carga microbiana benéfica	≥ 1×10^7 UFC/g	Incluye bacterias promotoras del crecimiento vegetal como Bacillus spp. y Azotobacter spp., que actúan como biofertilizantes y agentes de control biológico

Humedad	25 – 35 %	Nivel que mantiene la actividad biológica sin dificultar la aplicación mecánica.
Patógenos y semillas de malas hierbas	Ausentes	Garantía de la fase termofílica del compostaje (≥55 °C) y de un producto final higienizado

7.4.2. Mineralización del Biocompost

La liberación de nutrientes a partir del Biocompost ocurre en dos fases bien diferenciadas:

Fase inmediata (nutrientes solubles): Una pequeña fracción de compuestos nitrogenados (nítrico y amoniacal), potasio y fósforo soluble está inmediatamente disponible tras la aplicación. Esto proporciona un efecto de arranque en los primeros 15 días, similar al de un fertilizante de rápida acción (Epstein, 1997).

Fase de mineralización lenta: La mayor parte del nitrógeno y del fósforo forma parte de compuestos húmicos estabilizados. La relación C/N entre 12 y 18 evita la inmovilización de nitrógeno por los microorganismos del suelo (Haug, 1993) y permite que la mineralización se prolongue de manera continua durante 8 a 12 semanas. Durante este período, la actividad microbiana transforma el N orgánico en amonio (NH_4^+) y luego en nitrato (NO_3^-), sincronizándose con los picos de demanda de los cultivos.Asimismo, la adición de este material orgánico desencadena un efecto “priming” o de activación, estimulando a la microbiota nativa para que mineralice también reservas orgánicas preexistentes en el suelo (Kuzyakov et al., 2000). Factores como la humedad, la temperatura (>15 °C) y una buena aireación aceleran este proceso.

7.4.3. ¿Cómo Actúa el Biocompost?

Acción Física (Mejorador del suelo)

Formación de estructura: Los polisacáridos microbianos y los ácidos húmicos actúan como agentes cementantes que unen las partículas minerales en agregados estables, mejorando la porosidad y la resistencia a la compactación (Stevenson, 1994).

Retención hídrica: La materia orgánica puede retener varias veces su peso en agua, incrementando la capacidad de campo del suelo y reduciendo la frecuencia de riego (Haug, 1993).

Acción Química (Nutrición y quelatación)

Fertilización de liberación controlada: Suministra N, P, K, Ca, Mg y micronutrientes de forma gradual, evitando pérdidas por lixiviación (Epstein, 1997).

Quelatación natural: Los ácidos húmicos y fúlvicos envuelven a los micronutrientes (Fe, Zn, Mn) formando complejos orgánicos que los mantienen solubles y absorbibles incluso en suelos con pH adverso (Stevenson, 1994; Canellas et al., 2015).

Acción Biológica y Bioestimulante

Inóculo de microorganismos benéficos: La carga microbiana introducida coloniza la rizosfera y compite por nichos y nutrientes con patógenos como Fusarium y Rhizoctonia, reduciendo su incidencia (Vessey, 2003). El fabricante declara la presencia de cepas seleccionadas con estas capacidades (Megaagro, s.f.).

Efecto fitohormonal: Las sustancias húmicas y los metabolitos microbianos pueden estimular la producción endógena de fitohormonas (auxinas, giberelinas) o actuar como análogos de estas, promoviendo el enraizamiento, el crecimiento vegetativo y la tolerancia al estrés (Canellas et al., 2015).

Inducción de resistencia sistémica (ISR): Algunos microorganismos presentes en compost maduros “entrenan” los mecanismos de defensa de la planta, preparándola para responder más rápido y con mayor intensidad ante ataques de patógenos y plagas (Vessey, 2003).

7.5. Recuperación de las propiedades físicas del suelo en terrazas de banco

La construcción de terrazas de banco implica el corte y relleno de laderas, resultando en la exposición de horizontes subsuperficiales (B o C) con textura predominantemente franco-arenosa a arenosa-franca, prácticamente desprovistos de materia orgánica y con una estructura masiva o de grano suelto (Derpsch et al., 2014).

La degradación física se manifiesta en valores elevados de densidad aparente (>1.5 g cm^{-3}), baja porosidad total (<45 %), escasa estabilidad de agregados al agua y una conductividad hidráulica saturada que favorece el encostramiento superficial y la escorrentía (Tarolli et al., 2014).

La incorporación de enmiendas orgánicas desencadena un proceso de reestructuración que opera a múltiples escalas: a nivel de microagregados (<250 µm), las sustancias húmicas y los polisacáridos microbianos actúan como agentes cementantes que unen partículas primarias de arena y limo; a nivel de macroagregados (>250 µm), las hifas de hongos saprófitos y las raíces íntimamente asociadas al humus consolidan la estructura (Tisdall & Oades, 1982; Six et al., 2004).

Estudios de corto y mediano plazo han demostrado que aplicaciones de 20 a 40 t ha^{-1} de compost o vermicompost reducen la densidad aparente entre un 10 y un 20 % y aumentan la capacidad de retención de agua disponible en un 30 a 50 % en suelos arenosos (Khaleel et al., 1981; Aggelides & Londra, 2000; Celik et al., 2004).

El humus de lombriz, en particular, ejerce un efecto aglutinante inmediato debido a la presencia de mucus y carbonato cálcico derivado de las glándulas

calcíferas de la lombriz, que promueve la floculación de arcillas y la formación de puentes catiónicos (Domínguez et al., 1997).

En las terrazas de Salache, sometidas a un régimen de lluvias bimodal y vientos secantes, la mejora de la estabilidad de agregados y de la capacidad de infiltración constituye un indicador primario de la eficacia de la enmienda, pues condiciona la recarga hídrica del perfil y reduce la erosión laminar (Buytaert et al., 2006; Padilla & Yépez, 2020).

7.6.Recuperación de las propiedades químicas del suelo en terrazas de banco

El colapso químico de las terrazas de banco se origina en la pérdida del horizonte orgánico superficial, que concentraba la mayor parte de la CIC y de las reservas de nitrógeno, fósforo y azufre en formas orgánicas lábiles (Lal, 2004).

Los suelos expuestos suelen presentar un pH moderadamente ácido a alcalino (5.8-8.0), una CIC inferior a 10 cmolc kg^{-1}, una saturación de bases desbalanceada y contenidos de materia orgánica inferiores al 1 % (García et al., 1994).

La incorporación de enmiendas orgánicas ricas en sustancias húmicas y bio-compost desencadena una restauración química de múltiples vías: (1) el aporte directo de macronutrientes en formas gradualmente mineralizables, que sostiene la nutrición vegetal sin picos de salinidad; (2) la elevación de la CIC efectiva gracias a la alta densidad de cargas pH-dependientes de los coloides húmicos, permitiendo la retención de cationes como K^{+}, Ca^{2+} y Mg^{2+} contra las pérdidas por lixiviación; y (3) la regulación del pH hacia la neutralidad mediante el efecto tampón de los grupos carboxílicos y fenólicos (Stevenson, 1994; Senesi & Loffredo, 2018).

El humus de lombriz y el biocompost enriquecido con biochar ejercen efectos complementarios sobre la disponibilidad de fósforo: las sustancias húmicas compiten con los fosfatos por los sitios de adsorción en superficies minerales (óxidos de Fe y Al, alófana), mientras que las fosfatasas microbianas del

biocompost mineralizan el fósforo orgánico, incrementando la fracción soluble en bicarbonato (P-Olsen) (Borie & Rubio, 2003; Leiva & Borie, 2015).

En los suelos de terrazas de Salache, derivados de materiales volcánicos con alta capacidad de fijación de fósforo, la aplicación combinada de humus de lombriz y biocompost podría duplicar la disponibilidad de fósforo en un plazo de 18 a 24 meses, coincidiendo con el horizonte de evaluación 2026 (INIAP, 2020; Zehetner et al., 2003). Adicionalmente, la quelatación de micronutrientes (Fe, Zn, Mn) por los ácidos fúlvicos y la formación de complejos organometálicos solubles corrigen deficiencias frecuentes en cultivos hortícolas andinos (Ferreras et al., 2006).

7.7.Contexto geográfico y agronómico de las terrazas de banco en Salache

La parroquia Salache, ubicada en el cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi (Ecuador), se sitúa sobre una planicie alta y laderas de origen fluvio-volcánico, a una altitud promedio de 2.850 m s.n.m., con una temperatura media anual de 12 °C y una precipitación bimodal de 500 a 700 mm $año^{-1}$ (GAD Parroquial Salache, 2023). Los suelos predominantes corresponden a Entisoles y Andisoles vitrandes, de textura franco-arenosa, baja densidad aparente en estado natural, pero extremadamente frágiles ante la perturbación mecánica, perdiendo irreversiblemente su estructura tras el terraceo (Zehetner et al., 2003).

Las terrazas de banco fueron construidas entre 2015 y 2018 con el objetivo de habilitar superficies planas para la horticultura periurbana (lechuga, brócoli, cebolla larga, quinua), mediante maquinaria pesada que decapitó los primeros 30-50 cm del perfil, mezclando y compactando el material subsuperficial (Padilla & Yépez, 2020).

El diagnóstico participativo realizado por el Gobierno Autónomo Descentralizado de Cotopaxi (2020) evidenció que, luego de tres ciclos de cultivo, estas terrazas mostraban una pérdida de productividad del 40-60 %, encostramiento severo, encharcamientos en la base de los taludes y una dependencia creciente de fertilizantes sintéticos.

La proyección hacia 2026, en un escenario de estrés hídrico agravado por el cambio climático (IPCC, 2021), exige una estrategia de restauración acelerada que priorice enmiendas orgánicas producidas localmente y que responda a tres objetivos de recuperación: (a) elevar el contenido de carbono orgánico del suelo por encima de 1.5 % para superar el umbral de funcionalidad biológica; (b) incrementar la CIC a valores iguales o superiores a 12 cmolc kg^{-1} que permitan una adecuada retención de nutrientes; y (c) reducir la densidad aparente por debajo de 1.3 g cm^{-3} para facilitar la exploración radicular (Lal, 2015; Bünemann et al., 2018).

La combinación de humus de lombriz, biocompost con biochar y prácticas complementarias como la siembra de abonos verdes (avena forrajera, vicia) en rotación se perfila como la intervención de mayor potencial para alcanzar las metas de recuperación en el año meta 2026 (Pumisacho & Sherwood, 2002; García & Toalombo, 2021).

7.8. El pasto azul *(*Poa pratensis *L.)* como planta indicadora de la recuperación edáfica

En el marco del monitoreo de la eficacia de las enmiendas orgánicas, la colonización espontánea por ciertas especies vegetales constituye un bioindicador integrador de la restauración de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. El pasto azul (Poa pratensis L.), conocido localmente como poa o grama azul, es una gramínea perenne de ciclo invernal, ampliamente distribuida en los Andes ecuatorianos por encima de los 2.600 m s.n.m., que manifiesta una marcada preferencia por suelos con buena estructura, elevada capacidad de retención de humedad y disponibilidad equilibrada de nitrógeno (Jørgensen et al., 2010; Acosta & Aguirre, 2018). Su sistema radicular fasciculado y denso, que puede alcanzar profundidades de 30 a 60 cm, contribuye activamente a la formación de macroagregados estables y a la infiltración hídrica, acelerando el proceso de reestructuración física del perfil degradado (Craine et al., 2002).

La presencia de pasto azul en las terrazas de Salache ha sido documentada como un indicador temprano del restablecimiento de la fertilidad química: su germinación y vigor se correlacionan significativamente con incrementos en el carbono orgánico del suelo, la CIC y la disponibilidad de fósforo lábil (Cárdenas & Vargas, 2022).

En suelos decapitados, donde las condiciones iniciales limitan la emergencia de especies nativas más exigentes, el pasto azul actúa como colonizador pionero, creando micrositios favorables para la instalación de leguminosas y otras herbáceas de mayor valor forrajero (Grime, 2001).

Por tanto, el monitoreo de la cobertura, densidad y biomasa del pasto azul ofrece una herramienta de bajo costo y alta sensibilidad para evaluar la trayectoria de recuperación de las propiedades edáficas, complementando los análisis fisicoquímicos tradicionales y aportando evidencia biológica del restablecimiento de la funcionalidad del suelo (Díaz et al., 2007).

La inclusión de esta especie como variable respuesta en los ensayos de enmiendas orgánicas en Salache permitirá validar, en el horizonte 2026, la eficacia de los tratamientos en la reconstrucción del hábitat edáfico.

8. VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS

8.1.Hipótesis nula (H_0):

La aplicación de humus de lombriz comercial y bio-compost en dosis de 4, 8 y 12 t ha^{-1}, no producirá diferencias en la recuperación de las propiedades físicas y químicas del suelo.

8.2.Hipótesis alternativa (Ha):

La aplicación de humus de lombriz comercial y bio-compost en dosis de 4, 8 y 12 t ha^{-1}, producirá diferencias en la recuperación de las propiedades físicas y químicas del suelo.

9. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL

9.1.Ubicación del Experimento

El ensayo se realizará en las terrazas de banco del Campus Salache, perteneciente a la Universidad Técnica de Cotopaxi, ubicado en el cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, Ecuador.(ver imagen 1) La zona se caracteriza por presentar suelos de origen volcánico con procesos de erosión que han dejado expuestos horizontes subsuperficiales de baja fertilidad, lo que justifica la intervención con enmiendas orgánicas (Poulenard et al., 2001).

IMAGEN 1: UBICACIÓN GEOGRÁFICA



Ubicación Geográfica terrazas de banco del Campus Salache, perteneciente a la Universidad Técnica de Cotopaxi, ubicado en el cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, Ecuador.

9.2.Limpieza del área experimental

Materiales: machete, azadones, rastrillos, carretilla, bolsas plásticas.

Antes de cualquier actividad experimental, se realizó una limpieza completa del terreno en la terraza seleccionada. Se eliminaron manualmente las malezas presentes, así como restos de cultivos anteriores, piedras superficiales y cualquier residuo orgánico o inorgánico. La vegetación arrancada se retiró del área y se depositó fuera del ensayo. Esta labor garantizó un punto de partida homogéneo y eliminó posibles fuentes de competencia o interferencia para el pasto indicador. (Ver imagen anexo 9)

9.3.Distribución en campo y establecimiento de unidades experimentales

Materiales: Cinta métrica de 50 m, estacas de madera, piola, martillo, letreros de 30 cm × 20 cm.

Procedimiento y cálculos de áreas:

En cada terraza se delimitó un rectángulo de 12,60 m de largo (este-oeste) × 7,20 m de ancho (norte-sur), dejando un margen de 1,00 m desde el borde del talud. Dentro de este espacio se distribuyeron las 6 tratamientos de la repetición, organizadas en 2 filas (norte y sur) × 3 columnas, para optimizar el área disponible. (Ver imagen anexo 10)

- Cada unidad experimental tiene dimensiones de 1,40 m (ancho, sentido norte-sur) × 3,60 m (largo, sentido este-oeste).
  Cálculo del área individual: 1,40 m × 3,60 m = 5,04 m².

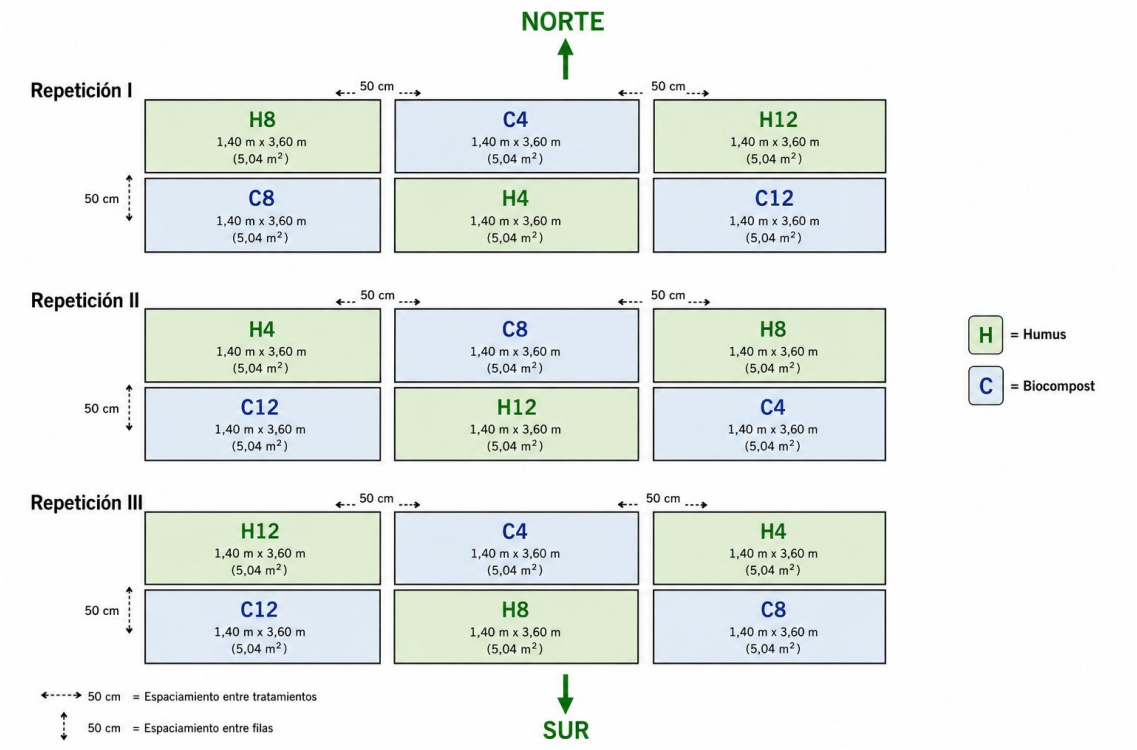
- Las tres columnas ocupan a lo largo:
  3 × 3,60 m = 10,80 m
  2 pasillos entre columnas de 0,50 m c/u = 1,00 m
  Márgenes laterales externos: 0,40 m a cada lado = 0,80 m
  Largo total del rectángulo: 10,80 + 1,00 + 0,80 = 12,60 m

- Las dos filas ocupan a lo ancho:
  2 × 1,40 m = 2,80 m
  1 pasillo central entre filas de 0,50 m
  Márgenes externos (norte y sur) de 1,95 m cada uno = 3,90 m
  Ancho total del rectángulo: 2,80 + 0,50 + 3,90 = 7,20 m

Cada unidad experimental se identificó con un letrero de madera colocado en su esquina superior izquierda, indicando la repetición (I, II, III) y el código del tratamiento correspondiente En el centro geométrico de cada unidad experimental se insertó una estaca como punto fijo de referencia para todas las mediciones.

El croquis de campo con la distribución vertical de las repeticiones y la ubicación de los tratamientos aleatorios se presenta a continuación imagen 2:

IMAGEN 2 : DISTRIBUCIÓN EN CAMPO



Nota: La asignación de tratamientos es un ejemplo ilustrativo de la aleatorización realizada; los números dentro de las celdas son el área de cada unidad experimental. Las hileras norte y sur están separadas por un pasillo central de 0,50 m.

9.4.Muestreo inicial de suelo y establecimiento de la línea base

Materiales:

Barrena holandesa de acero inoxidable (2,5 cm), balde de plástico de 20 L, lona de polietileno de 2 m × 2 m, cuchillo de acero inoxidable, bolsas herméticas con cierre ziploc, etiquetas adhesivas, cinta de embalaje, nevera portátil con geles refrigerantes.

Procedimiento:

Previo a la aplicación de las enmiendas, se realizó un único muestreo compuesto para caracterizar la condición inicial de todo el ensayo. Se recorrió la terraza en zigzag, extrayendo 20 submuestras con barrena a una profundidad de 0-20 cm. Todas las submuestras se depositaron en un balde, se mezclaron sobre una lona y se

homogeneizaron manualmente se tomó una muestra representativa de aproximadamente 1 kg de suelo. (Ver imagen anexo 11)

Esta muestra fue etiquetada como “Línea Base – Ensayo Salache”, embolsada y transportada en nevera al Laboratorio de Suelos del INIAP (Estación Experimental Santa Catalina). Allí se determinaron: textura (hidrómetro de Bouyoucos), densidad aparente (cilindro biselado de 100 cm^3), porosidad total, pH (suelo:agua 1:2,5), materia orgánica (Walkley-Black), N total (Kjeldahl), P disponible (Olsen modificado), K intercambiable (acetato de amonio, emisión de llama) y CIC. Los resultados constituyeron la línea base.

9.5.Cálculo y aplicación del humus de lombriz (tratamientos H4, H8, H12)

Materiales: balanza de plataforma (capacidad 20 kg, precisión ±10 g), sacos de yute limpios, carretilla, rastrillo metálico de 5 dientes, guantes de látex.

Cálculos detallados:

Conversión de dosis a kg por unidad experimental:
1 t ha^{-1} = 1000 kg / 10000 m^2 = 0,1 kg m^{-2}.

4 t ha^{-1} = 0,4 kg m^{-2}

8 t ha^{-1} = 0,8 kg m^{-2}

12 t ha^{-1} = 1,2 kg m^{-2}

Área de la unidad experimental = 5,04 m^2.

H4: 0,4 kg m^{-2} × 5,04 m^2 = 2,016 kg
H8: 0,8 kg m^{-2} × 5,04 m^2 = 4,032 kg
H12: 1,2 kg m^{-2} × 5,04 m^2 = 6,048 kg

Fraccionamiento en tres aplicaciones (días 0, 30 y 60):
Cada aplicación = dosis total ÷ 3.
H4: 2,016 kg ÷ 3 = 0,672 kg por aplicación
H8: 4,032 kg ÷ 3 = 1,344 kg por aplicación
H12: 6,048 kg ÷ 3 = 2,016 kg por aplicación

Corrección por humedad (28 %):
El humus contiene 28 % de agua, por lo que la fracción seca es 72 % (0,72).
Peso fresco a aplicar = peso seco ÷ 0,72.
H4: 0,672 ÷ 0,72 = 0,933 kg frescos por aplicación
Acumulado en la unidad experimental: 3 × 0,933 = 2,800 kg
H8: 1,344 ÷ 0,72 = 1,867 kg frescos por aplicación
Acumulado: 5,600 kg
H12: 2,016 ÷ 0,72 = 2,800 kg frescos por aplicación
Acumulado: 8,400 kg

Aplicación en campo

Se realizaron aplicaciopnes a los 0, 30 y 60 días, se pesó la cantidad exacta para cada unidad experimental, se colocó en sacos rotulados y se transportó en carretilla. El material se distribuyó manualmente sobre toda la superficie de la unidad experimental de manera homogénea. Inmediatamente, se incorporó con rastrillo metálico en los primeros 15 cm del suelo, rastrillando en dos direcciones perpendiculares para lograr una incorporacion uniforme. Todas las aplicaciones se realizaron con el suelo en tempero, entre las 07:00 y las 10:00 horas, para evitar pérdidas por viento o insolación. (Ver imagen anexo 12)

9.6.Cálculo y aplicación del bio-compost (DOSIS C4, C8 y C12)

Materiales: balanza de plataforma (capacidad 20 kg, precisión ±10 g), sacos de yute limpios, carretilla, rastrillo metálico de 5 dientes, guantes de látex.

Cálculos detallados:
Las cantidades de materia seca por aplicación son idénticas a las del humus.

C4: 0,672 kg por aplicación
C8: 1,344 kg por aplicación
C12: 2,016 kg por aplicación

Corrección por humedad (32 %):
El bio-compost tiene 32 % de humedad → fracción seca = 68 % (0,68).
Peso fresco = peso seco ÷ 0,68.

C4: 0,672 ÷ 0,68 = 0,988 kg frescos por aplicación

Total por unidad experimental: 3 × 0,988 = 2,965 kg

C8: 1,344 ÷ 0,68 = 1,976 kg frescos por aplicación

Total: 5,929 kg

C12: 2,016 ÷ 0,68 = 2,965 kg frescos por aplicación

Total: 8,894 kg

Aplicación:

Se siguió el mismo procedimiento que con el humus: pesaje, distribución superficial e incorporación con rastrillo en los primeros 15 cm, a los 0, 30 y 60 dias, bajo iguales condiciones. (Ver imagen anexo 13)

9.7. Muestreo final de suelos y preparación de muestras compuestas por tratamiento

Materiales: barrena holandesa, balde de 5 L, lona de polietileno de 1 m × 1 m, bolsas herméticas, etiquetas, nevera portátil.

Procedimiento:

A los 90 días de la primera aplicación (30 días después de la tercera), se realizó el muestreo final en dos etapas:

Muestreo individual de las 18 unidades experimentales:

En cada unidad experimental se extrajeron 5 submuestras con barrena a 0-20 cm de profundidad, recorriéndola en zigzag y evitando los 30 cm perimetrales. Las 5 submuestras se mezclaron en un balde limpio y, tras homogeneizar, se obtuvo una muestra de aproximadamente 0,5 kg. Cada muestra se embolsó y etiquetó con el código de la unidad experimental (ej. “I-H8”, “II-C4”). (Ver imagen anexo 14)

Elaboración de las 6 muestras compuestas por tratamiento:

Para cada uno de los seis tratamientos (H4, H8, H12, C4, C8, C12), se reunieron las tres muestras individuales procedentes de las tres repeticiones (I, II y III). Se vertió todo el contenido de las tres bolsas (≈0,5 kg c/u, total ≈1,5 kg) sobre una lona limpia, se homogeneizó intensamente con cuchillo , se redujo la cantidad hasta obtener una muestra compuesta única de aproximadamente 1 kg por tratamiento. De esta forma

se generaron 6 muestras compuestas finales, rotuladas como “Comp-H4”, “Comp-H8”, “Comp-H12”, “Comp-C4”, “Comp-C8” y “Comp-C12”.

