



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA AGROPECUARIA

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO BAJO
ENMIENDAS ORGÁNICAS EN EL CULTIVO DE AVENA (*Avena sativa* L.), SAN
GABRIEL -CARCHI.

Trabajo de grado previa a la obtención del Título de Ingeniero Agropecuario

AUTOR

BRAYAN MARCELO POZO REVELO

DIRECTOR

ING. LUIS MARCELO ALBUJA ILLESCAS, M.Sc.

IBARRA-ECUADOR

2025

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN
CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

**EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO
BAJO ENMIENDAS ORGÁNICAS EN EL CULTIVO DE AVENA (*Avena
sativa* L.), SAN GABRIEL -CARCHI.**

Trabajo de grado revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su
presentación como requisito parcial para obtener Título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

APROBADO:

Ing. Luis Marcelo Albuja Illescas, M.Sc.



DIRECTOR

FIRMA

Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas M.Sc.



MIEMBRO TRIBUNAL

FIRMA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN A
FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto repositorio digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
Cédula de identidad:	0401999255		
Apellidos y nombres:	Pozo Revelo Brayan Marcelo		
Dirección:	San Gabriel calles Sucre y Alejandro Aldas		
Email:	bmpozor@utn.edu.ec		
Teléfono fijo:	063009010	Teléfono móvil:	0980580443

DATOS DE LA OBRA	
Título:	Evaluación de propiedades físicas y químicas del suelo bajo enmiendas orgánicas en el cultivo de avena (<i>Avena sativa</i> L.), San Gabriel -Carchi.
Autor:	Pozo Revelo Brayan Marcelo
Fecha:	02 de Julio del 2025
Solo para trabajos de grado	
Programa	☒ PREGRADO ☐ POSGRADO
Título por el que opta	Ingeniero Agropecuario
Director	Ing. Luis Marcelo Albuja Illescas, MSc.

1. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Pozo Revelo Brayan Marcelo, con cédula de ciudadanía Nro. 0401999255, en calidad y titular de los derechos patrimoniales de la obra de trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital, Autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el repositorio digital institucional y uso del archivo digital en la biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin los derechos de autores terceros, por lo tanto, la obra es original y es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 02 días del mes de Julio del 2025

EL AUTOR



Brayan Marcelo Pozo Revelo

C.I.: 0401999255

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Pozo Revelo Brayan Marcelo, bajo mi supervisión.

Ibarra, a los 02 días del mes de julio de 2025



Ing. Albuja Illescas Luis Marcelo, MSc.
DIRECTOR DE TESIS

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA-UTN

Fecha: Ibarra, a los 02 días del mes de julio del 2025

Pozo Revelo Brayan Marcelo: “Evaluación de propiedades físicas y químicas del suelo bajo enmiendas orgánicas en el cultivo de avena (*Avena sativa* L.), San Gabriel -Carchi.”
/Trabajo de titulación. Ingeniero Agropecuario.

Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Ibarra, a los 02 días del mes de julio del 2025, 85 páginas.

DIRECTOR (A):

El objetivo principal de la presente investigación fue: Evaluar de propiedades físicas y químicas del suelo bajo enmiendas orgánicas en el cultivo de avena (*Avena sativa* L.), San Gabriel -Carchi. Entre los objetivos específicos se encuentran: Comparar el efecto de las enmiendas orgánicas en las propiedades físicas y químicas del suelo, determinar el rendimiento del cultivo con la aplicación de enmiendas orgánicas en el suelo por el cultivo de avena y analizar los resultados económicos de los tratamientos en estudio.



Albuja Illescas Luis Marcelo, MSc.

Director de Trabajo de Grado



Pozo Revelo Brayan Marcelo

Autor

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios, por darme la salud, la sabiduría y la fortaleza necesarias para culminar esta etapa tan importante de mi vida.

A la Universidad Técnica del Norte, por brindarme la oportunidad de formarme académicamente en un entorno de excelencia, compromiso y valores. Gracias a mis docentes y personas dentro de la universidad las cuales fueron clave para poder desarrollar mis capacidades y crecer como profesional y ser humano.

De manera especial, a Luis Albuja MSc., por su apoyo constante, sus valiosas observaciones y su acompañamiento a lo largo del desarrollo de esta tesis.

A mis padres y familia, por su amor incondicional, su respaldo emocional y económico, y por estar siempre presentes, impulsándome a seguir adelante.

A mis compañeros y amigos, por compartir conmigo esta etapa, por su amistad sincera y por ser parte de los momentos que hoy recuerdo con gratitud.

A todos quienes, de una u otra forma, contribuyeron a la realización de este trabajo, mi más sincero agradecimiento.

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía constante, darme fortaleza en los momentos difíciles.

A mis padres, por su amor incondicional, sacrificios y enseñanzas, que han sido el pilar fundamental de mi formación personal y académica, porque gracias a ellos hoy cumplo una meta en mi vida.

A mi familia, por su apoyo, comprensión y palabras de aliento que me impulsaron a seguir adelante.

A mis amigos verdaderos (los reales), por estar presentes en los momentos clave de este proceso, por sus consejos, compañía y risas que aligeraron el camino, por tantas vivencias dentro de este hermoso camino que fue la UTN.

A mis docentes, por compartir su conocimiento, por su exigencia académica y por motivarme a alcanzar mi mejor versión.

Esta tesis es el reflejo de todo ese acompañamiento, paciencia y amor. A todos, gracias de corazón.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE ECUACIONES	XIV
1 CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Problema.....	3
1.3 Justificación	5
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1Objetivo general	6
1.4.2Objetivos específicos	6
1.5 Hipótesis o preguntas directrices	6
2 CAPÍTULO II.....	7
MARCO TEÓRICO	7
2.1 Dinámica y características fundamentales del suelo	7
2.1.1Propiedades físicas del suelo.....	7
2.1.2Propiedades químicas del suelo	11
2.2 Enmiendas orgánicas para mejorar el suelo	13
2.3 Descripción del cultivo de avena.....	13
2.3.1Origen del cultivo.....	13
2.3.2Taxonomía	13
2.3.3Morfología de Avena sativa L	14
2.4 Tipos de enmiendas orgánicas.....	14
2.4.1Biochar 14	
2.4.2Lodos de depuración	15
2.4.3Abonos verdes.....	15
2.4.4Adiciones de estiércol	15
2.4.5Vermicompost.....	16
2.4.6Estiércol de chivo	16

2.4.7Compost	17
2.4.8Champiñonaza.....	17
2.4.9Abonos químicos.....	17
2.5 Análisis de las propiedades físicas del suelo con diferentes enmiendas orgánicas	18
2.6 Evaluación de las propiedades químicas del suelo tras la aplicación de enmiendas orgánicas	18
2.7 Impacto de las enmiendas orgánicas en la actividad biológica del suelo.....	19
2.8 Interacción de las enmiendas orgánicas en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo	19
2.9 Rendimiento y costos asociados a la aplicación de enmiendas orgánicas en el cultivo de avena.....	19
2.9.1Impacto de las enmiendas orgánicas en la productividad del cultivo	20
2.9.2Reducción de costos mediante la aplicación de enmiendas orgánicas.....	20
2.9.3Análisis de beneficios-costos en la aplicación de enmiendas orgánicas.....	20
2.10 Marco legal	21
2.10.1 Constitución de la república del Ecuador	21
2.10.2 Ley orgánica del régimen de la soberanía alimentaria.....	22
2.10.3 Acuerdo ministerial N° E34.....	22
3.1 Caracterización del área de estudio	23
3.1.1Características generales de la comunidad San Cristóbal	24
3.1.2Características climáticas	24
3.2 Materiales, equipos, insumos y herramientas	24
3.3 Métodos	25
3.3.1Tratamientos.....	25
3.3.2Diseño experimental.	25
3.3.3Características de la unidad experimental.....	27
3.3.4Análisis estadístico.....	27
3.4 Variables evaluadas	27
3.4.1Variables asociadas al suelo.....	28
3.4.2Variables asociadas al cultivo	32
3.5 Manejo específico del experimento	35
3.5.1Selección del predio	35
3.5.2Análisis de suelo	35
3.5.3Preparación del suelo	35

3.5.4	Delimitación del área experimental	36
3.5.5	Análisis y aplicación de enmiendas orgánicas	37
3.5.6	Siembra	38
3.5.7	Cosecha	39
3.5.8	Análisis de Suelo.....	39
3.6	Análisis económico	39
CAPÍTULO IV		40
4 RESULTADOS Y DISCUSIONES		40
4.1	Comparación del efecto de las enmiendas orgánicas en las propiedades físicas y químicas del suelo.	40
4.1.1	Densidad aparente	40
4.1.2	Humedad	41
4.1.3	Conductividad eléctrica.....	42
4.1.4	pH	44
4.1.5	Disponibilidad de nitrógeno.....	45
4.2	Determinación el rendimiento del cultivo con la aplicación de enmiendas orgánicas en el suelo por el cultivo de avena.	46
4.2.1	Días a la emergencia	46
4.2.2	Días al encañado	48
4.2.3	Materia seca	49
4.2.4	Altura	50
4.3	Evaluación del análisis económico.....	51
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		53
5.1	CONCLUSIONES.....	53
5.2	RECOMENDACIONES	54
<i>Anexo 1: Determinación de la cantidad de enmiendas orgánicas a utilizarse por hectárea.....</i>		<i>66</i>
<i>Anexo 2: Costos totales de la investigación.....</i>		<i>68</i>
<i>Anexo 3: Análisis económico del costo de aplicación por hectárea del estiércol de chivo</i>		<i>68</i>
<i>Anexo 4: Análisis económico del costo de aplicación por hectárea del compost.....</i>		<i>69</i>

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Valores de densidad real de los principales materiales y horizontes edáficos.</i>	9
Tabla 2. <i>Valores de referencia de densidad aparente, con relación a la textura</i>	9
Tabla 3. <i>Interpretación del pH del suelo y disponibilidad de nutrientes en el suelo.</i>	11
Tabla 4. <i>Características geográficas del área de estudio.</i>	24
Tabla 5. <i>Materiales, equipos, insumos y herramientas utilizadas para el desarrollo del experimento</i>	25
Tabla 6. <i>Enmiendas orgánicas por evaluar</i>	25
Tabla 7. <i>Características de la unidad experimental.</i>	27
Tabla 8. <i>Análisis de varianza del experimento</i>	27
Tabla 9. <i>ADEVA de la variable densidad aparente del suelo tratado con diferentes fuentes de fertilizante orgánico de densidad aparente</i>	40
Tabla 10. <i>Densidad aparente obtenida en los tratamientos en estudio.</i>	41
Tabla 11. <i>ADEVA de la variable humedad del suelo tratado con diferentes fuentes de fertilizante orgánico</i>	41
Tabla 12. <i>Humedad del suelo obtenida en los tratamientos en estudio</i>	42
Tabla 13. <i>ADEVA de la variable conductividad eléctrica del suelo tratado con diferentes fuentes de fertilizante orgánico</i>	42
Tabla 14. <i>ADEVA de la variable pH del suelo tratado con diferentes fuentes de fertilizante orgánico.</i>	44
Tabla 15. <i>ADEVA de disponibilidad de nitrógeno en el suelo tratado con diferentes fuentes de fertilizante orgánico.</i>	45
Tabla 16. <i>ADEVA de días a la emergencia del cultivo de avena tratado con diferentes fuentes de fertilizante orgánico.</i>	47
Tabla 17. <i>ADEVA de días al encañado del cultivo de avena tratado con diferentes fuentes de fertilizante</i>	48
Tabla 18. <i>ADEVA de Materia seca del cultivo de avena tratado con diferentes fuentes de fertilizante</i>	49
Tabla 19. <i>Materia seca obtenida del cultivo de avena con la aplicación de los tratamientos establecidos en el estudio</i>	50
Tabla 20. <i>ADEVA de altura de la planta</i>	50

Tabla 21. <i>Altura de la planta de avena del cultivo tratado con diferentes fuentes de fertilizante</i>	51
Tabla 22. <i>Análisis económico de las distintas enmiendas orgánicas</i>	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Área designada en la comunidad de San Cristóbal para el desarrollo de la investigación</i>	23
Figura 2. <i>Diseño experimental del área de investigación</i>	26
Figura 3. <i>Evaluación de densidad aparente</i>	28
Figura 4. <i>Evaluación de humedad en el suelo</i>	29
Figura 5. <i>Toma de datos de compactación de suelo</i>	30
Figura 6. <i>Evaluación de conductividad eléctrica</i>	31
Figura 7. <i>Evaluación del pH</i>	31
Figura 8. <i>Toma de muestra para disponibilidad de nitrógeno</i>	32
Figura 9. <i>Registro de días transcurridos hasta la emergencia de las plantas</i>	33
Figura 10. <i>Cultivo en etapa de encañamiento</i>	33
Figura 11. <i>Recolección de muestras de materia seca</i>	34
Figura 12. <i>Toma de datos de altura de planta</i>	35
Figura 13. <i>Preparación mecánica del suelo</i>	36
Figura 14. <i>Delimitación del área experimental</i>	36
Figura 15. <i>Toma de muestra para análisis del suelo</i>	38
Figura 16. <i>Siembra de Avena dentro de cada unidad experimental</i>	38
Figura 17. <i>Enmiendas orgánicas en relación con la conductividad eléctrica del suelo tratado con diferentes fuentes de fertilizante orgánico</i>	43
Figura 18. <i>Enmiendas orgánicas en relación con el pH del suelo tratado con diferentes fuentes de fertilizante orgánico</i>	44
Figura 19. <i>Enmiendas orgánicas en relación con la disponibilidad de nitrógeno en el suelo tratado con diferentes fuentes de fertilizante orgánico</i>	46
Figura 20. <i>Enmiendas orgánicas con relación a los días de emergencia del cultivo de avena tratado con diferentes fuentes de fertilizante</i>	47
Figura 21. <i>Enmiendas orgánicas con relación a los días al encañado del cultivo de avena tratado con diferentes fuentes de fertilizante</i>	49

ÍNDICE DE ECUACIONES

(Ecuación. 1).....	28
(Ecuación. 2).....	29
(Ecuación. 3).....	34

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO BAJO ENMIENDAS ORGÁNICAS EN EL CULTIVO DE AVENA (*Avena sativa* L.), SAN GABRIEL -CARCHI

Autor: Pozo Revelo Brayan Marcelo

Universidad Técnica del Norte

Correo: bmpozor@utn.edu.ec

RESUMEN

La fertilidad del suelo es un factor clave en la productividad agrícola y sostenibilidad de los ecosistemas. En Ecuador, la degradación del suelo debido al uso intensivo de fertilizantes químicos afecta su calidad y productividad. El cultivo de avena (*Avena sativa* L.) en San Gabriel, Carchi, es primordial para la producción forrajera y rotación de cultivos, pero su rendimiento resulta afectado por la falta de prácticas sostenibles. El presente estudio evaluó el impacto de enmiendas orgánicas como: estiércol de chivo, compost y champiñonaza frente a un testigo, en las propiedades físicas y químicas del suelo y en la productividad de avena. Se establecieron tratamientos en parcelas experimentales, se analizó parámetros como densidad aparente, humedad, conductividad eléctrica, pH y disponibilidad de nitrógeno. Los resultados indicaron mejoras en la densidad aparente del suelo disminuyó (1.18 g/cm^3) en los tratamientos con compost. La capacidad de retención de agua se incrementó (18%) en los suelos con compost y estiércol de chivo. Para la conductividad eléctrica, las enmiendas orgánicas presentaron una reducción (0.45 mS/cm). El pH del suelo en los tratamientos con compost (7.2). Mientras que el nitrógeno disponible, aumento (20%). El rendimiento del cultivo, incremento (25%) en la producción de materia seca en suelos tratados con compost. La altura de las plantas aumentó (13 cm) en los suelos tratados. Los análisis económicos mostraron que, aunque los costos iniciales de las enmiendas orgánicas fueron superiores, el incremento en el rendimiento y la mejora en la salud del suelo generaron un retorno económico positivo a largo.

Palabras clave: retención de agua del suelo, champiñonaza, estiércol de chivo, disponibilidad de nitrógeno

**EVALUATION OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF SOIL
UNDER ORGANIC AMENDMENTS IN OAT CULTIVATION (*Avena sativa* L.),
SAN GABRIEL -CARCHI**

Autor: Pozo Revelo Brayan Marcelo

Universidad Técnica del Norte

Correo: bmpozor@utn.edu.ec

ABSTRACT

Soil fertility is a key factor in agricultural productivity and ecosystem sustainability. In Ecuador, soil degradation due to the intensive use of chemical fertilizers affects its quality and productivity. The cultivation of oats (*Avena sativa* L.) in San Gabriel, Carchi, is essential for forage production and crop rotation, but its yield is affected by the lack of sustainable practices. This study evaluated the impact of organic amendments such as goat manure, compost, and mushroom substrate compared to a control, on the physical and chemical properties of the soil and oat productivity. Treatments were established in experimental plots, and parameters such as bulk density, moisture, electrical conductivity, pH, and nitrogen availability were analyzed. The results showed improvements: soil bulk density decreased (1.18 g/cm^3) in compost treatments. Water retention capacity increased (18%) in soils with compost and goat manure. Electrical conductivity was reduced (0.45 mS/cm) with organic amendments. Soil pH in compost treatments reached (7.2). Available nitrogen increased (20%). Crop yield increased (25%) in dry matter production in compost-treated soils. Plant height increased (13 cm) in treated soils. Economic analyses showed that, although the initial costs of organic amendments were higher, the increase in yield and improvement in soil health generated a positive long-term economic return.

Keywords: soil water retention, mushroom manure, goat manure, nitrogen availability

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La integridad del suelo, por su naturaleza viva y dinámica, juega un papel esencial en el cultivo agrícola. La sustentabilidad de un cultivo de alta calidad radica en prácticas eficientes que no solo buscan preservar, sino también optimizar la salud del suelo. Al priorizar la salud de este medio, no solo se promueve la obtención de productos agrícolas superiores, sino también la preservación de la integridad ecosistémica a diferentes escalas: local, regional y global. En esta línea, el balance entre la producción y el consumo de dióxido de carbono (CO₂) emerge como un factor crucial para garantizar la funcionalidad ecosistémica (Murillo et al., 2020).

Las enmiendas orgánicas se derivan de la descomposición de residuos, ya sean animales, vegetales o industriales. Al ser incorporadas al suelo, mejoran significativamente sus características químicas, físicas y biológicas. Debido a esto promueven la actividad microbiana, estabilizan el pH y enriquecen el perfil nutricional del sustrato, favoreciendo el desarrollo vegetal. Históricamente, la agricultura convencional ha favorecido la aplicación de compuestos químicos ricos en nutrientes como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Sin embargo, este enfoque ha traído repercusiones adversas para la salud del ecosistema edáfico y el equilibrio ecológico, potenciando la liberación de gases de efecto invernadero y exacerbando los desafíos ambientales globales (Zari, 2020).

En Ecuador, se ha observado una tendencia creciente hacia la aplicación de enmiendas orgánicas en el suelo. Dentro de este contexto, se destaca el cultivo de avena (*Avena sativa* L.) por sus variadas ventajas agronómicas y económicas. Desde una perspectiva zootécnica, este cereal se presenta como un recurso nutricional óptimo para el ganado, debido a que cerca del 60% de la producción nacional del cultivo es destinado como forraje (Moposita, 2023). Lo que contribuye a una mejor optimización de la producción tanto de carne como de leche. En términos agrícolas, su inclusión en sistemas de rotación con otros cereales, como el maíz y el trigo, promueve la prevención de la erosión y potencia la calidad edáfica (Murillo et al., 2020). Su implementación también representa una estrategia eficaz para aquellos agricultores que buscan diversificar sus cultivos y minimizar la dependencia de patrones tradicionales. A nivel alimenticio, la relevancia de este cultivo en la formulación

de productos nutritivos ha propiciado un incremento en su demanda y producción nacional (García y Maguana, 2015).

De esta manera la importancia de las enmiendas orgánicas en la agricultura ha sido objeto de numerosos estudios a lo largo de los años. Particularmente en el cultivo de avena (*Avena sativa* L.), las prácticas sostenibles han ganado relevancia, especialmente en regiones como San Gabriel – Carchi. En este contexto, la evaluación de compostaje a base de estiércol o vegetales como alternativas de fertilización se destaca por su relevancia e impacto. Smith et al. (2015), llevaron a cabo una investigación detallada sobre la aplicación de compost en el cultivo de avena, según este estudio, la implementación de compostaje incrementó significativamente la materia orgánica del suelo aproximadamente entre 10 y 40 toneladas por hectárea, por lo que se logró incrementar la materia orgánica del suelo en un rango del 0.5% al 2% después de varios ciclos de cultivo lo que mejoró su estructura y retención de agua (Brock et al., 2021). El compostaje, al descomponerse, liberó nutrientes esenciales lentamente, lo que permitió una nutrición constante para las plantas. No obstante, la investigación también señaló que la calidad del compost es esencial, siendo necesario asegurarse de que haya sido correctamente tratado para evitar la presencia de patógenos y semillas de malezas (Smith et al., 2015).

Por otro lado, Trujano et al. (2008) se centraron en el compost a base de estiércol como abono agrícola en cultivos de avena. Su estudio demostró que el estiércol, especialmente cuando se compostaba o fermentaba adecuadamente, aportaba una amplia gama de nutrientes al suelo tales como nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S) y micronutrientes como cobre (Cu), zinc (Zn) y manganeso (Mn) que son esenciales para el desarrollo y metabolismo vegetal (Kelbesa, 2021). Sin embargo, el uso de estos insumos sin un tratamiento previo adecuado puede contribuir a problemas de salinidad o transmitir enfermedades al cultivo, por lo tanto, es importante que se apliquen tratamientos adecuados que garanticen su inocuidad antes de su aplicación (Widowati et al., 2020).

El estudio de Rodríguez et al. (2020) se distinguió por su enfoque en la comparación entre compost y estiércol. Aunque ambos mostraron beneficios significativos en términos de mejora del suelo, el compostaje resultó ser más eficiente en la liberación controlada de nutrientes, mientras que el estiércol brindaba un impacto más inmediato, pero menos duradero. Sin embargo, la combinación de ambos, según el estudio, podría proporcionar un equilibrio ideal para el cultivo de avena, aprovechando las ventajas de cada uno.

Mientras que en un estudio realizado por Izquierdo y Arévalo (2021) se observó un aumento significativo en la retención de humedad (de 12.5% a 16.8%) en parcelas tratadas con enmiendas orgánicas en comparación con las que no recibieron tratamiento. Además, la concentración de materia orgánica aumentó en un 35% después de la aplicación de enmiendas orgánicas, según los resultados reportados por Smith y Punyasena (2014). Estos hallazgos respaldan la idea de que las enmiendas orgánicas pueden tener un impacto positivo en la mejora de las propiedades físicas y químicas del suelo en sistemas de cultivo de avena. Sin embargo, es importante destacar que la investigación específica en el contexto de San Gabriel, Carchi, aún es limitada.

Otra investigación clave es la de Ramírez y Vargas (2018), quienes destacaron la importancia de las enmiendas orgánicas no solo por sus beneficios para el suelo, sino también por su impacto en la sostenibilidad agrícola. Según sus hallazgos, el uso de compost vegetal o a base de estiércol reduce la dependencia de fertilizantes sintéticos, contribuyendo a prácticas agrícolas más sostenibles y a la reducción de la huella de carbono.

Por lo que, resulta importante tener en cuenta que los efectos de una enmienda pueden variar según la cantidad y frecuencia de la aplicación, además del tipo de suelo y condiciones climáticas en las que se encuentre. Por lo tanto, es recomendable realizar pruebas regulares del suelo para monitorear los cambios y ajustar el plan de enmiendas en consecuencia (Pihuave, 2020).