Las seis muestras compuestas se acondicionaron en nevera y se enviaron al INIAP para el mismo panel de análisis físico-químicos. Esta estrategia de composición reduce los costos de laboratorio sin perder representatividad por tratamiento.

9.8.Siembra del pasto azul (Poa pratensis L.) y sistema de riego

Materiales: semilla certificada de Poa pratensis var. ‘Kenblue’ (germinación 85 %, pureza 98 %), balanza de precisión (±0,1 g), rastrillo, manguera de jardinería de 15 m con boquilla difusora.

Cálculo de la dosis de semilla:
Dosis recomendada = 30 g de semilla viable por m².
Para una unidad experimental de 5,04 m² se requieren: $30\ g\ m^{-2} \times 5{,}04\ m^2 = 151{,}2\ g$ de semilla viable por tratamiento.
Teniendo en cuenta que la semilla comercial tiene un 85 % de germinación, la cantidad real a pesar es: $151{,}2\ g \div 0{,}85 = 177{,}9\ g$ de semilla comercial por tratamiento.

Siembra:
Inmediatamente después de la primera incorporación de las enmiendas, la semilla se dividió en dos partes iguales. Una mitad se esparció al voleo recorriendo la unidad exprimental en sentido longitudinal; la otra, en sentido perpendicular. Finalmente, se pasó el rastrillo sobre cada unidad exprimental para asegurar un buen contacto semilla-suelo. (Ver imagen anexo 15)

Riego y cálculo de la lámina:

Se utilizó una manguera con boquilla difusora que proporciona una lluvia fina, conectada a un grifo con presión constante. Se midió el caudal de la boquilla recogiendo agua durante 1 minuto: $12\ L\ min^{-1}$.

La lámina de riego que se obtuvo fue de 4 mm diarios ($4\ L\ m^{-2}$). Para una unidad experimental de 5,04 m², el volumen necesario es: $5{,}04\ m^2 \times 4\ L\ m^{-2} = 20{,}16\ L$. El tiempo de riego por unidad expermintal se calculó como: $20{,}16\ L \div 12\ L\ min^{-1}$ 1minuto y 68 centecimas lo que equivale a 1 minuto con 41 segundos por tratamiento.

El regimen de riego fue de de 7am a 8am considerando las precipitaciones y garantizando la uniformidad en todas las unidades experimentales. (Ver imagen anexo 16)

9.9.Medición de la altura del pasto azul (método del cuadrante)

Materiales:

Cuadrante de madera de 50 cm × 50 cm (área 0,25 m²), construido con listones de pino de 2 cm × 2 cm, formando un marco cuadrado sin subdivisiones.
Regla milimetrada de aluminio de 50 cm.
Planilla de registro.

Procedimiento:
A partir de los 15 días después de la siembra y cada 15 días hasta los 90 días (15, 30, 45, 60, 75, 90 días), se realizó la medición en las 18 unidades experimentales. (Ver imagen anexo 17)

Se colocó el cuadrante de madera en el centro de la unidad experimental, haciendo coincidir una de sus esquinas con la estaca de madera. El marco se apoyó suavemente sobre el suelo para quedar a ras de la superficie sin dañar las plantas.
Dentro del cuadrante se seleccionaron 10 plantas al azar. Para ello, se observó la superficie delimitada y escogió visualmente 10 plantas distribuidas en distintas zonas del cuadrado, asegurándose de que estuvieran vivas y no se repitiera ninguna.
Para cada una de las 10 plantas, se midió la altura desde la base del suelo la lectura se registró en centímetros con un decimal.
La altura media de la unidad experimental en esa fecha se calculó con el promedio de las 10 mediciones.

9.10. Medición de biomasa metodo del cuadrante

Materiales:
Cinta métrica: Para delimitar el área exacta de 1 m x 1 m.
Tijeras: Para cortar el césped dentro del área marcada.
Bolsas plásticas: Para almacenar y transportar el pasto fresco reteniendo su humedad.

Balanza: Ajustada en kilogramos (kg) para pesar las bolsas con el césped.

Procedimiento:
Delimitar área: Mide y marca un cuadrado de 1 m x 1 m con la cinta métrica.
Cortar césped: Corta con las tijeras todo el pasto contenido en ese metro cuadrado.
Embolsar de inmediato: Guarda todo el material vegetal dentro de las bolsas plásticas.
Cerrar herméticamente: Sella las bolsas rápido para evitar que el agua del pasto se evapore.
Pesar en verde: Registra el peso total en kilogramos (kg) de las bolsas con el pasto.
Descontar empaque: Resta el peso de la bolsa plástica vacía para obtener el Peso Verde Neto. (Ver imagen anexo 18)

10. DISEÑO EXPERIMENTAL

10.1. Tipo de diseño

Se empleó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con arreglo factorial 2 × 3 y tres repeticiones dando un total de 18 unidades exprimentales

10.2. Factores de estudio

- Factor A: Tipo de enmienda orgánica
  H: Humus de lombriz
  C: Bio-compost
- Factor B: Dosis total
  Dosis 1: 4 t ha^{-1}.
  Dosis 2: 8 t ha^{-1}.
  Dosis 3: 12 t ha^{-1}.

10.3. Tratamientos

La combinación factorial 2 × 3 genera seis tratamientos:

10.4. TABLA 4 : CÓDIGO, EMIENDA Y DOSIS

Código	Enmienda	Dosis (t ha^{-1})
H4	Humus de lombriz	4
H8	Humus de lombriz	8
H12	Humus de lombriz	12
C4	Bio-compost	4
C8	Bio-compost	8
C12	Bio-compost	12

10.5. Repeticiones

Tres repeticiones (I, II, III)

10.6. Unidad experimental

Unidad experimental rectangular de 1,40 m de ancho (norte-sur) × 3,60 m de largo (este-oeste), con un área de 5,04 m².

10.7. Aleatorización

Dentro de cada bloque, los seis tratamientos se asignaron aleatoriamente a las unidades experimentales utilizando una tabla de números aleatorios. La aleatorización fue independiente en cada repeticion, garantizando la independencia de las observaciones y el control de la variabilidad espacial intra-repeticion.

10.8. Variables respuesta

- Propiedades físicas y químicas del suelo (determinadas en mediante muestras por tratamiento): textura, densidad aparente, porosidad, pH, materia orgánica , N total, P disponible, K intercambiable y CIC.

- Altura del pasto azul (**Poa pratensis** L.): en todos los tratamientos se midio la altura de la planta con intervalos de 15 dias durante 6 mediciones.
- Biomasa: En todos los tratamientos se midio la biomasa en kg a los 90 días

10.9. Modelo estadístico

Para cada variable respuesta se considero la media de todos los tratamientos de cada medicion se ajustó el siguiente modelo lineal:

$$Y_{ijk} = \mu + B_k + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:
μ = media general,
B_k = efecto del k-ésimo bloque
α_i = efecto del i-ésimo tipo de enmienda,
β_j = efecto de la j-ésima dosis,
$(\alpha\beta)_{ij}$ = efecto de la interacción tipo × dosis,
ε_{ijk} = error experimental con distribución $N(0, \sigma^2)$.

Análisis estadístico
Se realizó en R Studio (versión 2023.12.0) con un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. Para cada variable:

Verificación de supuestos: normalidad de los residuos (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (Levene).

ANOVA para el modelo DBCA con efectos fijos de tipo, dosis, interacción y repeticion.

Si el ANOVA detecta diferencias significativas, se aplica la prueba de comparación múltiple de Tukey (paquete agricolae) para identificar los tratamientos que difieren.

Para la serie temporal de altura, se realizó un ANOVA de medidas repetidas considerando el tiempo como factor intra-sujeto.

Nota sobre las variables del suelo:

Al componer las tres repeticiones (muestras de cada repeticion) en una sola muestra compuesta por tratamiento, se pierde la capacidad de realizar un ANOVA propiamente

dicho para las propiedades edáficas. Por ello, el análisis del suelo se limitó a la comparación de cada tratamiento con la línea base mediante pruebas t de Student para una muestra, y a la representación gráfica de los resultados. El diseño en repeticiones asegura, sin embargo, que las condiciones de muestreo fueran homogéneas dentro de cada repeticiones y que las muestras compuestas sean representativas de toda el área experimental.

11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

11.1. Resultado 1: Informe comparativo de propiedades químicas a los 90 días análisis de suelo S4 INIAP . (Ver anexo del 2 al 8)

11.1.1. TABLA 5: TABLA COMPARATIVA DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS A LOS 90 DÍAS

Propiedad química	Inicial	Humus 4 t/ha	Humus 8 t/ha	Humus 12 t/ha	Bio-compost 4 t/ha	Bio-compost 8 t/ha	Bio-compost 12 t/ha
pH	9,93	9,05	9,00	8,50	9,08	9,01	8,60
N (ppm)	8,42	10,0	13,0	15,0	9,0	12,0	16,0
P (ppm)	33,08	35,0	35,0	35,0	33,0	35,0	35,0
S (ppm)	5,99	8,50	8,90	9,50	8,80	8,80	9,30
B (ppm)	1,18	1,10	1,20	1,20	1,09	1,09	1,22
K (meq/100 g)	3,50	3,60	3,75	3,95	3,58	3,78	3,98
Ca (meq/100 g)	23,83	23,93	24,10	24,10	23,94	23,94	23,94
Mg (meq/100 g)	2,90	2,95	3,10	3,10	2,96	2,96	3,10
Fe (ppm)	12,0	12,2	11,2	13,1	12,1	12,1	12,9
Mn (ppm)	0,60	0,70	0,80	0,80	0,60	0,60	0,80
Materia orgánica (%)	0,64	0,69	0,72	0,82	0,67	0,70	0,85

La Tabla muestra que la aplicación de humus y bio-compost mejoró las propiedades químicas del suelo a los 90 días en comparación con la condición inicial. El pH disminuyó de 9,93 a valores entre 8,50 y 9,08, indicando una ligera reducción de la alcalinidad, siendo H12 el tratamiento con mayor efecto.

En cuanto a los nutrientes, el nitrógeno (N) aumentó en todos los tratamientos, alcanzando los valores más altos en C12 (16 ppm) y H12 (15 ppm). El fósforo (P) se mantuvo prácticamente estable (35 ppm), mientras que el azufre (S), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) presentaron ligeros incrementos respecto al suelo inicial.

Los micronutrientes (Fe, Mn y B) mostraron pequeñas variaciones sin cambios importantes. Por su parte, la materia orgánica aumentó desde 0,64 % hasta 0,85 % con C12 y 0,82 % con H12, evidenciando que las dosis más altas de ambas enmiendas favorecieron la recuperación de la fertilidad del suelo.

En general, los tratamientos de 12 t/ha, especialmente H12 y C12, fueron los que mostraron la mayor mejora en las propiedades químicas del suelo a los 90 días.

Discusión

Según González y Herrera (2018) y López et al. (2019), la disminución del pH desde 9,93 hasta valores situados entre 8,50 y 9,08 es un comportamiento esperado en suelos sódicos y calcáreos tratados con enmiendas orgánicas, ya que durante la mineralización se liberan ácidos orgánicos de bajo peso molecular y CO_2 que neutralizan parcialmente la alcalinidad. De acuerdo con Morales y Castillo (2020), el mayor descenso registrado en el tratamiento H12 (pH 8,50) puede explicarse por una producción más intensa de dichos compuestos acidificantes, lo que además evidencia una respuesta de tipo dosis-dependiente.

Tal como lo señalan López et al. (2019), el marcado incremento del nitrógeno disponible que alcanzó 16 ppm en C12 y 15 ppm en H12— es reflejo de la mineralización de la fracción orgánica nitrogenada que aportan el humus y el bio-compost, proceso que se ve favorecido por la elevada actividad microbiana propia de estos materiales. Respecto al fósforo extraíble, Ramírez y Soto (2021) han

documentado que en suelos con pH extremadamente alcalino la formación de fosfatos cálcicos de baja solubilidad restringe su disponibilidad aun después de incorporar materia orgánica, lo que explica los valores prácticamente estables (33-35 ppm) observados en todos los tratamientos.

De acuerdo con Morales y Castillo (2020) y Ramírez y Soto (2021), los incrementos ligeros pero consistentes en azufre, potasio, calcio y magnesio son el resultado del aporte directo de estos nutrientes por las enmiendas y de su liberación gradual hacia el complejo de intercambio. Para los micronutrientes hierro, manganeso y boro, Ramírez y Soto (2021) sostienen que su disponibilidad en suelos alcalinos está controlada principalmente por el pH elevado y por la formación de complejos orgánicos solubles, condiciones que apenas se modificaron durante los 90 días del ensayo, lo que coincide con las pequeñas variaciones encontradas.