1.2 Problema

El aumento en la demanda de productos agrícolas para satisfacer las necesidades alimentarias tanto a nivel global como nacional ha llevado a los agricultores a depender ampliamente de compuestos químicos. Esta práctica, aunque incrementa la producción a corto plazo, tiene efectos colaterales en los ecosistemas terrestres y acuáticos, evidenciando una contaminación del suelo resultante del uso excesivo de estos compuestos. Este proceso ha derivado en erosión, pérdida de materia orgánica, degradación de nutrientes en los alimentos y contaminación ambiental (Álvarez et al., 2010).

La provincia de Carchi, situada al norte de Ecuador, es emblemática por su suelo volcánico fértil. A pesar de sus ventajas naturales para la agricultura, la intensificación de las prácticas agrícolas y ganaderas ha desencadenado degradaciones en zonas específicas. Estas degradaciones se evidencian en la erosión, atribuida a la remoción de cobertura vegetal y a labores agrícolas intensas; compactación, causada por sobrepastoreo y uso de maquinaria

pesada, pérdida de materia orgánica, vinculada al uso excesivo de químicos y gestión inapropiada de residuos (Prefectura del Carchi, 2019).

Los monocultivos de papa (*Solanum tuberosum* L.) en la provincia de Carchi, han suscitado preocupaciones significativas respecto a la salud y sostenibilidad de los suelos. La repetida siembra de un solo cultivo, en este caso la papa, agota los nutrientes específicos del suelo requeridos por la planta, conduciendo a una mayor dependencia de fertilizantes químicos para mantener los rendimientos (Intituto Nacional de investigaciones Agropecuarias, 2008) . Adicionalmente, el monocultivo favorece la proliferación de plagas y enfermedades específicas del cultivo, lo que puede llevar a un uso intensivo de pesticidas, exacerbando la degradación del suelo y afectando negativamente la biodiversidad del entorno (Barona, 2009).

Por último, al carecer de rotaciones de cultivo, las estructuras del suelo pueden debilitarse, resultando en una mayor susceptibilidad a la erosión y la pérdida de materia orgánica esencial (Castro y Flores, 2020). El impacto acumulativo de estas prácticas en Carchi subraya la necesidad de replantear las estrategias agrícolas para garantizar la sostenibilidad a largo plazo del precioso suelo volcánico de la región. Lamentablemente, la implementación de enmiendas orgánicas, que podrían enriquecer y recuperar las propiedades del suelo, no es una práctica común entre los agricultores de la región (León, 2020).

Es así como, el uso indiscriminado de fertilizantes químicos puede desencadenar graves repercusiones, como la contaminación del suelo y agua debido a la acumulación tóxica de nutrientes. Estos excesos nutricionales pueden causar eutrofización en cuerpos de agua, con consecuencias devastadoras como la proliferación algal y mortandad de peces. Estas prácticas también comprometen la salud del suelo a largo plazo, limitando su capacidad retentiva de agua y nutrientes, y, por ende, reduciendo la productividad agrícola. Es importante también considerar el impacto económico al momento de costos de fabricación y de salud que estos compuestos tienen sobre los agricultores y consumidores (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2020).

La calidad del suelo en la provincia del Carchi se encuentra afectada tanto en las propiedades físicas como químicas debido a la compactación del suelo por el uso continuo de maquinaria pesada y el sobrepastoreo, actividades que disminuyen la microporosidad del suelo, lo que limita la aireación y la infiltración hídrica factores importantes para el desarrollo radicular y actividades biológica (García et al., 2010). De la misma manera la aplicación de fertilizantes sintéticos en grandes cantidades produce alteraciones químicas como la salinización y la

acidificación del suelo lo que reduce la biodisponibilidad de nutrientes y alteran el equilibrio iónico del suelo, afectando la absorción por las plantas (González et al., 2021). Además, la pérdida de materia orgánica afecta al suelo en la retención de humedad y la cantidad de nutrientes, debido a la escasa restauración de residuos vegetales y la limitada aplicación de enmiendas orgánicas lo que afecta la capacidad productiva a largo plazo de los suelos de la región (Izquierdo y Arévalo, 2021).

1.3 Justificación

La demanda mundial de alimentos ha experimentado un incremento significativo debido al crecimiento poblacional, lo que ha conllevado a una producción masiva de alimentos, a menudo sin la debida consideración por el cuidado medioambiental (Pérez et al., 2008). En Ecuador, esta problemática se ha evidenciado durante la última década, lo que ha fomentado la búsqueda de alternativas más sostenibles. En este contexto la implementación de enmiendas orgánicas toma paso como una estrategia agropecuaria que no solo mejora la fertilidad del suelo si no que reduce la dependencia a fertilizantes químicos. Prácticas que permiten optimizar la calidad del suelo y fortalecen su estructura, logrando así una adopción de prácticas más respetuosas con el medio ambiente (Charvet, 2012).

El presente estudio genera conocimientos científicos sobre el impacto de las enmiendas orgánicas en la producción agrícola lo cual beneficia directamente a los agricultores de la región. Al proporcionar alternativas sostenibles para la conservación del suelo, se fomenta una mayor estabilidad productiva, reduciendo costos a largo plazo y mejorando la calidad del cultivo de avena (Vázquez et al., 2020). Además, analizar estos efectos sirve como referencia para el diseño de prácticas agrícolas que promuevan el uso de enmiendas orgánicas, apoyando la seguridad alimentaria y la preservación de los ecosistemas acuáticos (Fernández y Martínez, 2021).

Desde una perspectiva económica, el uso de enmiendas orgánicas representa una oportunidad para mejorar la rentabilidad del sector agropecuario, ya que disminuye la dependencia de insumos sintéticos y optimiza la productividad del suelo (Martínez, 2022). Asimismo, su aplicación favorece la biodiversidad del suelo al estimular la actividad microbiana y mejorar la disponibilidad de nutrientes esenciales (Londoño, 2017). Contribuye a una agricultura más eficiente y sostenible que garantiza los beneficios tanto a corto como a largo plazo para productores, consumidores y el medio ambiente (Flores et al., 2014).

Adicionalmente, en Ecuador, la siembra de este cereal tras la cosecha de papa es una práctica que ha demostrado ser beneficiosa. Esto se debe a que este cultivo es tolerante a condiciones edáficas de menor fertilidad, por lo cual va a optimizar el uso de tierras post-cosecha de papa, enriqueciendo del medio con materia orgánica y nutrientes. Esta práctica no sólo mejora las condiciones del suelo, sino que también representa una fuente de ingresos adicional para los agricultores, dada la rentabilidad asociada a su comercialización (Merchancano et al., 2022).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar las propiedades físicas y químicas del suelo bajo enmiendas orgánicas en el cultivo de avena (*Avena sativa* L.), San Gabriel – Carchi.

1.4.2 Objetivos específicos

- Comparar el efecto de las enmiendas orgánicas en las propiedades físicas y químicas del suelo.
- Determinar el rendimiento del cultivo de avena con la aplicación de enmiendas orgánicas en el suelo.
- Analizar los resultados económicos de los tratamientos en estudio.

1.5 Hipótesis o preguntas directrices

Ha: La aplicación de enmiendas orgánicas influye en las propiedades físicas y químicas del suelo.

Ho: La aplicación de enmiendas orgánicas no influye en las propiedades físicas y químicas del suelo

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Dinámica y características fundamentales del suelo

El suelo es definido por Burbano (2016) como un recurso natural finito y esencial, que cumple diversos servicios ecosistémicos, entre los que destaca su papel determinante en los ciclos biogeoquímicos. Estos ciclos, son esenciales para la sustentabilidad biológica del suelo, engloban el tránsito y transformación de elementos cruciales como el carbono, el nitrógeno y el fósforo que, alimentados por la energía, fluyen de manera constante entre los entornos biológicos y abióticos.

Además de estos roles, el suelo sustenta directamente la seguridad alimentaria y el bienestar global, gracias a los innumerables servicios ambientales que brinda. Según la FAO (2020), el suelo puede ser visto como un componente intrínseco de sistemas más extensos como la vegetación, agua y clima; y los "Ecosistemas", que integran también aspectos socioeconómicos.

La estructura del suelo se basa en cuatro pilares fundamentales: minerales, materia orgánica, agua y aire. La interacción y proporción de estos componentes da lugar a diversas propiedades físicas y mecánicas del suelo, tales como textura, estructura, color, permeabilidad, porosidad, drenaje, consistencia, profundidad efectiva y pH (Burbano, 2016). Es crucial subrayar que el agua actúa como el nexo primordial que posibilita la vida vegetal en el suelo. Paralelamente, el aire facilita la respiración de las raíces vegetales y de los seres vivos que cohabitan en dicho medio.

Por su parte, la materia orgánica, que surge de la descomposición de vestigios vegetales y animales, se transforma en nutrientes vitales que potencian la fertilidad del suelo. Acentuando la complejidad de este sistema, existe una comunidad microbiana y faunística, conformada por bacterias, hongos, lombrices, insectos y virus, entre otros, que juegan un papel trascendental en la formación del suelo y en los procesos de descomposición y ciclado de nutrientes (Burbano, 2016).

2.1.1 *Propiedades físicas del suelo*

Las propiedades físicas del suelo incluyen la textura, estructura, porosidad, densidad aparente, retención de agua y color, desempeñan roles cruciales en la determinación de la

calidad y funcionalidad de un suelo para diversos usos, desde la agricultura hasta la ingeniería civil.

2.1.1.1. La textura. La textura del suelo es una característica intrínseca que denota la proporción relativa de sus partículas constituyentes: arena, limo y arcilla. Esta proporción es esencial ya que determina aspectos cruciales relacionados con la retención de agua, nutrientes y la trabajabilidad del suelo. Las partículas de arcilla retienen agua y nutrientes de manera más eficiente que sus contrapartes. En contraste, las partículas de arena poseen una menor capacidad de retención hídrica y nutricional. El limo, presenta una capacidad de retención moderada, siendo inferior a la arcilla, pero superior a la arena (Calderón et al., 2018).

Siguiendo la clasificación propuesta por Navarro et al. (2012), los suelos se agrupan en función de la predominancia de estas partículas. Así, los suelos arenosos, formados por fragmentos de roca erosionada, favorecen una excelente permeabilidad al agua y aire, aunque su capacidad de retener nutrientes es limitada. Los suelos limosos, con partículas más diminutas que la arena, pero mayores que la arcilla, tienen una retención de agua y nutrientes superior a los arenosos. Finalmente, los suelos arcillosos, compuestos por partículas extremadamente finas, exhiben una elevada capacidad de retención, aunque su cohesión puede dificultar su manejo al formar masas compactas.

2.1.1.2. Estructura. La estructura del suelo se refiere a la manera en que las partículas minúsculas del suelo como, arena, limo y arcilla se agrupan y se disponen formando agregados de varios tamaños y formas (Brandy y Weil, 2008). Estos procesos incluyen la actividad de organismos del suelo, la cristalización de sales, y la acción del congelamiento y descongelamiento, entre otros. Los suelos con buena estructura presentan poros adecuados para la infiltración del agua y la circulación de aire, lo que favorece la disponibilidad de nutrientes y la actividad biológica (Navarro et al., 2012). Por otro lado, una estructura del suelo pobre o dañada puede conducir a la compactación, lo que dificulta el crecimiento radicular y disminuye la infiltración del agua (Tisdall y Oades, 2006), provocando encharcamientos o erosión (Báez, 2018).

2.1.1.3. Porosidad y permeabilidad. La porosidad del suelo se refiere al volumen de espacios vacíos respecto al volumen total, lo cual es vital para determinar la cantidad de aire y agua que un suelo puede albergar. La permeabilidad, en cambio, describe la facilidad con que el agua puede moverse a través del suelo (Navarro et al., 2012).

2.1.1.4. Densidad aparente. La densidad indica la relación entre la masa de las partículas sólidas y el volumen total del suelo, incluyendo tanto las partículas sólidas como los poros (Weil y Brady, 2017). A medida que aumenta la densidad aparente de un suelo, generalmente disminuye la porosidad total, lo que puede resultar en una menor infiltración de agua y una reducción en la aireación del suelo. Por otra parte un suelo altamente compactado, con una densidad aparente elevada, puede ser un obstáculo para la germinación de semillas y el desarrollo de plantas, limitando así su rendimiento y salud (Ahmed et al., 2018). Como lo menciona Rubio (2010) que la densidad se vuelve menor con relación a los minerales presente en cada horizonte del suelo (Tabla 1).