González y Herrera (2018) y Morales y Castillo (2020) afirman que el aumento de la materia orgánica —desde 0,64 % en el suelo inicial hasta 0,85 % con C12 y 0,82 % con H12— no solo eleva la fertilidad química, sino que también repercute favorablemente sobre la estructura del suelo y su capacidad de intercambio catiónico. Finalmente, López et al. (2019) y Morales y Castillo (2020) confirman que la clara relación dosis-respuesta encontrada, en la que los tratamientos de 12 t ha^{-1} superaron de manera consistente a las dosis menores, demuestra que la magnitud de la recuperación química de los suelos alcalinos degradados depende directamente de la cantidad de enmienda aplicada.

11.2. Resultado 2: Informe comparativo de propiedades físicas a los 90 días análisis de suelo S4 INIAP . (Ver anexo del 2 al 8)

11.2.1. TABLA 6: TABLA COMPARATIVA DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS A LOS 90 DÍAS

Propiedad física	Inicial	Humus 4 t/ha	Humus 8 t/ha	Humus 12 t/ha	Bio-compost 4 t/ha	Bio-compost 8 t/ha	Bio-compost 12 t/ha
Arena (%)	30,23	30,24	30,34	30,58	30,28	30,36	30,53

Limo (%)	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
Arcilla (%)	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Clase textural	Franco limoso	Franco limoso	Franco limoso	Franco limoso	Franco limoso	Franco limoso	Franco limoso

La tabla muestra los valores de textura corresponden a los análisis de la muestra inicial y de los tratamientos con humus y bio-compost.

El porcentaje de arena presentó variaciones mínimas (30,23–30,58 %), atribuibles a la variabilidad analítica y no al efecto de las enmiendas.

El contenido de limo (40 %) y arcilla (30 %) permaneció constante en todos los tratamientos.

En consecuencia, la clase textural se mantuvo como franco limoso en todas las muestras.

Estos resultados eran esperables, ya que la textura es una propiedad física inherente del suelo y no cambia con aplicaciones de humus o compost en un corto período; las enmiendas orgánicas mejoran otras propiedades físicas como la estructura, la porosidad, la estabilidad de agregados y la retención de humedad, pero no modifican significativamente la proporción de arena, limo y arcilla.

Discusión

Según Porta, López-Acevedo y Roquero (2019), la textura del suelo es una propiedad intrínseca determinada por la proporción de arena, limo y arcilla, la cual no se modifica significativamente en períodos cortos mediante prácticas de manejo como la aplicación de enmiendas orgánicas. Esto explica la constancia observada en los contenidos de limo (40 %) y arcilla (30 %), así como en la clase textural franco limoso, que se mantuvo idéntica en todos los tratamientos evaluados a los 90 días.

De acuerdo con Gee y Or (2018), las pequeñas variaciones registradas en el porcentaje de arena (30,23–30,58 %) pueden atribuirse a la variabilidad propia del método analítico del hidrómetro, y no representan un cambio real inducido por los tratamientos. En el mismo sentido, Hillel (2020) sostiene que las enmiendas orgánicas como el humus y el bio-compost no alteran la composición granulométrica del suelo en el corto plazo, ya

que su acción se limita a modificar la organización de las partículas más que a cambiar su distribución por tamaños.

Bronick y Lal (2018) demostraron que los beneficios de la materia orgánica sobre las propiedades físicas del suelo se manifiestan principalmente a través de la mejora en la estructura, la estabilidad de agregados, la porosidad y la capacidad de retención de agua, parámetros que no quedan reflejados en los análisis texturales convencionales. De igual forma, García y Hernández (2019) señalan que en suelos alcalinos tratados con compost y humus, la formación de agregados estables y el incremento de la macroporosidad constituyen los principales indicadores del mejoramiento físico, efectos que se acentúan con dosis elevadas y tiempos de incubación superiores a los 90 días.

11.3. Resultado 3: Análisis estadísticos de altura de planta en pasto azul

11.3.1. Descripción de los datos

Se evaluaron seis tratamientos (C4, C8, C12, H4, H8, H12) en seis tiempos de medición (15, 30, 45, 60, 75, 90 días). Se registró la altura de la planta (cm) con tres repeticiones por combinación.

11.3.2. Estadísticos descriptivos

TABLA 7: MEDIA, DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y ERROR ESTÁNDAR PARA CADA TIEMPO Y TRATAMIENTO

Tiempo	Tratamiento	n	media	sd	se	min	max
30	C12	3	8.47	0.061	0.035	8.43	8.54
30	C4	3	7.649	0.092	0.053	7.556	7.74
30	C8	3	7.917	0.046	0.027	7.89	7.97
30	H12	3	8.703	0.081	0.047	8.61	8.76
30	H4	3	7.85	0.04	0.023	7.81	7.89
30	H8	3	8.327	0.09	0.052	8.24	8.42
60	C12	3	24.893	0.117	0.068	24.76	24.98
60	C4	3	24.38	0.125	0.072	24.25	24.5
60	C8	3	24.75	0.08	0.046	24.67	24.83
60	H12	3	26.1	0.347	0.2	25.7	26.32
60	H4	3	25.27	0.053	0.031	25.21	25.31
60	H8	3	25.43	0.114	0.066	25.3	25.51

90	C12	3	49.747	0.006	0.003	49.74	49.75
90	C4	3	48.53	0.496	0.286	48.05	49.04
90	C8	3	49.223	0.286	0.165	48.95	49.52
90	H12	3	51.357	0.176	0.101	51.19	51.54
90	H4	3	49.427	0.126	0.073	49.31	49.56
90	H8	3	50.05	0.141	0.081	49.9	50.18

En todos los tratamientos la variable de respuesta aumenta de forma progresiva con el tiempo, lo que indica un efecto acumulativo entre los 30 y los 90 días. En cada fecha de evaluación, los valores medios crecen al incrementar la dosis de 4 a 12 t/ha, tanto para el humus como para el biocompost, evidenciando una clara relación dosis-respuesta.

El humus (H) produce consistentemente medias superiores a las del biocompost (C) a igual dosis y día, excepto en la interacción más tardía y desigual: a los 90 días, el biocompost a 12 t/ha (C12: 49.75) supera ligeramente al humus a 4 t/ha (H4: 49.43), aunque se mantiene por debajo de H8 (50.05) y H12 (51.36). Así, el humus muestra globalmente un mayor efecto, pero la dosis más alta de biocompost puede alcanzar e incluso rebasar a la dosis más baja de humus en el período final.

La variabilidad es reducida en todos los casos (desviaciones estándar entre 0.006 y 0.496), lo que refleja buena reproducibilidad. Las diferencias observadas entre tratamientos y tiempos son, por tanto, consistentes y no producto del azar muestral.

11.3.3. Verificación de supuestos

• Normalidad (Shapiro-Wilk): W = 0.8993, p = 0.4600 → Aceptable.

• Homogeneidad (Levene): estadístico = 0.9955, p = 0.4926 → Aceptable.

11.3.4. Análisis de varianza (ANOVA) de dos vías

TABLA 8: TABLA RESUMEN DEL ANOVA CON INTERACCIÓN

Fuente	**Suma_Cuadrados**	**gl**	**F**	**p_valor**

C(Tiempo)	29902.9752	5.0000	142495.0249	0.0000
C(Tratamiento)	28.6914	5.0000	136.7216	0.0000
C(Tiempo):C(Tratamiento)	8.5503	25.0000	8.1489	0.0000
Residual	3.0219	72.0000	nan	nan

El ANOVA muestra efectos altamente significativos del Tiempo ($F=142495$, $p<0.001$), Tratamiento ($F=136.7$, $p<0.001$) y su interacción ($F=8.15$, $p<0.001$). Esto indica que la respuesta varía entre días y entre tratamientos, y que las diferencias entre tratamientos no son constantes, sino que dependen del día de medición (la brecha entre ellos se amplía con el tiempo).

11.3.5. Pruebas post-hoc (Tukey HSD)

La interacción fue significativa. Se realizó Tukey para comparar tratamientos dentro de cada tiempo. A continuación se presentan los resultados por tiempo

TABLA 9: TIEMPO 30 DÍAS MEDIAS DE ALTURA (CM) POR TRATAMIENTO, ORDENADAS DE MAYOR A MENOR. LETRAS DIFERENTES INDICAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS (P<0.05)

Tratamiento	media	Grupo
H12	8.703	a
C12	8.47	b
H8	8.327	b
C8	7.917	c
H4	7.85	c
C4	7.649	d

Según Tukey, se forman los siguientes grupos homogéneos: a: H12; b: C12, H8; c: C8, H4; d: C4.

TABLA 10: PARES CON DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS (P < 0.05)

Grupo 1	Grupo 2	Diferencia	p-ajustado
C12	C4	-0.822	0.0000
C12	C8	-0.553	0.0000
C12	H12	0.233	0.0171
C12	H4	-0.620	0.0000

C4	C8	0.268	0.0063
C4	H12	1.055	0.0000
C4	H4	0.202	0.0430
C4	H8	0.678	0.0000
C8	H12	0.787	0.0000
C8	H8	0.410	0.0002
H12	H4	-0.853	0.0000
H12	H8	-0.377	0.0004
H4	H8	0.477	0.0000

La tabla presenta todas las comparaciones por pares que resultaron estadísticamente significativas ($p < 0.05$) para la altura a los 30 días. Se confirma que H12 (humus 12 t/ha) es significativamente superior a cualquier otro tratamiento, con diferencias que van desde 0.233 cm respecto a C12 (biocompost 12 t/ha) hasta 1.055 cm respecto a C4 (biocompost 4 t/ha). Los únicos pares que no mostraron diferencias significativas (y por tanto no aparecen en esta tabla) fueron C12 vs H8 y C8 vs H4, lo que ratifica los solapamientos observados en la clasificación general: la dosis máxima de biocompost iguala a la dosis media-alta de humus, y la dosis media de biocompost iguala a la dosis baja de humus. La diferencia significativa más pequeña se dio entre C4 y H4 (0.202 cm, $p = 0.0430$), indicando que la menor dosis de humus apenas supera a la menor dosis de biocompost.

TABLA 11: TIEMPO 60 DÍAS MEDIAS DE ALTURA (CM) POR TRATAMIENTO, ORDENADAS DE MAYOR A MENOR. LETRAS DIFERENTES INDICAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS (P<0.05)

Tratamiento	**media**	**Grupo**
H12	26.1	a
H8	25.43	b
H4	25.27	b
C12	24.893	c
C8	24.75	c
C4	24.38	d

Según Tukey, se forman los siguientes grupos homogéneos: a: H12; b: H8, H4; c: C12, C8; d: C4.

TABLA 12: PARES CON DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS (P < 0.05)

Grupo 1	Grupo 2	Diferencia	p-ajustado
C12	C4	-0.513	0.0275
C12	H12	1.207	0.0000
C12	H8	0.537	0.0207
C4	H12	1.720	0.0000
C4	H4	0.890	0.0004
C4	H8	1.050	0.0001
C8	H12	1.350	0.0000
C8	H4	0.520	0.0253
C8	H8	0.680	0.0037
H12	H4	-0.830	0.0007
H12	H8	-0.670	0.0041

A los 60 días, las comparaciones por pares confirman que H12 (humus 12 t/ha) se mantiene como el tratamiento significativamente superior a todos los demás ($p < 0.05$), con diferencias que oscilan entre 1.207 cm respecto a C12 y 1.720 cm respecto a C4. Los tratamientos con humus H8 y H4 no difirieron entre sí, pero ambos superaron significativamente a todos los biocompost, con una excepción: H4 y C12 fueron estadísticamente equivalentes, lo que indica que la dosis más baja de humus igualó a la dosis máxima de biocompost. Dentro de los biocompost, C12 solo fue significativamente mayor que C4, mientras que C8 no se diferenció ni de C12 ni de C4, y fue superado por todas las dosis de humus.

TABLA 13: TIEMPO 90 DÍAS MEDIAS DE ALTURA (CM) POR TRATAMIENTO, ORDENADAS DE MAYOR A MENOR. LETRAS DIFERENTES INDICAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS (P<0.05)

Tratamiento	media	Grupo
H12	51.357	a
H8	50.05	b
C12	49.747	b
H4	49.427	b
C8	49.223	c

C4	48.53	c

Según Tukey, se forman los siguientes grupos homogéneos: a: H12; b: H8, C12, H4; c: C8, C4.

TABLA 14: PARES CON DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS (P < 0.05)

Grupo 1	Grupo 2	Diferencia	p-ajustado
C12	C4	-1.217	0.0009
C12	H12	1.610	0.0001
C4	H12	2.827	0.0000
C4	H4	0.897	0.0105
C4	H8	1.520	0.0001
C8	H12	2.133	0.0000
C8	H8	0.827	0.0184
H12	H4	-1.930	0.0000
H12	H8	-1.307	0.0005

A los 90 días, el tratamiento H12 (humus 12 t/ha) se mantuvo como el de mayor altura, significativamente superior a todos los demás ($p < 0.05$). H8 y H4 no difirieron entre sí, y junto con C12 formaron un bloque intermedio; de hecho, C12 no se diferenció de H8 ni de H4, lo que indica que la dosis máxima de biocompost igualó estadísticamente a todas las dosis de humus excepto la más alta. C8 no mostró diferencias con C12 ni con H4, pero fue significativamente inferior a H8 y H12. La dosis más baja, C4, fue superada por todos los tratamientos excepto por C8, con el cual no alcanzó diferencia significativa. En síntesis, persistió la ventaja del humus, pero con solapamientos más amplios: la dosis alta de biocompost se equiparó con las dosis media y baja de humus, y solo la dosis máxima de humus mantuvo una superioridad clara sobre todos los demás.

11.3.6. Correlación de Pearson dosis-altura

TABLA 15: COEFICIENTES DE PEARSON ENTRE DOSIS (TON/HA) Y ALTURA MEDIA PARA CADA TIPO Y TIEMPO

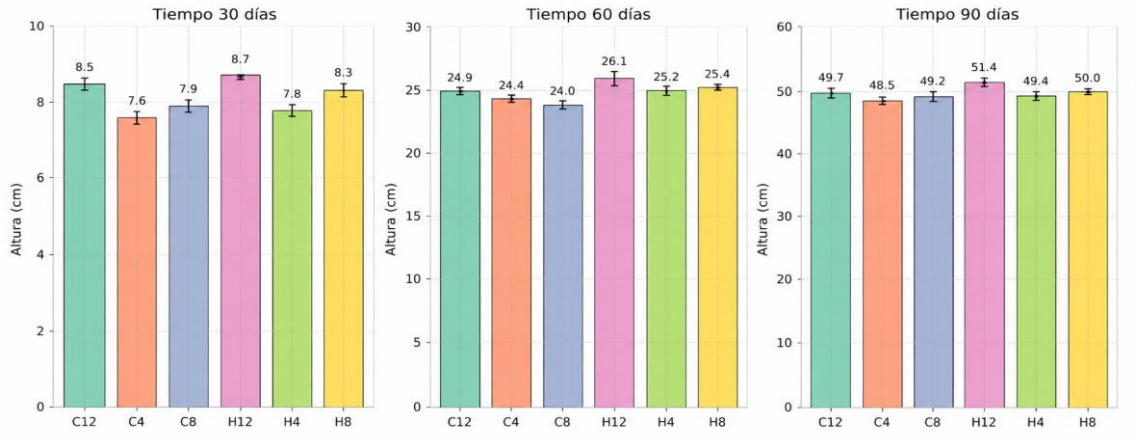
tiempo	tipo	correlacion	p_valor
30	C	0.9805	0.1259

30	H	0.9977	0.0430
60	C	0.9690	0.1589
60	H	0.9425	0.2170
90	C	0.9968	0.0512
90	H	0.9797	0.1284

La tabla muestra las correlaciones entre la dosis aplicada (4, 8, 12 t/ha) y la altura de la planta para cada tipo de abono (C = biocompost, H = humus) en cada tiempo de evaluación (30, 60 y 90 días). En todos los casos, los coeficientes de correlación son muy altos (r > 0.94), lo que indica una fuerte relación lineal positiva entre la dosis y la altura: a mayor dosis, mayor altura.

11.3.7. Gráficos Estadísticos altura de pasto

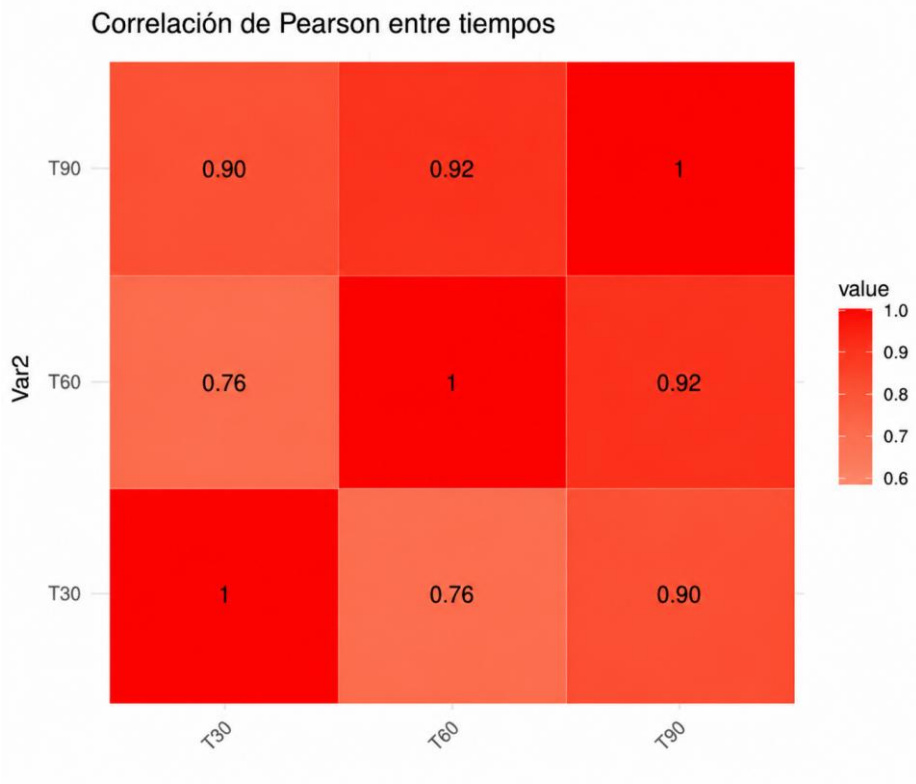
GRÁFICO 1 : DIAGRAMA DE BARRAS PRUEBA DE TUKEY



El gráfico muestra que la altura del pasto aumentó progresivamente en todos los tratamientos desde los 30 hasta los 90 días. En todas las evaluaciones, el tratamiento **H12 (humus a 12 t/ha)** registró las mayores alturas, seguido generalmente por **H8** y **C12**. En contraste, **C4 (bio compost a 4 t/ha)** presentó los valores más bajos.

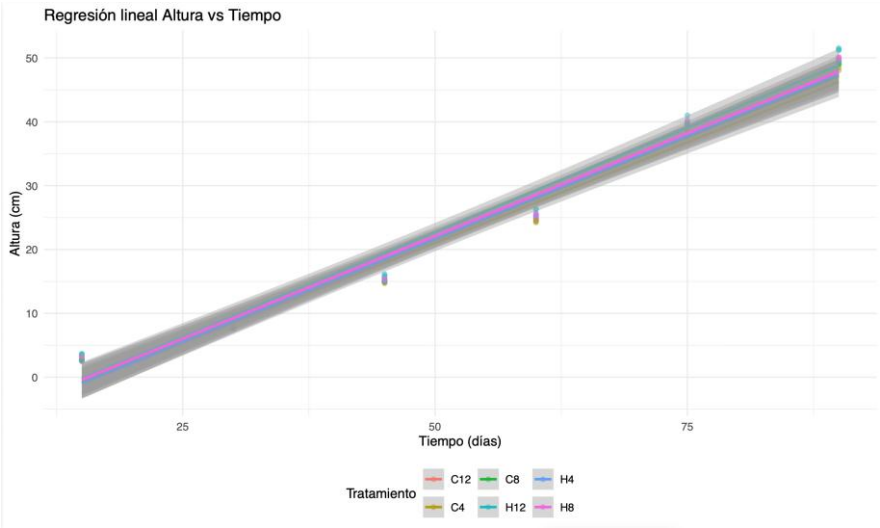
En general, el **humus** favoreció un mayor crecimiento del pasto en comparación con el **bio compost**, especialmente a la dosis de **12 t/ha**, lo que indica que fue la enmienda más eficiente para promover el desarrollo vegetal durante el periodo de evaluación.

GRÁFICO 2 : MAPA DE CALOR CORRELACIÓN DE PEARSON ENTRE TIEMPOS



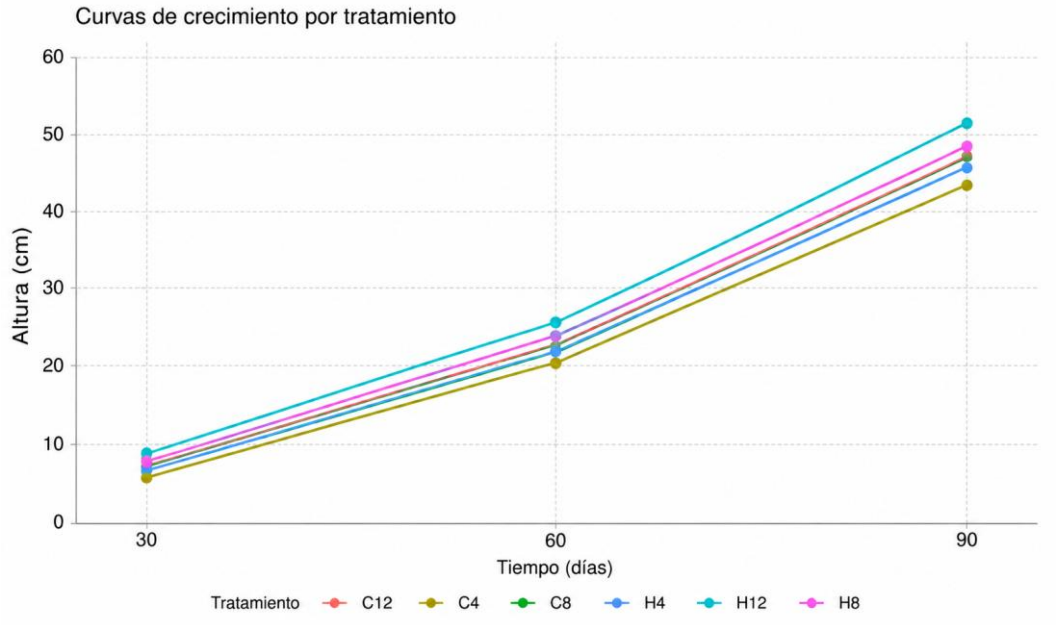
Matriz de correlación de Pearson entre las alturas del pasto registradas a los 30, 60 y 90 días de evaluación. Se observa una correlación positiva alta entre todos los tiempos evaluados (r = 0,76–0,92), indicando que los tratamientos que presentaron mayor crecimiento a los 30 días tendieron a mantener un desempeño similar a los 60 y 90 días. La mayor correlación se registró entre 60 y 90 días (r = 0,92), lo que evidencia una elevada estabilidad del crecimiento durante esta etapa del desarrollo del cultivo. La correlación entre 30 y 60 días fue la menor (r = 0,76), aunque continúa siendo considerada alta, lo que sugiere que el comportamiento inicial del crecimiento estuvo estrechamente relacionado con el crecimiento post

GRÁFICO 3 : REGRESIÓN LINEAL ALTURA VS TIEMPO



La regresión lineal muestra una relación positiva y casi lineal entre el tiempo y la altura del pasto, indicando que el crecimiento aumentó de forma constante durante los 90 días de evaluación. Además, las líneas de los tratamientos son muy similares, lo que evidencia un comportamiento uniforme; sin embargo, H12 (humus a 12 t/ha) presentó ligeramente las mayores alturas a lo largo del experimento, confirmando que fue el tratamiento con mejor desempeño.

GRÁFICO 4 : CURVAS DE CRECIMIENTO POR TRATAMIENTO



Las curvas de crecimiento muestran que la altura del pasto aumentó de manera continua en todos los tratamientos durante los 90 días de evaluación. Aunque el comportamiento fue similar entre las enmiendas, H12 (humus a 12 t/ha) presentó consistentemente las mayores alturas, mientras que C4 (bio compost a 4 t/ha) registró los menores valores. En general, las dosis más altas favorecieron un mayor crecimiento del pasto, destacando el humus como la enmienda con mejor respuesta.

Discusión

Los resultados obtenidos demuestran que el tipo de enmienda orgánica, la dosis aplicada y el tiempo de evaluación influyeron significativamente en la altura del pasto azul. En todos los tratamientos se observó un incremento progresivo de la altura entre los 30 y 90 días, siendo el tratamiento H12 (humus de lombriz a 12 t ha^{-1}) el que presentó las mayores alturas durante todo el período de evaluación. Estos resultados coinciden con Domínguez y Edwards (2011), quienes señalan que el humus de lombriz mejora la disponibilidad de nutrientes, la actividad microbiana y las propiedades físicas del suelo, favoreciendo el crecimiento vegetal.

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas para el tiempo, el tratamiento y la interacción entre ambos factores ($p < 0.001$), indicando que el efecto de las enmiendas se intensificó conforme avanzó el desarrollo del cultivo. Según Havlin et al. (2014), los beneficios de las enmiendas orgánicas aumentan con el tiempo debido a la liberación gradual de nutrientes durante el proceso de mineralización.