Tabla 1.

Valores de densidad real de los principales materiales y horizontes edáficos.

Materiales minerales	Densidad aparente (Mg/m³)
Minerales de arcilla	2.00 - 2.60
Cuarzo, Feldespato	2.50 – 2.60
Minerales con elementos metálicos	4.90 – 5.30
Horizontes minerales	2.60 – 2.75
Horizontes orgánicos	1.10 – 1.40
Horizontes ricos en metales pesados	2.75
Valor medio para suelos minerales	2.65

Sin embargo, es esencial señalar que la densidad aparente óptima varía según el tipo de suelo. Rubio (2010), menciona que la densidad del suelo varía de acuerdo con la textura de suelo que se presente (Tabla 2). Por ejemplo, un suelo arcilloso tendrá naturalmente una densidad aparente más alta que un suelo arenoso, pero eso no necesariamente indica problemas de compactación en el primero la avena suele tener 500 a 540 kg/m³ (Chaudhari et al., 2013).

Tabla 2.

Valores de referencia de densidad aparente, con relación a la textura

Textura	Densidad aparente (Mg/m³)
Arcilloso	1.00 – 1.30
Francos	1.30 – 1.50
Arenoso	1.50 – 1.70

2.1.1.5. Retención de agua. Se refiere a la capacidad del suelo para absorber, almacenar y liberar agua a las raíces de las plantas (Hilel, 2003). Los suelos arenosos poseen grandes poros que permiten una rápida infiltración y drenaje de agua, tienen una baja capacidad de retenerla contra la gravedad, los suelos arcillosos, con poros más pequeños y numerosos, retienen agua con mayor fuerza, pero pueden presentar problemas de drenaje y anoxia radicular bajo condiciones de saturación (Rawls et al., 1992). La materia orgánica, por su parte, mejora la capacidad de retención de agua del suelo al incrementar su porosidad y estructura. Adicionalmente, la capacidad de retención de agua del suelo tiene un impacto directo en la frecuencia y eficiencia del riego, en la dinámica de la recarga de acuíferos y en la regulación de los flujos de agua superficial y subterránea (Dane y Toop, 2018).

Caicedo et al. (2021), mencionan que la retención de líquidos en el suelo se puede interpretar como humedad del suelo. En donde se mencionan tres tipos de humedad de suelo como es la humedad gravitacional o también llamada humedad libre, que se caracteriza por la fuerza de la gravedad, se encuentra en los macroporos, de movimiento rápido, en suelos bien drenados y no se considera humedad disponible. Como segundo la humedad capilar o humedad de microporo y es donde se llevan a cabo todas las interacciones fisicoquímicas y mineralógicas-biológicas entre el suelo y el medio ambiente. Se mantiene dentro del suelo debido a la cohesión y adhesión contra la fuerza de la gravedad. Y por último la humedad higroscópica en donde forma una película muy delgada alrededor de la superficie de las partículas del suelo, es muy difícil de eliminar debido a la presencia de fuerzas de adhesión. El suelo arcilloso retiene más cantidad de humedad higroscópica en comparación con suelos arenosos.

2.1.1.6. Color. El color del suelo, es un indicador valioso de diversas propiedades y condiciones del suelo que pueden tener repercusiones significativas en su calidad y uso. Según Schaetzl y Thompson (2015) el color del suelo se debe principalmente a la presencia de minerales específicos, materia orgánica y estado de humedad, y puede revelar detalles sobre la oxigenación, la mineralogía y la materia orgánica del suelo. La presencia de materia orgánica en descomposición tiende a oscurecer el suelo, dándole un color más marrón o negro, reflejando el contenido y estado de la materia orgánica.

Por otro lado, el color del suelo también puede actuar como un indicativo del drenaje del suelo. Suelos mal drenados tienden a ser grises o azules, mientras que suelos bien drenados, con una buena oxigenación, suelen mostrar colores más rojizos o amarillentos. Por ende, una

simple observación del color del suelo puede proporcionar a los científicos y agrónomos información valiosa sobre la historia, la química y la hidrología del suelo (Hans, 1992).

2.1.2 *Propiedades químicas del suelo*

Según Weil y Brady (2017), las interacciones químicas que se llevan a cabo en el suelo determinan la disponibilidad de nutrientes, afectan la estructura del suelo y tienen un papel vital en la movilidad de elementos a través del perfil edáfico. Propiedades químicas clave, tales como el pH, la capacidad de intercambio catiónico y la concentración de nutrientes minerales, configuran no sólo la fertilidad intrínseca del suelo, sino también su comportamiento ante adiciones externas, como fertilizantes y enmiendas.

2.1.2.1. pH del suelo. El pH del suelo, que denota su acidez o alcalinidad, es una propiedad que tiene un impacto directo en la solubilidad y, por lo tanto, en la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Havlin, 2017). Según Weil y Brady (2017), el pH del suelo se mide en una escala logarítmica que varía entre 0 y 14, siendo 7 el punto neutro. Valores por debajo de 7 indican acidez, mientras que valores superiores señalan alcalinidad. Las áreas con precipitaciones regulares tienden a tener suelos ácidos debido a la lixiviación de cationes básicos, como el calcio y el magnesio, y su reemplazo con protones o cationes ácidos, como el aluminio (Sposito, 2016). Por otro lado, los suelos alcalinos son comunes en zonas áridas donde la evaporación supera la precipitación (Lindsay y Norvell, 1978). De igual forma, Osorio (2012), menciona que el pH de los suelos determina la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y por ende la capacidad de los suelos de liberar minerales necesarios para un óptimo desarrollo del cultivo (Tabla 3).

Tabla 3.

Interpretación del pH del suelo y disponibilidad de nutrientes en el suelo.

pH	Categoría	Interpretación
< 5.0	Extremadamente ácido	Severa toxicidad por Al y quizá por Mn; Alta probabilidad de deficiencia de P, S, Mo y bases intercambiables; se esperan altos niveles de algunos micronutrientes. Muchos cultivos requieren encalamiento.
5.0 - 5.5	Fuertemente ácido	Toxicidad moderada por Al y Mn; deficiencia de P, S, Mo y bases; altos niveles de algunos micronutrientes. Muchos cultivos requieren encalamiento.

5.5 - 6.0	Moderadamente ácido	No se espera la toxicidad por Al; mayor disponibilidad de P, S, Mo y bases. Algunos cultivos susceptibles a la acidez del suelo requieren encalamiento.
6.0 - 6.5	Ligeramente ácido	Adecuada condición para la disponibilidad de nutrientes para las plantas.
6.5 - 7.3	Neutro	Altos niveles de Ca, Mg. Algunos cultivos pueden mostrar deficiencias de micronutrientes. La disponibilidad de P puede ser baja.
7.4 - 8.0	Alcalino	Baja disponibilidad de P y micronutrientes. Altos niveles de Ca, Mg. El Na puede ser un problema
>8.0	Muy alcalino	Severas limitaciones en la disponibilidad de algunos nutrientes. El nivel de Na puede ser tóxico

2.1.2.2. Capacidad de intercambio catiónico. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo es una medida fundamental de la capacidad del suelo para retener e intercambiar cationes positivos (por ejemplo, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , y NH_4^+) con la solución del suelo. Según Bohn et al. (1986) la CIC es una función de la cantidad y tipos de arcillas y materia orgánica presentes en el suelo, y representa la suma total de cationes que un suelo puede retener, generalmente expresada en centimoles de carga por kilogramo de suelo (cmol/kg). Una alta CIC es indicativa de un suelo con buena capacidad para suministrar nutrientes a las plantas, mientras que una baja CIC puede sugerir limitaciones potenciales en la capacidad nutricional del suelo (Henríquez et al., 2005).

Los componentes del suelo con alta CIC, como ciertas arcillas y la materia orgánica, tienen sitios negativos en sus superficies que pueden atraer y retener cationes positivos del entorno circundante (Mengel y Kirby, 2001). Esta capacidad de intercambio asegura que los nutrientes esenciales estén disponibles para las plantas a lo largo del tiempo, actuando el suelo como una especie de "reserva" de nutrientes (Cruz et al., 2020).

2.1.2.3. Concentración de nutrientes minerales. La concentración de nutrientes minerales en el suelo determina, en gran medida, la fertilidad del mismo y la capacidad de este para soportar el crecimiento vegetal. Según Weil y Brady (2017) los nutrientes minerales esenciales para las plantas, como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), junto con micronutrientes como zinc (Zn) y cobre (Cu), tienen una relación directa con la salud y productividad de los ecosistemas terrestres.

La disponibilidad de estos nutrientes no es constante y puede verse influenciada por varios factores, incluyendo el pH del suelo, la capacidad de intercambio catiónico y la actividad microbiana. Por ejemplo, Wiley (1996) señala que los suelos ácidos pueden limitar la disponibilidad de nutrientes como el fósforo, mientras que los suelos alcalinos pueden limitar la disponibilidad de micronutrientes como el hierro. Además, la materia orgánica del suelo juega un papel crucial en la disponibilidad de nutrientes. A medida que se descompone, libera nutrientes que previamente estaban inmovilizados, enriqueciendo la solución del suelo y haciéndolos accesibles para las plantas (Havlin, 2017).

2.2 Enmiendas orgánicas para mejorar el suelo

Las enmiendas orgánicas para Murillo et al. (2020) se precisan como materiales orgánicos utilizadas para mejorar las condiciones físicas, químicas y microbiológicas del suelo, permitiendo aumentar los macro y micronutrientes necesarios para que las plantas mejoren su producción. Los abonos verdes, los lodos de depuración, estiércol y vermicompost son algunos de los tipos de enmiendas orgánicas que se utilizan para mejorar la disponibilidad del agua para las plantas, reducir las emisiones de gases efecto invernadero, recuperar suelos degradados, disminuir la erosión, secuestrar metales pesados y carbono, y solubilizar macro y micronutrientes necesarios para las plantas.

2.3 Descripción del cultivo de avena

2.3.1 Origen del cultivo

La avena (*Avena sativa* L.) es un cereal que ha sido cultivado y utilizado por el ser humano desde tiempos antiguos. Su origen se remonta a las regiones templadas de Asia Menor y Europa del Este. A lo largo de los siglos, su cultivo se ha extendido a diversas partes del mundo, gracias a su adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas y su valor nutricional. Las evidencias arqueológicas indican que la avena ha sido cultivada desde al menos 2000 a.c. en diversos asentamientos neolíticos (Ramírez et al., 2013).

2.3.2 Taxonomía

Desde una perspectiva taxonómica, la avena pertenece al Reino Plantae, División Magnoliophyta, Clase Liliopsida, Orden Poales y Familia Poaceae. El género *Avena* comprende varias especies, pero *Avena sativa* L. es la más ampliamente cultivada y conocida por su uso en la alimentación humana (Miraj y Kiani, 2016).

2.3.3 Morfología de *Avena sativa* L

La planta de avena es una gramínea anual que puede alcanzar alturas de hasta 1.5 metros. Posee un sistema radicular fibroso y profundo, lo que le permite acceder a recursos hídricos en profundidad. Su tallo es erecto y hueco, con hojas alternas y lanceoladas. Estas hojas presentan una lígula membranosa en la base y están cubiertas por una fina capa de pelos, lo que les otorga un tacto áspero (Ramírez et al., 2013).

La inflorescencia de la avena es una panícula laxa y colgante, compuesta por espiguillas que contienen las flores. Cada espiguilla tiene de dos a tres flores, protegidas por glumas y lemas. El fruto de la avena es un cariósipside, comúnmente conocido como grano, que está rodeado por una cáscara fibrosa llamada paja. Este grano es rico en almidón, proteínas y lípidos, lo que lo convierte en una fuente importante de energía y nutrientes para la alimentación.