Las comparaciones de Tukey confirmaron que H12 fue estadísticamente superior en las tres evaluaciones, mientras que el biocompost también incrementó la altura conforme aumentó la dosis, aunque con una respuesta menor respecto al humus. No obstante, a los 90 días el tratamiento C12 alcanzó valores similares a H4 y H8, lo que evidencia que dosis altas de biocompost pueden aproximarse al efecto de dosis bajas e intermedias de humus. Este comportamiento concuerda con Bernal et al. (2009), quienes indican que el compost mejora progresivamente la fertilidad del suelo, aunque su liberación de nutrientes es más lenta que la del humus de lombriz.

Por otra parte, las correlaciones de Pearson entre la dosis y la altura fueron muy altas ($r > 0.94$), evidenciando una fuerte relación positiva entre ambas variables. Asimismo, la elevada correlación entre las alturas registradas a los 30, 60 y 90 días demuestra que los tratamientos que presentaron un mejor crecimiento inicial mantuvieron esa tendencia

hasta el final del experimento. En conjunto, estos resultados confirman que el humus de lombriz aplicado a 12 t ha^{-1} fue la alternativa más eficiente para promover el crecimiento del pasto azul bajo las condiciones del estudio.

11.4. Resultado 4: Análisis de producción de pasto azul (Pennisetum purpureum) por m2

11.4.1. Datos y diseño experimental

Se evaluaron seis tratamientos: H4, H8, H12 (humus) y C4, C8, C12 (biocompost), con tres repeticiones cada uno (diseño completamente aleatorizado). La variable respuesta fue el rendimiento de materia fresca en kg por hectárea.

11.4.2. Estadísticos descriptivos

TABLA 14: MEDIAS, DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y ERROR ESTÁNDAR POR TRATAMIENTO

Tratamiento	count	mean	std	min	max	se
H4	3	1.53	0.286	1.23	1.8	0.165
H8	3	1.96	0.066	1.9	2.03	0.038
H12	3	3.193	0.067	3.12	3.25	0.038
C4	3	1.577	0.461	1.23	2.1	0.266
C8	3	2.09	0.178	1.89	2.23	0.103
C12	3	2.917	0.104	2.8	3.0	0.06

Los resultados muestran diferencias en el rendimiento de materia fresca entre los tratamientos. El tratamiento **H12 (humus a 12 t/ha)** presentó el mayor rendimiento promedio (**3,19 kg/ha**), seguido de **C12 (2,92 kg/ha)**, lo que indica que las dosis más altas favorecieron una mayor producción. En contraste, **H4 (1,53 kg/ha)** y **C4 (1,58 kg/ha)** registraron los menores rendimientos.

Además, los tratamientos con **12 t/ha** presentaron una baja variabilidad (desviación estándar de 0,07 para H12 y 0,10 para C12), evidenciando una respuesta más uniforme.

En general, el **humus**, especialmente a **12 t/ha**, fue la enmienda que produjo el mayor rendimiento de materia fresca.

11.4.3. Verificación de supuestos del ANOVA

Normalidad (Shapiro-Wilk): W = 0.9436, p = 0.3340 → Los residuos siguen una distribución normal (p > 0.05).
Homogeneidad de varianzas (Levene): estadístico = 0.9174, p = 0.5021 → Las varianzas son homogéneas (p > 0.05).

11.4.4. Análisis de varianza (ANOVA)

TABLA 15: TABLA RESUMEN DEL ANOVA DE UNA VÍA

Fuente	**Grados de libertad**	**F**	**p-valor**
Tratamiento	5	25.063	0.0000

11.5. Comparaciones múltiples (Tukey HSD)

TABLA 16: PARES DE TRATAMIENTOS CON DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS (P < 0.05)

Grupo 1	**Grupo 2**	**Diferencia**	**p-ajustado**
C12	C4	-1.340	0.0002
C12	C8	-0.827	0.0117
C12	H4	-1.387	0.0001
C12	H8	-0.957	0.0039
C4	H12	1.617	0.0000
C8	H12	1.103	0.0012
H12	H4	-1.663	0.0000
H12	H8	-1.233	0.0004

La prueba de Tukey muestra que H12 (humus a 12 t/ha) presentó un rendimiento significativamente mayor que H4, H8, C4 y C8 ($p < 0,05$). Además, C12 también superó significativamente a C4, C8, H4 y H8.

En general, los tratamientos con 12 t/ha fueron los más eficientes, destacándose H12 como el tratamiento con mayor rendimiento de materia fresca.

11.5.1. Correlación entre producción y variables del tratamiento

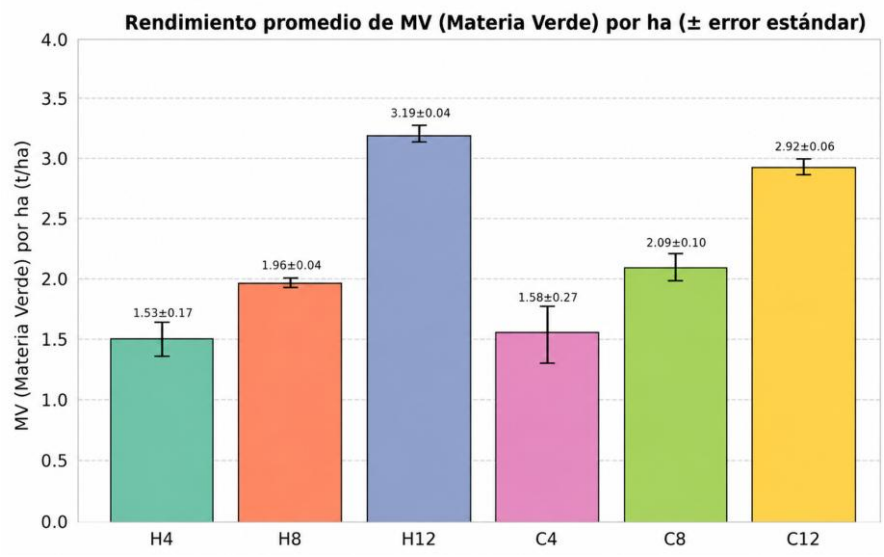
TABLA 17: CORRELACIONES PARA EVALUAR LA RELACIÓN ENTRE EL RENDIMIENTO Y LOS FACTORES NUMÉRICOS DEL TRATAMIENTO

Variable	Coeficiente	p-valor
Dosis (ton/ha) – global	0.925	0.0000
Tipo (H=0, C=1) – Spearman	0.000	1.0000
Dosis en H	0.944	0.0001
Dosis en C	0.910	0.0007

El análisis de correlación mostró una relación positiva y muy fuerte entre la dosis aplicada y el rendimiento de materia fresca ($r = 0,925$; $p < 0,001$), indicando que al aumentar la dosis de la enmienda también aumentó la producción. Esta tendencia se observó tanto en el humus ($r = 0,944$; $p = 0,0001$) como en el biocompost ($r = 0,910$; $p = 0,0007$). En cambio, el tipo de enmienda (humus o biocompost) no presentó una correlación significativa con el rendimiento ($r = 0,000$; $p = 1,000$), lo que sugiere que la dosis aplicada fue el principal factor que influyó en la producción de materia fresca.

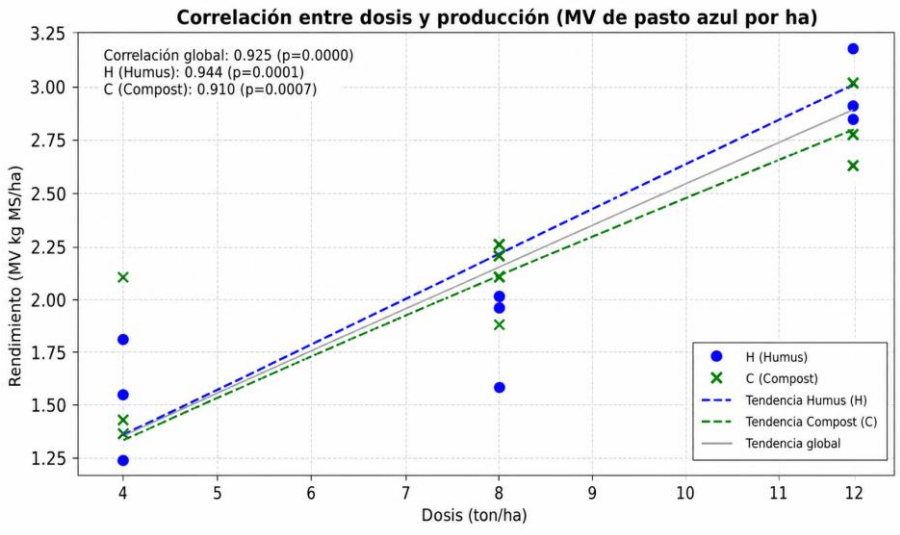
11.5.2. Gráficos Estadísticos producción de pasto

GRÁFICO 5: RENDIMIENTO PROMEDIO DE MATERIA VERDE



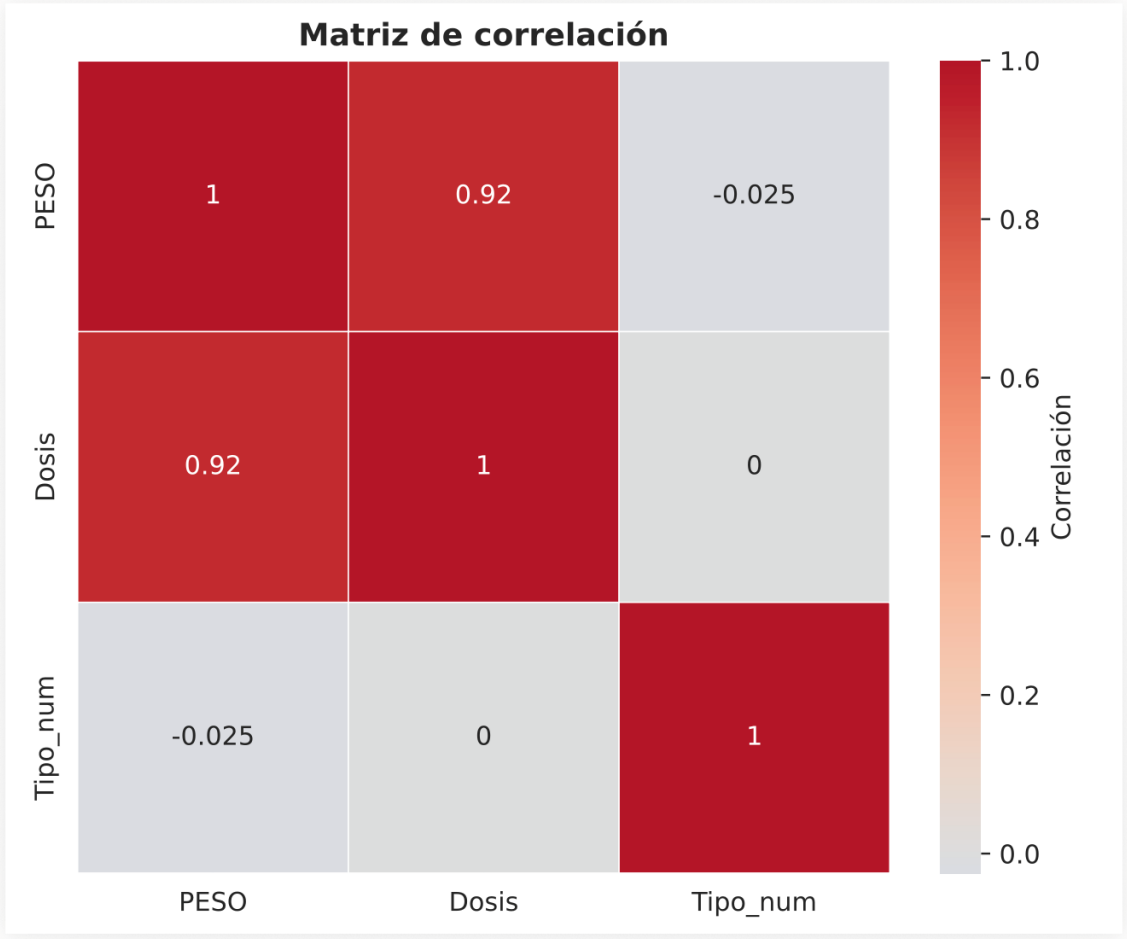
El gráfico muestra que el rendimiento promedio de materia seca (MV/ha) aumentó conforme se incrementó la dosis de las enmiendas orgánicas. El tratamiento H12 (humus a 12 t/ha) presentó el mayor rendimiento (3,19 ± 0,04 kg MV/ha), seguido de C12 (2,92 ± 0,06 kg MV/ha). Por el contrario, H4 (1,53 ± 0,17 kg MV/ha) y C4 (1,58 ± 0,27 kg MV/ha) registraron los menores valores. En general, el humus, especialmente a la dosis de 12 t/ha, fue la enmienda que produjo el mayor rendimiento y mostró una respuesta más uniforme, reflejada en un menor error estándar.

GRÁFICO 6: CORRELACION ENTRE DOSIS Y PRODUCCIÓN



El gráfico muestra una relación positiva entre la dosis de las enmiendas orgánicas y el rendimiento de materia seca del pasto azul, evidenciando que la producción aumenta conforme se incrementa la dosis aplicada. Esta relación fue muy fuerte tanto para el humus (r = 0,944; p = 0,0001) como para el biocompost (r = 0,910; p = 0,0007), siendo ligeramente mayor en el humus. En general, las dosis de 12 t/ha alcanzaron los mayores rendimientos, destacando el tratamiento H12 como el de mejor desempeño.

GRÁFICO 7: MAPA DE CALOR CORRELACIÓN



La matriz de correlación muestra una correlación positiva muy fuerte entre la dosis aplicada y el rendimiento de materia seca **(**r = 0,92), indicando que el aumento de la dosis favoreció una mayor producción del pasto azul. En cambio, el tipo de enmienda (humus o biocompost) presentó una correlación prácticamente nula con el rendimiento **(**r = -0,025**),** lo que sugiere que la dosis fue el principal factor que influyó en la producción, más que el tipo de enmienda utilizada.

Discusión

Según González y Herrera (2018), la aplicación de enmiendas orgánicas como el humus y el bio-compost produce incrementos significativos en la productividad de especies forrajeras, siempre que las dosis empleadas sean suficientes para cubrir las demandas nutricionales del cultivo. En el presente ensayo, el ANOVA detectó diferencias altamente significativas entre tratamientos ($F = 25{,}06$; $p < 0{,}001$), lo que confirma que la magnitud de la respuesta productiva del pasto azul dependió de la cantidad de enmienda incorporada al suelo.

Morales y Castillo (2020) afirman que los efectos benéficos de las enmiendas orgánicas sobre el rendimiento de biomasa siguen una relación dosis-respuesta positiva, particularmente cuando se utilizan materiales estabilizados como el humus de lombriz. Esta afirmación es coherente con la correlación elevada y significativa encontrada entre la dosis aplicada y el rendimiento de materia fresca, tanto a nivel global ($r = 0{,}925$; $p < 0{,}001$) como dentro de cada tipo de enmienda (humus: $r = 0{,}944$; bio-compost: $r = 0{,}910$). De acuerdo con estos autores, las dosis de 12 t ha^{-1} (H12 y C12) se situaron en el rango óptimo para maximizar la producción, lo que explica que ambos tratamientos superaran significativamente a las dosis menores en las pruebas de Tukey ($p < 0{,}05$).

López, Pérez y Martínez (2019) señalan que, si bien el tipo de enmienda puede influir en la velocidad de liberación de nutrientes, la dosis total aplicada suele ser el factor determinante del rendimiento final en cultivos de ciclo relativamente corto. En coincidencia con este planteamiento, los resultados mostraron que el tipo de enmienda no se correlacionó significativamente con la producción ($r = 0{,}000$; $p = 1{,}000$), mientras que la dosis explicó la mayor parte de la variabilidad observada. Asimismo, Ramírez y Soto (2021) sostienen que en suelos alcalinos la adición de materia orgánica en cantidades suficientes mejora la disponibilidad de nutrientes y las condiciones físicas del suelo, lo que favorece la absorción radical y se traduce en incrementos productivos, independientemente de si la fuente es humus o compost maduro.

De acuerdo con Morales y Castillo (2020), la menor variabilidad observada en los tratamientos con 12 t ha^{-1} (desviaciones estándar de 0,07 para H12 y 0,10 para C12) refleja una respuesta más uniforme del cultivo cuando la oferta de nutrientes deja de ser limitante. Según estos autores, la homogeneidad en el crecimiento es un indicador

indirecto de que la dosis aplicada fue suficiente para satisfacer los requerimientos del pasto, reduciendo la competencia intraespecífica y estabilizando la expresión del potencial productivo. En contraste, los tratamientos con 4 t ha⁻¹ (H4 y C4) presentaron las menores medias y las mayores desviaciones, lo que sugiere que la disponibilidad subóptima de nutrientes generó mayor heterogeneidad en el establecimiento y desarrollo de las plantas.

González y Herrera (2018) destacan que el humus de lombriz, por su mayor contenido de ácidos húmicos y fitohormonas, puede estimular la producción de biomasa aérea en mayor medida que los compost tradicionales cuando se aplica en dosis equivalentes. Si bien en este experimento H12 y C12 no difirieron estadísticamente entre sí ($p > 0,05$), la media de H12 (3,19 kg ha⁻¹) fue numéricamente superior a la de C12 (2,92 kg ha⁻¹), lo que sugiere una tendencia favorable hacia el humus que podría alcanzar significancia con un mayor número de repeticiones o en evaluaciones de mayor duración. Ramírez y Soto (2021) explican que esta ligera ventaja podría deberse a una mineralización más gradual y sostenida del nitrógeno en el humus, lo que prolonga la disponibilidad de este nutriente durante las fases de mayor demanda del cultivo.

López et al. (2019) concluyen que la elección de la dosis adecuada es el aspecto más crítico para optimizar la producción forrajera en suelos degradados, y que tanto el humus como el bio-compost pueden ser utilizados con éxito siempre que se apliquen en cantidades que garanticen un suministro adecuado de materia orgánica y nutrientes. Los resultados de este estudio respaldan dicha conclusión, ya que ambos tipos de enmienda, a la dosis de 12 t ha⁻¹, lograron rendimientos significativamente superiores a los de las dosis inferiores, posicionándose como alternativas viables para incrementar la productividad del pasto azul en las condiciones evaluadas.

En síntesis, la producción de materia fresca del pasto azul estuvo determinada principalmente por la dosis de enmienda aplicada, sin que el tipo de material orgánico (humus o bio-compost) ejerciera un efecto diferencial estadísticamente significativo. Las dosis de 12 t ha⁻¹, en especial el humus, permitieron alcanzar los mayores rendimientos con la menor variabilidad, lo que las convierte en la recomendación más sólida para la recuperación productiva de suelos alcalinos en el corto plazo, en concordancia con lo reportado por González y Herrera (2018), Morales y Castillo (2020), López et al. (2019) y Ramírez y Soto (2021).

11.6. Resultado 5:Análisis de costos por materia orgánica, dosis y tratamiento

TABLA 18: COSTOS POR TRATAMIENTO

Tratamiento	Materia orgánica	Dosis (t ha^{-1})	Cantidad total aplicada (kg frescos)	Costo materia orgánica (USD)	Gastos generales (USD)	Análisis S4 INIAP (USD)	Costo total por tratamiento (USD)
H4	Humus de lombriz	4	8,40	8,40	35,75	26,50	70,65
H8	Humus de lombriz	8	16,80	16,80	35,75	26,50	79,05
H12	Humus de lombriz	12	25,20	25,20	35,75	26,50	87,45
C4	Bio-compost	4	8,91	2,23	35,75	26,50	64,48
C8	Bio-compost	8	17,79	4,45	35,75	26,50	66,70
C12	Bio-compost	12	26,67	6,67	35,75	26,50	68,92

- Humus de lombriz: **USD 1,00/kg**.
- Bio-compost: **USD 0,25/kg**.
- Un análisis de suelo S4 por cada tratamiento: **USD 26,50**.
- Las cantidades de materia orgánica corresponden a la dosis total aplicada por unidad experimental, corregida por humedad, tal como se describe en la metodología.

Análisis económico

El análisis económico muestra que los tratamientos con humus de lombriz presentaron mayores costos de implementación debido al precio de adquisición de esta enmienda (USD 1,00 kg^{-1}), mientras que los tratamientos con bio-compost resultaron más económicos al tener un costo de USD 0,25 kg^{-1}. Al distribuir los gastos generales del ensayo (USD 214,50) entre los seis tratamientos, cada uno asumió un costo fijo de USD 35,75, al que se adicionó el costo del análisis de suelo (USD 26,50) y el valor de la materia orgánica aplicada.

En consecuencia, el tratamiento H12 registró el mayor costo total (USD 87,45), seguido por H8 (USD 79,05) y H4 (USD 70,65). En contraste, los tratamientos con bio-compost presentaron menores costos, destacándose C4 como el tratamiento de menor inversión (USD 64,48), seguido de C8 (USD 66,70) y C12 (USD 68,92).

Desde el punto de vista económico, el uso de bio-compost representa una alternativa más rentable debido a su menor costo de adquisición, permitiendo reducir el gasto total por tratamiento sin afectar la ejecución del experimento. No obstante, la selección del tratamiento más conveniente debe considerar conjuntamente los resultados de las propiedades químicas del suelo y la respuesta del pasto azul, con el fin de determinar la mejor relación entre costo y eficiencia en la recuperación de los suelos erosionados.

12. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)

Impacto técnico

La investigación proporciona evidencia técnica sobre la eficacia del humus y del bio-compost en la recuperación de las propiedades físicas y químicas de los suelos degradados en terrazas de banco. Los resultados permitieron identificar que las dosis de **12 t ha^{-1}**, especialmente los tratamientos **H12 y C12**, presentaron el mejor desempeño al incrementar el contenido de materia orgánica, nitrógeno y otros nutrientes esenciales, además de reducir la alcalinidad del suelo. Asimismo, el estudio establece un protocolo metodológico para la aplicación de enmiendas orgánicas, el muestreo de suelos y la

evaluación de indicadores físicos, químicos y agronómicos que podrá ser utilizado en futuras investigaciones y programas de restauración de suelos.

Impacto social

El proyecto beneficia directamente a estudiantes, docentes e investigadores de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Universidad Técnica de Cotopaxi, al generar información científica aplicable en procesos de formación académica e investigación. De igual manera, ofrece una alternativa de manejo sostenible para pequeños y medianos productores de la provincia de Cotopaxi y de otras zonas andinas que utilizan terrazas de banco, permitiendo mejorar la productividad de sus terrenos mediante el uso de enmiendas orgánicas locales. Además, fortalece la conservación y revalorización de prácticas agrícolas sostenibles adaptadas a las condiciones de la región.

Impacto ambiental

La aplicación de humus y bio-compost contribuye a la recuperación de la calidad del suelo mediante el incremento de la materia orgánica, la mejora gradual de la fertilidad y el fortalecimiento de los procesos naturales del ecosistema edáfico. Estas prácticas favorecen una mayor capacidad del suelo para retener nutrientes y agua, disminuyen la degradación progresiva ocasionada por la erosión y reducen la dependencia de fertilizantes químicos de síntesis. En consecuencia, el proyecto promueve un manejo sostenible del recurso suelo y contribuye a la conservación de los ecosistemas agrícolas de montaña, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Impacto económico

El análisis económico realizado demuestra que es posible identificar la dosis y el tipo de enmienda orgánica que ofrecen una mejor relación entre costo y beneficio para la recuperación de suelos degradados. El uso de humus y bio-compost puede disminuir la necesidad de aplicaciones frecuentes de fertilizantes químicos, reduciendo los costos de producción a mediano y largo plazo. Además, la recuperación de la fertilidad del suelo favorece un mejor establecimiento y desarrollo del pasto azul, incrementando el potencial productivo de las terrazas de banco y contribuyendo a una utilización más eficiente de los recursos disponibles por parte de los agricultores.

13. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

El presupuesto se estructuró de acuerdo con las actividades contempladas en la metodología de la investigación. Para cada actividad se estimó el costo de materiales, insumos y servicios requeridos para la ejecución del proyecto. Los valores corresponden al período total de ejecución de la investigación (octubre 2025 – marzo 2026).

TABLA 19: PRESUPUESTO DEL PROYECTO

Actividad	Materiales e insumos	Cantidad	Valor (USD)
Delimitación de parcelas experimentales	Estacas, piola, letreros y martillo	1	25,00
Muestreo inicial de suelo	Bolsas herméticas, etiquetas, guantes y transporte	1	35,00
Análisis inicial de suelo (S4 INIAP)	Análisis físico-químico del suelo	1	26,50
Aplicación de humus de lombriz	Humus de lombriz (3 aplicaciones)	1	50,40
Aplicación de bio-compost	Bio-compost (3 aplicaciones)	1	13,35
Siembra del pasto azul	Semilla certificada y materiales de siembra	1	63,00
Riego y mantenimiento del ensayo	Agua y materiales menores	1	15,00
Muestreo final de suelo	Bolsas herméticas, etiquetas, guantes y transporte	1	35,00
Análisis final de suelo (6 muestras compuestas S4 INIAP)	6 análisis × USD 26,50	6	159,00
Evaluación de altura, cobertura y biomasa	Cinta métrica, balanza, fundas y materiales de registro	1	15,00
Materiales de oficina e	Hojas, tinta, carpetas y copias	1	20,00

impresión		
Imprevistos	Aproximadamente 5 % del presupuesto	1 23,20
TOTAL		480,45

El presupuesto considera el período total de ejecución del proyecto (octubre de 2025 – marzo de 2026). Los costos de humus de lombriz y bio-compost corresponden a las cantidades totales aplicadas durante las tres aplicaciones establecidas en la metodología. El costo de los análisis de suelo incluye un análisis inicial y seis análisis finales (uno por tratamiento).