2.4 Tipos de enmiendas orgánicas

Según Calderón et al. (2018), las enmiendas orgánicas, empleadas para mejorar la calidad y características del suelo, presentan composiciones diversas que dependen directamente del material de origen. Reyes y Valery (2007) subrayan la importancia de las enmiendas orgánicas en la optimización estructural del suelo. Al aumentar el contenido de materia orgánica, se promueve la formación de poros que facilitan la circulación de agua y aire. Esta modificación estructural potencia la capacidad retentiva de agua del suelo y, simultáneamente, minimiza el riesgo de erosión.

Las enmiendas orgánicas desempeñan un papel crucial en la modificación y mejora de las propiedades del suelo. Al ser incorporadas, incrementan el contenido de materia orgánica, lo que a su vez influye positivamente en la estructura del suelo, favoreciendo la formación de agregados y mejorando la porosidad. Además, estas enmiendas actúan como fuentes de nutrientes esenciales, contribuyendo al equilibrio nutricional del suelo y reduciendo la necesidad de fertilizantes sintéticos (Cuevas et al., 2006).

2.4.1 Biochar

El biochar se obtiene a través de un proceso llamado pirólisis, que consiste en calentar material vegetal o animal en ausencia de oxígeno, produciendo lo que se conoce comúnmente como carbón mineral. El biochar presenta varias características beneficiosas para el suelo (Trujillo et al., 2019). En primer lugar, mejora la fertilidad del suelo al proporcionar nutrientes. También tiene la capacidad de absorber y retener elementos tóxicos, especialmente metales pesados como el cadmio y el cobre. Además, el biochar mejora la

asimilación de nutrientes por parte de las plantas y aumenta la capacidad de retención de agua en el suelo al estabilizar los agregados macro y microscópicos (Murillo et al., 2020).

2.4.2 Lodos de depuración

Los lodos de depuración, derivados de procesos de tratamiento de aguas residuales, han emergido como una enmienda orgánica prometedora para su uso agronómico. Estos subproductos, caracterizados por su alta concentración de materia orgánica y nutrientes esenciales, como nitrógeno, fósforo y potasio, pueden ser aplicados en suelos con deficiencias nutricionales, mejorando significativamente su fertilidad (Rocamora et al., 2015). A pesar de sus ventajas agronómicas, es vital subrayar que la calidad de los lodos de depuración puede variar dependiendo de su origen y el tratamiento al que hayan sido sometidos. Se ha observado que algunos lodos pueden contener trazas de metales pesados, patógenos o contaminantes orgánicos (Amador et al., 2015).

2.4.3 Abonos verdes

Los abonos verdes se refieren a la reutilización de subproductos vegetales provenientes de sistemas agrícolas, como ramas, hojas, troncos, frutas y aserrín, que se agregan directamente al suelo después de su cosecha. Estos abonos verdes se caracterizan por tener altos niveles de ácido fúlvico y húmico, que poseen una mayor capacidad para retener metales en comparación con los fertilizantes inorgánicos. Además, presentan una alta relación carbono/nitrógeno debido a que las partes leñosas de las plantas son ricas en carbono, mientras que las hojas son ricas en nitrógeno (Murillo et al., 2020).

2.4.4 Adiciones de estiércol

Las adiciones de estiércol son utilizadas como complemento a otras enmiendas orgánicas debido a sus beneficios para promover la actividad microbiana y la estabilización del suelo. Según Arellano et al. (2015), la adición de estiércol bovino a residuos compostados aporta macronutrientes como nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), así como bajas concentraciones de metales pesados como níquel (Ni), cadmio (Cd) y plomo (Pb) (Murillo et al., 2020).

No obstante, es necesario someter el estiércol a un proceso de estabilización para reducir la carga microbiana antes de utilizarlo como enmienda. Un ejemplo de esto es el estiércol de cuy suplementado con pulpa de café y cepa de plátano, que ha demostrado ser una buena fuente de fósforo en comparación con enmiendas basadas únicamente en pulpa de café, cepa de plátano o adiciones de cal agrícola. Estos materiales compostados mejoran la estructura

física y microbiológica del suelo (Murillo et al., 2020). La adición de estiércol al suelo es una práctica ancestral que ha mostrado consistentemente beneficios palpables en la mejora de las propiedades edáficas (Agüero et al., 2014).

2.4.5 Vermicompost

El vermicompost es el resultado de la interacción entre comunidades microbianas y lombrices de tierra, que promueven condiciones favorables para que la microbiota del suelo convierta residuos peligrosos en biomasa y productos de respiración celular. Especies de lombrices de tierra como *Eisenia foetida* S., *Lumbricus terrestris* L. y *Dendrobaena rubida* S., tienen la capacidad de bioacumular metales pesados como plomo (Pb), cadmio (Cd), cobre (Cu) y zinc (Zn), lo que las convierte en importantes para el ciclo de nutrientes y la desintoxicación del suelo.

Las lombrices de tierra también contribuyen a reducir la sedimentación al unir la materia orgánica en macro y microagregados, mejorando así la estructura del suelo. Además, los ácidos húmicos y fúlvicos presentes en el vermicompost disminuyen la lixiviación y mejoran la retención de agua en el suelo, aumentando su disponibilidad para las plantas (Murillo et al., 2020).

2.4.6 Estiércol de chivo

El estiércol de cabra, según Zamora (2008), es un tipo de fertilizante natural utilizado para mejorar la calidad del suelo y aumentar la producción agrícola. Contiene una gran cantidad de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, que son beneficiosos para el crecimiento de las plantas. Además, el estiércol de cabra es rico en materia orgánica, lo que contribuye a mejorar la estructura del suelo y su capacidad de retención de agua. También puede ser utilizado como alimento para las lombrices de tierra, las cuales son benéficas para la salud del suelo.

Hang et al. (2015), recomiendan someter al estiércol de chivo a procesos de compostaje o vermicompostaje, los cuales alteran sus propiedades químicas y microbiológicas. Tanto el compost como el vermicompost de estiércol caprino son adecuados como abonos orgánicos para cultivos como hortalizas, frutales y forrajes, tras eliminar patógenos, semillas de malezas y sustancias fitotóxicas. A diferencia de otros estiércoles, el de chivo es conocido por tener una menor salinidad y ser menos alcalino, lo que puede ser beneficioso en suelos propensos a la salinidad o alcalinidad excesiva (Hang et al., 2015).

2.4.7 Compost

El compostaje es un proceso aerobio en el que, mediante aireación, humedad y temperaturas controladas, se transforman los residuos orgánicos degradables en un producto estable e higienizado que se puede utilizar como abono o sustrato. Además, es una técnica que estabiliza y trata los residuos orgánicos biodegradables. Durante la fase termófila del proceso, el calor generado destruye bacterias patógenas, huevos de parásitos y semillas de malas hierbas, lo que resulta en un producto higienizado (Zamora et al., 2008). Además, el compostaje según Vargas et al. (2019) presenta beneficios desde una perspectiva ecológica e industrial debido a que permite eliminar y reciclar diversos tipos de residuos, evitando los problemas asociados con su vertido, y proporcionando materiales adecuados para su uso en la agricultura.

2.4.8 Champiñonaza

La champiñonaza es el residuo orgánico que queda después de la cosecha de los champiñones. Este residuo se compone de los restos de la turba (tierra de cobertura) y del micelio (raíces del hongo) que se cultivan en la turba. La turba se compone de musgo y otros materiales orgánicos que se descomponen lentamente en un ambiente anaeróbico (sin oxígeno) y ácido. El micelio se compone de hifas (filamentos) que crecen en la turba y absorben los nutrientes necesarios para el crecimiento del hongo. La champiñonaza se produce mediante un proceso de fermentación anaeróbica que convierte los restos orgánicos en un abono de alta calidad (Gómez et al., 2013).

Además, champiñonaza es un producto que se puede utilizar para mejorar la calidad de los suelos, ayuda a mejorar las propiedades físicas del suelo, contribuye al desarrollo radicular de las plantas y fomenta la actividad biótica del suelo, aumentando la presencia de microorganismos beneficiosos. También tiene la capacidad de retener agua, mejora el pH del suelo y está libre de patógenos. Los componentes principales de la champiñonaza son el tamo de arroz, el yeso, la gallinaza y la urea. Aunque la champiñonaza es rica en nutrientes, su alto contenido de sal y la inestabilidad de los componentes orgánicos pueden limitar su reutilización inmediata (Castillo, 2015). Adicionalmente, la champiñonaza puede estimular la actividad de microorganismos benéficos en el suelo, lo que resulta en un ecosistema edáfico más resiliente y saludable (Moya y Farinango, 2020).

2.4.9 Abonos químicos

Los abonos o fertilizantes químicos son sustancias que se agregan al suelo para mejorar la calidad del suelo y aumentar la producción de cultivos. Estos fertilizantes se componen de

nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, como nitrógeno, fósforo y potasio. Los fertilizantes químicos se pueden clasificar en dos categorías principales: fertilizantes inorgánicos y fertilizantes orgánicos (Martínez, 2022).

2.5 Análisis de las propiedades físicas del suelo con diferentes enmiendas orgánicas

Un estudio realizado en la Universidad Autónoma Chapingo, México se evaluó el efecto de las enmiendas orgánicas (estiércol de vaca y gallina) y la aplicación de un fertilizante químico (NPK) sobre las propiedades físicas y químicas del suelo de avena. Los resultados mostraron que la aplicación de enmiendas orgánicas mejoró significativamente la porosidad total del suelo, la capacidad de retención de agua y la conductividad hidráulica (Cotrina et al., 2020).

Según el estudio mencionado, la porosidad total del suelo aumentó en un 23% con la aplicación de estiércol de vaca y un 20% con la aplicación de estiércol de gallina. La capacidad de retención de agua aumentó en un 22% con la aplicación de estiércol de vaca y un 20% con la aplicación de estiércol de gallina. La conductividad hidráulica aumentó en un 25% con la aplicación de estiércol de vaca y un 23% con la aplicación de estiércol de gallina (Fontalvo y Andrade, 2018).

Por otro lado, un estudio realizado por Londoño (2017) demostró que las enmiendas orgánicas pueden ayudar a recuperar las propiedades físicas del suelo asociadas a la erosión hídrica. Estas enmiendas pueden ser una solución para el problema de la pérdida de suelo debido a la erosión hídrica.

2.6 Evaluación de las propiedades químicas del suelo tras la aplicación de enmiendas orgánicas

De acuerdo con Guamani (2021). la evaluación de las propiedades químicas del suelo después de la aplicación de enmiendas orgánicas se refiere a la medición de los cambios en el pH del suelo y la disponibilidad de nutrientes para las plantas. La incorporación de enmiendas orgánicas puede mejorar la calidad del suelo y aumentar la actividad biológica del suelo. De esta manera la incorporación de abono verde en el cultivo de avena con tres enmiendas químicas mejoró la calidad del suelo en términos de pH y nutrientes disponibles para las plantas. Además, se encontró que la aplicación de enmiendas orgánicas aumentó la actividad biológica del suelo y mejoró la retención de agua (Guamani, 2021).

2.7 Impacto de las enmiendas orgánicas en la actividad biológica del suelo

La incorporación de enmiendas orgánicas puede mejorar la actividad biológica del suelo y aumentar el rendimiento del maíz. En un experimento en campo bajo condiciones de temporal en Teopisca, Chiapas, México, se evaluaron 8 tratamientos que incluyeron una fertilización convencional (120-60-00 de NPK) y una combinación de enmiendas orgánicas (estiércol de vaca, gallinaza y lodo de aguas residuales) con y sin fertilización química. Los resultados mostraron que la aplicación de enmiendas orgánicas mejoró la actividad metabólica del suelo y el rendimiento de maíz (Álvarez et al., 2010).

2.8 Interacción de las enmiendas orgánicas en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo

La incorporación de enmiendas orgánicas al suelo tiene efectos positivos en sus características físicas y químicas. Calderón et al. (2018) menciona que la incorporación de biomasa de cultivos mejora los niveles de humus del suelo, carbono orgánico, fósforo, magnesio y micronutrientes. Las enmiendas orgánicas también mejoran la estructura y textura del suelo, haciendo que los suelos arcillosos sean más ligeros y los suelos arenosos más compactos. Las enmiendas orgánicas también pueden tener un efecto positivo en las propiedades biológicas del suelo. Por ejemplo, Londoño (2017) encontró que el aumento de la materia orgánica del suelo a menudo coincide con un aumento de la biomasa fúngica.

Según Scotti et al. (2014) la implementación de prácticas sostenibles que incorporan enmiendas orgánicas puede desempeñar un papel crucial en el mantenimiento o aumento del contenido de materia orgánica en los suelos agrícolas, lo que a su vez contribuye a preservar y mejorar su fertilidad. En ese sentido, las enmiendas orgánicas proporcionan beneficios significativos, como la provisión de nutrientes esenciales para las plantas, un aumento en el contenido de humus y, por consiguiente, una mayor capacidad de retención de agua, una mejor estructura del suelo y una mayor actividad microbiológica (Scotti et al., 2014).

2.9 Rendimiento y costos asociados a la aplicación de enmiendas orgánicas en el cultivo de avena

La incorporación de abonos verdes y otras enmiendas orgánicas ha mostrado impactos positivos tanto en el rendimiento agronómico como en la viabilidad económica del sistema de producción.

2.9.1 Impacto de las enmiendas orgánicas en la productividad del cultivo

Un estudio realizado por Chancosa y Viana (2015) donde se evaluó el efecto de abonos verdes en la calidad del suelo en la localidad de Peribuela (sector El Rabanal), parroquia Imantag, cantón Cotacachi, se realizó con el objetivo de determinar el efecto de los abonos verdes en la calidad del suelo. Los resultados indicaron que los abonos verdes mejoraron la calidad del suelo al aumentar la materia orgánica y los nutrientes disponibles para las plantas. Dentro del estudio se observó que la avena-vicia mostró una mayor producción de biomasa fresca en los tratamientos que incluían abono verde en comparación con el grupo de control. En concreto, se obtuvieron 1.7 toneladas por hectárea de biomasa fresca en los tratamientos con abono verde, mientras que en el grupo de control se registraron 0.9 toneladas por hectárea.

Asimismo, se encontró que la producción de biomasa seca fue superior en los tratamientos con abono verde en comparación con el control, siendo de 0.4 toneladas por hectárea en el caso del abono verde y 0.2 toneladas por hectárea en el control. Además, los tratamientos con abono verde presentaron un contenido de materia seca mayor que el grupo de control, alcanzando un valor del 25% en comparación con el 20% del control (Chancosa y Viana, 2015).

2.9.2 Reducción de costos mediante la aplicación de enmiendas orgánicas

La aplicación de enmiendas orgánicas no solo ayuda a prevenir el deterioro biológico y la compactación del suelo, sino que también facilita las labores de arado y promueve la germinación de las plantas y tiene un impacto económico significativo. En el estudio de Vega et al. (2021) se menciona que el uso de abonos verdes no solo previene el deterioro biológico y la compactación del suelo sino que también ofrece ventajas adicionales como facilitar el labor de arado, promueve la germinación de las plantas, controla plagas, malezas y nematodos, así como el ahorro de fertilizantes químicos, entre otros. Esto puede resultar en una reducción de costos significativa para los agricultores mediante la aplicación de enmiendas orgánicas puede generar ahorros del 20% al 40% en los costos de producción (Chancosa y Viana, 2015).

2.9.3 Análisis de beneficios-costos en la aplicación de enmiendas orgánicas

Desde una perspectiva de beneficios- costos, la inversión en enmiendas orgánicas puede implicar un gasto inicial mayor en comparación con los fertilizantes químicos convencionales, debido a la necesidad de adquirir o producir los insumos orgánicos y

aplicarlos de manera adecuada. Sin embargo, a mediano y largo plazo, los beneficios de las enmiendas orgánicas van desde una mejor calidad del suelo, mayores rendimientos y menores costos de fertilización lo que justifica la adopción de estas prácticas. Según estudios realizados en cultivos de cereales, se ha observado que la rentabilidad neta de los sistemas con enmiendas orgánicas puede incrementarse entre un 15% y un 30% en comparación con sistemas convencionales (Murillo et al., 2020).

2.10 Marco legal

2.10.1 Constitución de la república del Ecuador

En el marco de la constitución de la república del Ecuador, se establecen diversos artículos que respaldan la importancia de utilizar enmiendas orgánicas en la agricultura y la promoción de prácticas sostenibles para garantizar la soberanía alimentaria, la preservación del medio ambiente y la calidad de los alimentos. El artículo 13 de la Constitución reconoce el derecho de las personas y colectividades al acceso seguro y permanente a alimentos sanos, suficientes y nutritivos, promoviendo la soberanía alimentaria y fomentando la producción local en concordancia con las tradiciones culturales.

Asimismo, el artículo 15 resalta la necesidad de promover el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes, lo que respalda el enfoque de las enmiendas orgánicas como una práctica sostenible que contribuye a la protección del medio ambiente. Además, el artículo 52 establece el derecho de las personas a disponer de bienes y servicios de óptima calidad, así como a recibir información precisa y no engañosa sobre su contenido y características, lo que respalda la importancia de evaluar las propiedades del suelo en relación con las enmiendas orgánicas para garantizar la calidad de los alimentos.

En relación con la soberanía alimentaria, el artículo 281 establece que esta constituye un objetivo estratégico y una obligación del Estado, con responsabilidades como el fortalecimiento de la diversificación y la introducción de tecnologías ecológicas y orgánicas en la producción agropecuaria, la preservación de la agrobiodiversidad y de los saberes ancestrales asociados, y la regulación del uso y desarrollo de biotecnología bajo normas de bioseguridad. Estas responsabilidades respaldan la importancia de la investigación científica y la innovación tecnológica adecuadas para garantizar la soberanía alimentaria y la protección de la salud de la población.

2.10.2 Ley orgánica del régimen de la soberanía alimentaria

La ley orgánica del régimen de la soberanía alimentaria (LORSA) de Ecuador establece una base legal sólida que respalda la promoción y el fomento de la producción agroecológica, orgánica y sustentable. El artículo 1 de la LORSA enfatiza el objetivo estratégico del Estado de garantizar a las personas, comunidades y pueblos la autosuficiencia de alimentos sanos, nutritivos y culturalmente apropiados de manera permanente. Esta disposición legal resalta la importancia de implementar prácticas agrícolas que promuevan la soberanía alimentaria y que estén alineadas con la diversidad cultural y las necesidades de la población.

Por su parte, el artículo 14 de la LORSA establece que el Estado tiene la responsabilidad de estimular la producción agroecológica, orgánica y sustentable. Esto implica la implementación de mecanismos de fomento, programas de capacitación, líneas especiales de crédito y mecanismos de comercialización en los mercados internos y externos. Esta disposición legal respalda la importancia de brindar apoyo integral a los agricultores y comunidades rurales para que puedan adoptar prácticas agrícolas sostenibles y promover la producción de alimentos sanos y respetuosos con el medio ambiente.

2.10.3 Acuerdo ministerial N° E34

El acuerdo ministerial No E 234, al designar a la Agencia Ecuatoriana del Aseguramiento de la Calidad del Agro (AGROCALIDAD) como la autoridad competente para el registro, regulación y control de fertilizantes, enmiendas y acondicionadores de suelo, establece un respaldo legal relevante para mi tema de investigación sobre la evaluación de enmiendas orgánicas en las propiedades del suelo para el cultivo de avena.

Este acuerdo demuestra el interés y la preocupación del Estado ecuatoriano por garantizar la calidad y la seguridad de los productos utilizados en la agricultura, incluyendo aquellos que se utilizan para mejorar las propiedades del suelo. Al otorgar a Agrocalidad la responsabilidad de regular y controlar estos productos, se promueve la implementación de prácticas agrícolas sostenibles y el uso adecuado de enmiendas orgánicas en beneficio de la producción agrícola y la preservación del medio ambiente.

CAPÍTULO III

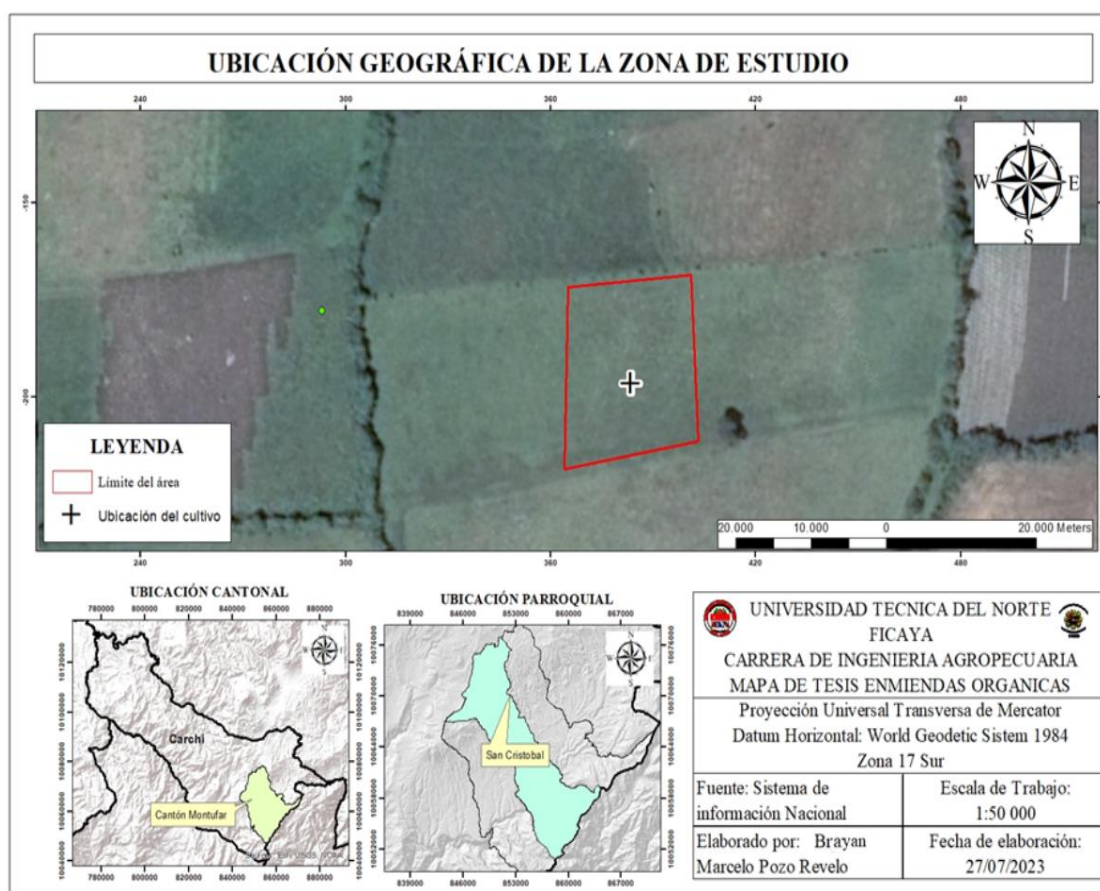
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Caracterización del área de estudio

El área de estudio se ubica en el extremo norte del callejón interandino entre los paralelos $1^{\circ} 12' 43''$ y $0^{\circ} 21' 50''$ de Latitud Norte y entre los meridianos $77^{\circ} 31' 36''$ y $78^{\circ} 33' 12''$ de Longitud Occidental. La zona de estudio es la comunidad San Cristóbal, una parroquia rural del cantón Montúfar y de la ciudad de San Gabriel, en la provincia de Carchi, Ecuador. Se ubica en la sierra norte del país, dentro del callejón interandino, y se caracteriza por su geografía montañosa, con altitudes que superan los 2800 msnm. Su clima es templado-frío con temperaturas que varían entre los 8°C y 16°C , lo que favorece a actividades agropecuarias como la producción de papa, cebada, trigo, maíz y otros cultivos andinos (Figura 1).

Figura 1.

Área designada en la comunidad de San Cristóbal para el desarrollo de la investigación.



3.1.1 Características generales de la comunidad San Cristóbal

Las características de la ubicación geográfica del área de estudio donde se realizó la evaluación de las enmiendas orgánicas se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4.

Características geográficas del área de estudio.