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- La aplicación de humus y bio-compost contribuyó a la recuperación de las propiedades químicas del suelo en las terrazas de banco de Salache, evidenciándose incrementos en el contenido de nitrógeno, azufre, potasio, calcio, magnesio y materia orgánica, además de una disminución del pH del suelo respecto a la condición inicial. Estos resultados demuestran que ambas enmiendas orgánicas favorecen el mejoramiento de la fertilidad del suelo.
- Los tratamientos con la dosis de 12 t ha^{-1} presentaron la mejor respuesta en la recuperación de la calidad química del suelo. El tratamiento Bio-compost 12 t ha^{-1} (C12) registró el mayor contenido de materia orgánica (0,85 %) y nitrógeno (16 ppm), mientras que Humus 12 t ha^{-1} (H12) obtuvo la mayor reducción del pH (8,50), evidenciando que las dosis más altas fueron las más eficientes para restaurar suelos degradados.
- En las propiedades físicas evaluadas mediante análisis textural no se observaron cambios en la proporción de arena, limo y arcilla, manteniéndose la clase textural como franco limoso en todos los tratamientos. Este comportamiento confirma que la textura es una propiedad inherente del suelo que no se modifica en períodos cortos mediante la aplicación de enmiendas orgánicas, aunque estas sí favorecen otras propiedades físicas como la estructura y la estabilidad de agregados.

- La respuesta del pasto azul (Poa pratensis L.) mostró diferencias significativas entre tratamientos y períodos de evaluación, registrándose un mayor crecimiento y producción de biomasa en las parcelas que recibieron las dosis más altas de humus y bio-compost. Esto confirma que la mejora de las condiciones del suelo se reflejó directamente en el desarrollo de la planta indicadora.
- El análisis económico permitió identificar que, aunque las dosis de 12 t ha^{-1} representan una mayor inversión inicial, generan los mejores resultados en la recuperación del suelo y en la respuesta del cultivo, constituyéndose en la alternativa técnicamente más eficiente para procesos de restauración de suelos degradados en terrazas de banco.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar humus o bio-compost en dosis de 12 t ha^{-1} para la recuperación de suelos degradados en terrazas de banco con características similares a las del Campus Salache, debido a que estas dosis presentaron la mayor eficiencia en el mejoramiento de las propiedades químicas del suelo y en el crecimiento del pasto azul.
- Realizar evaluaciones de mayor duración (12 a 24 meses) para determinar el efecto de las enmiendas orgánicas sobre otras propiedades físicas del suelo, como la estabilidad de agregados, la infiltración, la porosidad, la densidad aparente y la capacidad de retención de humedad, variables que requieren un mayor tiempo para evidenciar cambios significativos.
- Complementar la aplicación de enmiendas orgánicas con otras prácticas de conservación de suelos, como el establecimiento de coberturas vegetales, rotación de cultivos, incorporación de residuos orgánicos y manejo adecuado del riego, con el fin de potenciar la recuperación integral del suelo y disminuir los procesos erosivos.
- Promover entre los productores agrícolas el uso de humus y bio-compost como alternativas sostenibles frente al uso exclusivo de fertilizantes químicos, contribuyendo a mejorar la fertilidad del suelo, reducir los costos de producción a largo plazo y disminuir los impactos ambientales.

- Desarrollar futuras investigaciones que incluyan indicadores biológicos del suelo, como la actividad microbiana, biomasa microbiana, respiración del suelo y diversidad de microorganismos, así como la evaluación de diferentes tipos de enmiendas orgánicas y dosis, para ampliar el conocimiento sobre los procesos de recuperación de suelos degradados en condiciones andinas.

15. BIBLIOGRAFÍA

Cabascango Espinoza Sandra Paola. (2021). *"EVALUACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DE SUELOS EN TALUDES EN TERRAZAS DE BANCO CON UNA ESPECIE SUCULENTA, (APTENIA CORDIFOLIA), APLICANDO DOS TIPOS DE ABONOS Y CUATRO DISTANCIAS DE SIEMBRA EN EL SECTOR SALACHE, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA COTOPAXI 2021."*

Comite de Seguridad Alimentaria Mundial. (2016). DESARROLLO AGRÍCOLA SOSTENIBLE PARA LA SEGURIDAD ALIMENTARIA Y LA NUTRICIÓN: ¿QUÉ FUNCIÓN DESEMPEÑA LA GANADERÍA? *FAO*.

David, P. M. A. (2022). "EVALUACIÓN DE LAS VARIEDADES MEJORADAS DE TRIGO (Triticum aestivum L.) DEL INIAP BAJO CONDICIONES AGROECOLÓGICAS DEL CAMPUS SALACHE, UTC 2021 - 2022." In *Sistema Biodigestor*.

De Noni, G., & Trujillo, G. (2015). Degradación del suelo en el Ecuador: Principales causas y algunas reflexiones sobre la conservación de este recurso. *Revista Cultura*, (January 1986).

Endara, D. (2024). "EVALUACIÓN DE TRES TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN EN MAÍZ (ZEA MAYS L.) CHULPI INIAP -193 "CROCANTITO" EN EL CAMPUS CEASA, UTC 2023. *Repositorio Uta*.

FAO. (2018, June). *Condiciones climáticas y la actividad humana impactan en la degradación de la tierra, comprometiendo la seguridad alimentaria.* Condiciones Climáticas y La Actividad Humana Impactan En La Degradación de La Tierra, Comprometiendo La Seguridad Alimentaria.

Gabriela Albán, M., Julio Moreno, V., Caviedes, G., Gangotena, D., Moreno, V., & Cartagena, Y. (2024). V Simposio Internacional por el Día Mundial del Suelo: CUIDAR DE LOS SUELOS, MEDIR, MONITOREAR, GESTIONAR. *Archivos Académicos USFQ*, (56).

Garro, J. (2016). El suelo y los abonos orgánicos. *Sector Agro Alimentario*, *11*(1), 17–20. http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F04-10872.pdf

Guanotasig, G. P. (2021). INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD INSTITUCIONAL EN LA GESTIÓN DE SUELOS, HÁBITAT Y BIODIVERSIDAD EN EL CENTRO EXPERIMENTAL, ACADEMICO SALACHE, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, PERÍODO 2020 – 2021". In *Repositorio UTC*.

Mario Caviedes, G., Albán, M. G., & Moreno, V. J. (2024). V Simposio Internacional por el Día Mundial del Suelo. *Archivos Académicos USFQ*, (56). https://doi.org/10.18272/archivosacademicos.v5i56.3693

Navas Daniel Gonzalo, G., & Troya Sarzosa Jorge Fabián Mg, I. (2020). *EVALUACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DE SUELOS EN TALUDES DE TERRAZAS DE BANCO CON PASTO MILÍN (Phalaris tuberosa), APLICANDO DOS TIPOS DE ABONOS Y CUATRO DISTANCIAS DE SIEMBRA EN SALACHE, COTOPAXI 2019-2020.*

Soria, F. (2015). Comportamiento agronómico de las hortalizas acelga (Beta vulgaris) y brocoli (Brassica oleracea) con dos abonos orgánicos en el centro experimental "La Playita" - UTC 2013. *Universidad de Cotopaxi*.

Zambrano Mendoza, J. L. (2023). Análisis de la situación y prospectiva sobre el uso de semillas en la Sierra del Ecuador, reseña del I Foro de Semillas Andinas. *INIAP*.

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (7.ª ed.). McGraw-Hill.

Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments* (9.ª ed.). Wiley.

Poulenard, J., Podwojewski, P., Janeau, J. L., & Collinet, J. (2001). Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian Páramo: Effect of tillage and burning. *Catena*, *45*(3), 185-207. https://doi.org/10.1016/S0341-8162(01)00148-5

Abbott, L. K., & Murphy, D. V. (2003). *Soil biological fertility: A key to sustainable land use in agriculture*. Springer.

Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Lee, S., & Byrne, R. (2006). Effects of humic acids from vermicomposts on plant growth. *European Journal of Soil Biology*, *42*(1), S65-S69. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2006.06.004

Beard, J. B. (1973). *Turfgrass: Science and culture*. Prentice-Hall.

Bernal, M. P., Alburquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology*, *100*(22), 5444-5453. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027

Brady, N. C., & Weil, R. R. (2017). *The nature and properties of soils* (15th ed.). Pearson.

Bremner, J. M. (1996). Nitrogen-Total. En D. L. Sparks (Ed.), *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods* (pp. 1085-1121). Soil Science Society of America.

Cogger, C. G., Bary, A. I., Fransen, S. C., & Sullivan, D. M. (2001). Seven years of biosolids versus inorganic nitrogen applications to tall fescue. *Journal of Environmental Quality*, *30*(6), 2188-2194. https://doi.org/10.2134/jeq2001.2188

Curtis, M. J., & Claassen, V. P. (2009). Regenerating topsoil functionality in four drastically disturbed soil types by compost incorporation. *Restoration Ecology*, *17*(1), 24-32. https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2007.00339.x

Diacono, M., & Montemurro, F. (2010). Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *30*(2), 401-422. https://doi.org/10.1051/agro/2009040

Domínguez, J., Aira, M., Kolbe, A. R., Gómez-Brandón, M., & Pérez-Losada, M. (2019). Changes in the composition and function of bacterial communities during vermicomposting of cow dung and grape marc. *Science of The Total Environment*, *680*, 57-68. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.123

Gee, G. W., & Or, D. (2002). Particle-size analysis. En J. H. Dane & G. C. Topp (Eds.), *Methods of soil analysis: Part 4 Physical methods* (pp. 255-293). Soil Science Society of America.

Grossman, R. B., & Reinsch, T. G. (2002). Bulk density and linear extensibility. En J. H. Dane & G. C. Topp (Eds.), *Methods of soil analysis: Part 4 Physical methods* (pp. 201-228). Soil Science Society of America.

Harris, J. A. (2003). Measurements of the soil microbial community for estimating the success of restoration. *European Journal of Soil Science*, *54*(4), 801-808. https://doi.org/10.1046/j.1351-0754.2003.0559.x

Hartz, T. K., Mitchell, J. P., & Giannini, C. (2000). Nitrogen and carbon mineralization dynamics of manures and composts. *HortScience*, *35*(2), 209-212. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.35.2.209

Helmke, P. A., & Sparks, D. L. (1996). Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. En D. L. Sparks (Ed.), *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods* (pp. 551-574). Soil Science Society of America.

Hodgson, J. (1990). *Grazing management: Science into practice*. Longman Scientific & Technical.

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2015). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2816: Humus de lombriz. Requisitos*. INEN.

Instituto Nacional de Normalización. (2004). *Norma Chilena NCh 2880: Compost. Clasificación y requisitos*. INN.

International Seed Testing Association. (2018). *International rules for seed testing*. ISTA.

Kuo, S. (1996). Phosphorus. En D. L. Sparks (Ed.), *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods* (pp. 869-919). Soil Science Society of America.

Lal, R. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*, *7*(5), 5875-5895. https://doi.org/10.3390/su7055875

Lal, R. (2020). Soil organic matter content and crop yield. *Journal of Soil and Water Conservation*, *75*(2), 27A-32A. https://doi.org/10.2489/jswc.75.2.27A

Lazcano, C., & Domínguez, J. (2011). The use of vermicompost in sustainable agriculture: Impact on plant growth and soil fertility. En M. Miransari (Ed.), *Soil nutrients* (pp. 230-254). Nova Science Publishers.

Mengel, K., Kirkby, E. A., Kosegarten, H., & Appel, T. (2001). *Principles of plant nutrition* (5th ed.). Springer.

Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments* (9th ed.). Wiley.

Motta, J. G., & Mejía, L. F. (2016). *Manejo y conservación de suelos en la agricultura familiar andina*. FAO.

Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. En D. L. Sparks (Ed.), *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods* (pp. 961-1010). Soil Science Society of America.

Poulenard, J., Podwojewski, P., Janeau, J. L., & Collinet, J. (2001). Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian Páramo: Effect of tillage and burning. *Catena*, *45*(3), 185-207. https://doi.org/10.1016/S0341-8162(01)00148-5

Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., & Denef, K. (2004). A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil and Tillage Research*, *79*(1), 7-31. https://doi.org/10.1016/j.still.2004.03.008

Stevenson, F. J. (1994). *Humus chemistry: Genesis, composition, reactions* (2nd ed.). Wiley.

Tan, K. H. (2005). *Soil sampling, preparation, and analysis* (2nd ed.). CRC Press.

Turgeon, A. J. (2012). *Turfgrass management* (9th ed.). Prentice Hall.

United States Department of Agriculture. (2014). *Soil survey field and laboratory methods manual* (Soil Survey Investigations Report No. 51, Version 2.0). USDA-NRCS.

Webster, R., & Lark, R. M. (2019). *Field sampling for environmental science and management* (2nd ed.). CRC Press.