Ubicación a nivel provincial	
Provincia	Carchi
Cantón	Montúfar
Parroquia	Gonzales Suarez
Comunidad	San Cristóbal
Altitud	2836 m. s. n. m.
Latitud	0.63321274
Longitud	-77.83687949

3.1.2 Características climáticas

Esta área se distingue por un clima variado debido a su geografía montañosa y su proximidad a la línea ecuatorial. San Gabriel experimenta un clima subtropical de montaña. La altitud de aproximadamente 2 900 metros sobre el nivel del mar modifica significativamente las temperaturas que serían típicas de su latitud cerca del ecuador (INAMHI, 2019).

A lo largo del año, las temperaturas medias oscilan entre 10 °C y 18 °C. Los meses más fríos son junio y julio, mientras que septiembre y octubre suelen ser más cálidos. Por otro lado, San Gabriel, al estar en una región andina, presenta dos estaciones notables: una húmeda y una seca. La estación húmeda tiene lugar desde octubre hasta mayo, y la seca, entre junio y septiembre. Sin embargo, las lluvias pueden ser impredecibles y no están estrictamente confinadas a estos períodos (Cervantes, 2021).

3.2 Materiales, equipos, insumos y herramientas

En la Tabla 5 se da a conocer los diferentes materiales, equipos, insumos y herramientas que se utilizaron durante todo el periodo de la investigación.

Tabla 5.*Materiales, equipos, insumos y herramientas utilizadas para el desarrollo del experimento*

Materiales	Equipos	Insumos	Herramientas
Estacas	Cámara	Semillas (avena)	Azadón
Libreta de campo	Computadora	Abonos	Rastrillo
Piola	Balanza	orgánicos	Pala
Letrero	Cinta métrica	Fertilizante	Guantes
Grapas	Celular	químico	Bomba de
	Impresora	Herbicidas	mochila
			Martillo

3.3 Métodos

Se evaluó el suelo y cultivo en cuanto a los cambios producidos luego de la aplicación de enmiendas con diferente origen tanto orgánico como químico.

3.3.1 Tratamientos

En el presente estudio se analizaron cuatro enmiendas, cada una con tres repeticiones. La Tabla 6 presenta las enmiendas evaluadas.

Tabla 6.*Enmiendas orgánicas por evaluar*

Tratamientos	Descripción	Aplicación (kg/UE)
Enmienda 1	Estiércol de chivo	6.2
Enmienda 2	Compost	7.5
Enmienda 3	Champiñonaza	3.4
Testigo	Sin abono	SA

Nota: UE= Unidad experimental; SA= Sin abono

3.3.2 Diseño experimental.

El diseño en bloques completos al azar (DBCA) fue un enfoque experimental que permitió controlar las variabilidades no explicadas en el experimento mediante la agrupación de unidades experimentales en bloques homogéneos. El uso de bloques tuvo el propósito de igualar, o al menos reducir, las variaciones causadas por factores no controlados, garantizando que cada tratamiento se evaluara en un contexto comparativo y uniforme

(Contreras y López, 2009). La importancia de la incorporación de tres (3) repeticiones en el diseño no solo aumentó la precisión en las estimaciones sino también mejoró la confiabilidad de los datos.

Las repeticiones permitieron evaluar la consistencia de los resultados y proporcionar una medida robusta del error experimental. Específicamente, la realización de tres repeticiones, facilitó la identificación y control de las variaciones aleatorias, fortaleciendo así la validez de las conclusiones (Gordón y Camargo, 2015). La Figura 2 del estudio presenta una representación visual del DBCA adoptada en la investigación. Esta representación gráfica fue fundamental para clarificar la organización y ejecución de las unidades experimentales, los bloques y las repeticiones. Este tipo de visualización facilitó la interpretación de la metodología y proporcionó un recurso valioso para otros investigadores que busquen replicar o adaptar el estudio (Contreras y López, 2009).

Figura 2.

Diseño experimental del área de investigación

	↕ ↕ ↕ ↕ ↕	←3→						
BLOQUE 1	↕ ↕ ↕ ↕ ↕	T1R1		T2R1		T3R1		T4R1
	↕ ↕ ↕ ↕ ↕		←1→					←2→
BLOQUE 2		T2R2		T4R2		T1R2		T3R2
BLOQUE 3		T3R3		T1R3		T4R3		T2R3
	↕ ↕ ↕ ↕ ↕							

Nota: T1: Estiércol de Chivo, T2: Compost, T3: Champiñonaza, T4: Testigo; R1, R2, R3 son las repeticiones.

3.3.2.1 Características del experimento.

- Bloques: 3
- Tipos: 4
- Número de unidades experimentales: 12
- Área total del ensayo: 323 m²

3.3.3 Características de la unidad experimental

Las características de la unidad experimental establecidas para la evaluación de las enmiendas orgánicas se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7.

Características de la unidad experimental.

Datos	Medidas
Área total de la parcela	323 m ²
Área de la unidad experimental (UE)	9 m ²
Largo de la unidad experimental	3 m
Ancho de la unidad experimental	3 m
Distancia entre unidad experimental	2 m
Distancia entre bloques	3 m
Densidad de siembra	0.108 kg UE ⁻¹

3.3.4 Análisis estadístico.

El análisis estadístico se realizó utilizando el programa INFOSTAT versión 2020, mediante un análisis de varianza (ADEVA) con pruebas de media LSD Fisher a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ de acuerdo con el diseño en bloques distribuidos completamente al azar (Tabla 8).

Tabla 8.

Análisis de varianza del experimento

Fuentes de Variación	Fórmula	GL
Total	$(t \times R) - 1$	11
Bloques	$(t - 1)$	2
Tratamientos	$(R - 1)$	3
Error Experimental	$(t - 1)(R - 1)$	6

3.4 Variables evaluadas

Para la evaluación de las variables relevantes en este estudio, se llevaron a cabo diferentes procesos con el fin de determinar los cambios ocasionados por la aplicación de enmiendas de distinto origen. (Cotrina et al., 2020). Estas variables se clasificaron en dos categorías principales: variables asociadas al suelo y variables relacionadas con el cultivo.

3.4.1 Variables asociadas al suelo

3.4.1.1 Propiedades físicas del suelo.

3.4.1.1.1. Densidad aparente. La evaluación de la densidad aparente del suelo se llevó a cabo en dos momentos clave de la investigación: al inicio y al final del estudio (Robles, 2015). Para la determinación de la densidad aparente, se aplicó el método del cilindro de volumen conocido Figura 3. Este método fue elegido debido a su baja variabilidad y a la facilidad con la que puede ser repetida, garantizando su precisión y reproducibilidad de los resultados (Agostini et al., 2014). Al finalizar la investigación, se repitió el proceso de muestreo y análisis en los mismos sitios seleccionados inicialmente. Esta reevaluación permitió identificar variaciones en la densidad aparente del suelo a lo largo del tiempo y proporciona una visión integral de las dinámicas del suelo en el área de estudio.

$$\text{Densidad aparente} = \frac{\text{Peso de la muestra a } 105^{\circ}\text{C}}{\text{Volumen del cilindro muestreador}}$$

(1)

Figura 3.

Evaluación de densidad aparente



Nota: a) Toma de muestra ; b) Análisis de la muestra

3.4.1.1.2. Humedad del suelo. Con el propósito de obtener datos precisos sobre la humedad del suelo en el marco de nuestra investigación, se adoptó el método gravimétrico, tal como lo recomienda la Organización Mundial de Meteorología (OMM, 1994). Esta técnica se caracterizó por su efectividad en la determinación de la humedad del suelo. Al inicio de la investigación, se realizó una medición inicial utilizando el método gravimétrico para establecer una línea base de la humedad presente en las muestras de suelo seleccionadas Figura 4. Esta medición inicial proporcionó un punto de referencia que permitió evaluar cualquier variación en la humedad del suelo a lo largo del período de estudio.

$$Humedad = \frac{Peso\ del\ suelo\ seco}{Peso\ del\ suelo\ humedo} \times 100\% \quad (2)$$

Al concluir la investigación, se realizó una segunda medición gravimétrica en las mismas muestras de suelo. Esta medición final permitió comparar y analizar las posibles variaciones en la humedad del suelo.

Figura 4.

Evaluación de humedad en el suelo



Nota: a) Toma de muestra; b) Análisis de la muestra

3.4.1.1.3. Compactación de suelo. Se implementó una metodología rigurosa para la evaluación de las propiedades mecánicas del suelo, específicamente su resistencia a la penetración. Al inicio y al término del estudio, para lo cual se utilizó un penetrómetro pendiente con el objetivo de cuantificar, con precisión, la resistencia del suelo a la penetración a diversas profundidades. Esta herramienta proporcionó datos fundamentales sobre la consistencia y compactación del suelo en las diferentes capas del perfil edáfico Figura 5.

La identificación de áreas con alta resistencia a la penetración permitió inferir las condiciones subóptimas del suelo que pueden limitar la disponibilidad de agua y nutrientes esenciales para las plantas. Esta evaluación dual, realizada tanto al comienzo como al final del período de estudio, ofreció una visión integral de cómo las prácticas de manejo del suelo, aplicadas durante el curso de la investigación, afectaron su estructura y compactación (Bengough et al., 2011).

Figura 5.

Toma de datos de compactación de suelo



Nota: a) Toma inicial de compactación; b) Toma final de compactación

3.4.1.2 Propiedades químicas del suelo.

3.4.1.2.1. Conductividad eléctrica. Se adoptó la norma UNE 77308 como referencia metodológica para la determinación de la conductividad eléctrica en el suelo. Dicha norma estipula un método instrumental específico que utiliza un medidor de pH y conductividad eléctrica (UNE, 2001). Esta metodología fue aplicada tanto en las fases iniciales como en las finales del estudio con el objetivo de evaluar de manera precisa la capacidad del agua del suelo para transportar corriente eléctrica Figura 6. Es relevante destacar que esta capacidad está intrínsecamente ligada a la cantidad de nutrientes presentes en el suelo y los valores deben estar entre 0.8(S/m) y 1.8(S/m), y no debe superar los 2.5(S/m) (Andrades et al., 2015).

Figura 6.

Evaluación de conductividad eléctrica



Nota: a) Toma de muestra; b) Análisis de la muestra

3.4.1.2.2. pH. Para garantizar la precisión y reproducibilidad de los resultados, se adoptó la norma UNE77305. Esta normativa estandariza el procedimiento de medición del pH en soluciones acuosas, asegurando que los valores obtenidos sean comparables y confiables. Para lo cual se empleó un medidor de pH de alta precisión, el cual facilitó la cuantificación de la actividad del ion hidrógeno en la solución. Este instrumento, al estar calibrado adecuadamente, proporcionó lecturas exactas que reflejaron el verdadero estado ácido o alcalino del suelo en estudio (UNE, 2001).

Es importante señalar que esta metodología se aplicó en dos momentos cruciales de la investigación: al inicio, para establecer una línea base de las condiciones del suelo, y al final, como se muestra en la Figura 7 con el objetivo de evaluar posibles cambios en el pH como resultado de las intervenciones o aplicados durante el estudio cabe recalcar que un nivel de pH óptimo para el cultivo oscila entre 5.3 y 7 (Osorio, 2012).

Figura 7.

Evaluación del pH



Nota: a) Toma de muestra; b) Análisis de la muestra

3.4.1.2.3. Disponibilidad de nitrógeno. En el contexto de la producción agrícola sostenible de *Avena sativa* L., la disponibilidad de nitrógeno (N) en el suelo es esencial para el rendimiento y la salud del cultivo, la avena requiere una cantidad elevada de nitrógeno, por lo que se recomienda que el suelo tenga entre 70 y 140 kg de nitrógeno por hectárea (N ha⁻¹) en cada ciclo de cultivo. Para determinar la disponibilidad de N, se tomó inicialmente muestras representativas del suelo a una profundidad de 0-30 cm. Posterior al análisis inicial, se aplicó enmiendas orgánicas basadas en las necesidades específicas del cultivo.

Al finalizar el ciclo de cultivo, se recolectaron nuevamente muestras de suelo de las mismas unidades experimentales y se repetirán los análisis de nitrógeno como se muestra en la Figura 8. Finalmente, se compararon los valores obtenidos en ambos análisis para la evaluación del impacto de la aplicación de enmiendas orgánicas en la disponibilidad de nitrógeno en el suelo y correlacionar estos resultados con el rendimiento y calidad del cultivo. Esta metodología permitió una comprensión detallada de la dinámica del nitrógeno en relación con la producción de *Avena sativa* L., apuntando a prácticas agrícolas más sostenibles (Flores et al., 2014).

Figura 8.

Toma de muestra para disponibilidad de nitrógeno



3.4.2 Variables asociadas al cultivo

3.4.2.1. Días a la emergencia. Se registró el número de días transcurridos desde la siembra hasta que aproximadamente el 80% de las plantas de cada unidad experimental emerjan (Figura 9). Este dato es un indicador clave del establecimiento de las plantas, además permitió identificar variaciones en la respuesta de emergencia entre las unidades experimentales. (Noutary, 2014).

Figura 9.

Registro de días transcurridos hasta la emergencia de las plantas

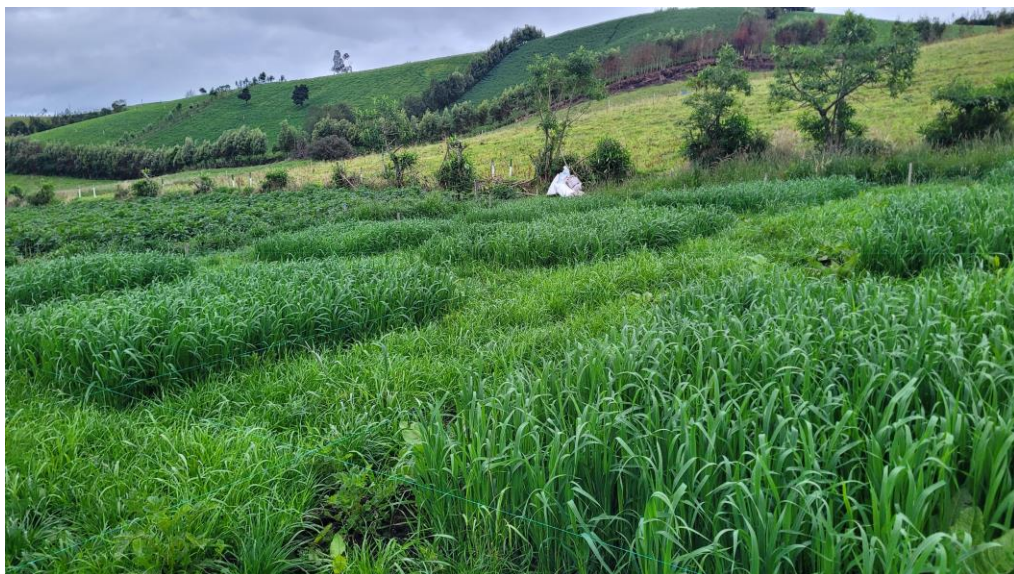


3.4.2.2. Días al encañamiento. La siembra de avena se llevó a cabo en todas las parcelas el mismo día, asegurando que las condiciones sean homogéneas (Montgomery, 2018). La etapa de encañamiento se identificó cuando se observó la primera protuberancia correspondiente al primer nudo del tallo principal. (Cajamarca y Montenegro, 2015).

En la etapa del encañamiento se visualizó al menos el 50% de las plantas con esta característica como se observa en la Figura 10 y por ende se registró el número de días transcurridos desde la siembra hasta alcanzar dicha fase (Benedetto y Tognetti, 2016).

Figura 10.

Cultivo en etapa de encañamiento



3.4.2.3. Materia verde y seca (kg/ha). Se seleccionaron parcelas aleatorias dentro del campo de cultivo, lo que garantizó una descripción adecuada de las condiciones generales del cultivo. Estas parcelas se eligieron teniendo en cuenta las variaciones topográficas y otros factores edáficos (S. Smith y Punyasena, 2014).

Los valores obtenidos de materia verde y seca se registraron y analizaron estadísticamente para determinar variaciones y tendencias en el desarrollo del cultivo (Okalebo et al., 2002).

$$\% \text{ Materia seca} = \frac{\text{Peso de muestra seca}}{\text{Peso de muestra verde}} \times 100 \quad (3)$$

Posterior al resultado obtenido, la muestra recolectada como se muestra en la Figura 11 fue multiplicada para completar una hectárea y así obtener su rendimiento.

Figura 11.

Recolección de muestras de materia seca



3.4.2.3. Altura de la planta (cm). Se seleccionaron al azar parcelas representativas que abarquen las variaciones inherentes del cultivo, incluyendo diferencias topográficas, densidad de siembra y condiciones edáficas. Dentro de cada unidad experimental, se eligieron al azar 10 plantas para la medición en (cm) con la ayuda de una cinta métrica o regla graduada como se muestra en la Figura 12 (Benedetto y Tognetti, 2016). Se midió la distancia desde la base del tallo hasta la panoja, 120 días posteriores a la siembra en donde el grano se encuentra en estado lechoso. (Bellon, 2002).

Figura 12.

Toma de datos de altura de planta



3.5 Manejo específico del experimento

3.5.1 Selección del predio

La selección de lote para el ensayo se guió por criterios específicos para garantizar la fiabilidad de los resultados. Por lo que se aseguró que el lote seleccionado haya sido anteriormente un campo de cultivo de papas, lo cual garantizó la presencia de residuos característicos del rastrojo de dicho tubérculo. Condición que fue esencial para la proporción de un sustrato con características residuales adecuadas para el estudio de las enmiendas orgánicas.

Además, se requirió que el terreno presente una topografía predominantemente plana evitando la presencia de pendientes pronunciadas lo que fue fundamental para minimizar posibles sesgos en los resultados del ensayo, asegurando que las condiciones del suelo fueran homogéneas en toda el área de estudio.

3.5.2 Análisis de suelo

Se aplicó la técnica de muestreo en zig-zag recomendada por Mendoza y Espinoza (2017) para una adecuada recolección de muestras de suelo. En este estudio, se recolectaron submuestras a una profundidad estándar de 20 cm, totalizando cinco submuestras. Tras eliminar material vegetativo, las submuestras se homogeneizaron para obtener una muestra compuesta de un kilogramo, la cual fue remitida al laboratorio Agrarproject en Quito.

3.5.3 Preparación del suelo

Este proceso se realizó previo a la siembra con 1 mes de anticipación para garantizar una buena degradación de los residuos del cultivo anterior y evitar malezas, para ello utilizó dos

pases de rastra con el objetivo de facilitar las labores de trabajo y obtener una buena germinación (Figura 13).

Figura 13.

Preparación mecánica del suelo



3.5.4 Delimitación del área experimental

Se efectuó la delimitación de cada una de las unidades experimentales con las respectivas distancias, en total se dividió el lote en 12 unidades experimentales las mismas que se encontraron divididas en 3 bloques (Figura 14).

Figura 14.

Delimitación del área experimental



3.5.5 Análisis y aplicación de enmiendas orgánicas

Para evaluar la efectividad de diferentes enmiendas orgánicas en la mejora de propiedades del suelo, se estableció un ensayo experimental que incluyó compost, estiércol de chivo y champiñonaza, comparados con un control sin abono. Las enmiendas se seleccionaron y prepararon para ser aplicadas de manera uniforme en parcelas experimentales, en dosis ajustadas a la densidad y tipo de suelo del área de estudio y siguiendo recomendaciones de manejo orgánico (Anexo 1). Para lo cual se aplicó: 6.2 kg por cada unidad experimental de la enmienda estiércol de chivo alcanzando un total de 18.6 kg. Para la enmienda de compost se aplicó 7.5 kg por cada unidad experimental, con un total de 22.5 kg. Por último, para la enmienda de champiñonaza se aplicó un total de 10.2 kg siendo así de 3.4 kg para cada unidad experimental.

Para el muestreo de suelo, las muestras se tomaron al inicio del estudio, antes de la aplicación de las enmiendas, y nuevamente después de un periodo de estabilización post-aplicación. Se extrajeron muestras de cada parcela a 15 cm de profundidad y se enviaron al laboratorio para su análisis inmediato (Figura 15).

Las propiedades evaluadas incluyeron pH, medido con un potenciómetro en una relación suelo:1:2.5; conductividad eléctrica (CE), determinada con un conductímetro en la misma proporción suelo para identificar el efecto de las enmiendas sobre la salinidad del suelo; y disponibilidad de nitrógeno (N), analizada mediante el método de Kjeldahl, que cuantifica el contenido total de nitrógeno, incluyendo formas disponibles como nitratos y amonio.

Los datos obtenidos para cada propiedad fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) para identificar diferencias significativas entre tratamientos con un nivel de significancia de 0.05; en caso de hallarse diferencias significativas, se aplicaron pruebas post hoc para determinar variaciones específicas entre tratamientos. Este enfoque permitió evaluar el impacto de cada enmienda en las propiedades químicas del suelo, concluyendo sobre la efectividad de las enmiendas orgánicas para mejorar la calidad de suelos agrícolas en comparación con el suelo sin abono.

Figura 15.

Toma de muestra para análisis del suelo



3.5.6 Siembra

La siembra de avena se realizó en hileras, para lo cual se siguió la metodología de León et al. (2018), quien establece que la densidad de siembra adecuada es de 120 kg/ha. De acuerdo con esta recomendación, se ajustó la cantidad de semilla a 0.108 kg para cada unidad experimental de 9 m², distribuidas en 20 hileras donde se obtuvo un total de 1.296 kg de semilla utilizada en todo el experimento (Figura 16). Las semillas se distribuyeron de manera uniforme sobre la superficie, asegurando una cobertura adecuada en cada unidad para maximizar la germinación y el desarrollo inicial del cultivo.

Figura 16.

Siembra de Avena dentro de cada unidad experimental



3.5.7 Cosecha

La cosecha se realizó según la escala de crecimiento de Zadoks, al momento de alcanzar la etapa Z-70 (Zadoks et al., 1974). En esta fase, los granos presentan el contenido óptimo de humedad y densidad, ideales para los análisis de calidad. La recolección se realizó mediante corte manual, asegurando la separación completa de la biomasa destinada a los análisis posteriores.

3.5.8 Análisis de Suelo

Se realizó un muestreo de suelo en cada unidad experimental siguiendo un diseño en zigzag, que proporciona una muestra representativa al abarcar distintas zonas de cada parcela. Las muestras se recolectaron a una profundidad de 0-20 cm para evaluar la cantidad de nitrógeno disponible tras la aplicación de las enmiendas orgánicas. El análisis se efectuó en un laboratorio certificado, donde se utilizó el método de Kjeldahl para determinar el contenido de nitrógeno, permitiendo comparar la efectividad de cada enmienda en la provisión de este nutriente esencial para el crecimiento de las plantas. Este método garantiza una medición precisa del nitrógeno total, diferenciando los efectos de cada tratamiento aplicado.

3.6 Análisis económico

Para analizar los resultados económicos de los tratamientos aplicados se consideró labores de preparación del suelo, aplicación de las enmiendas y manejo agronómico del cultivo de avena. Estos valores fueron registrados de manera detallada los costos asociados a cada tratamiento, incluyendo los costos de los insumos, preparación, aplicación de las enmiendas, y gastos extras.

Con esta información, se calcularon los márgenes brutos restando los costos totales de producción por hectárea. Por último, se compararon los resultados económicos entre tratamientos, identificando cuál de las enmiendas orgánicas es más rentable para los productores locales, considerando no solo los ingresos generados, sino también la inversión inicial requerida y su viabilidad dentro de las condiciones agrícolas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Comparación del efecto de las enmiendas orgánicas en las propiedades físicas y químicas del suelo.

Los resultados obtenidos de la comparación de distintas enmiendas orgánicas (estiércol de chivo, compost y champiñonaza) sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, en relación con un control sin abono, permitieron identificar diferencias en el comportamiento del suelo según el tratamiento aplicado y valorar la efectividad de cada enmienda en la mejora de sus características.

4.1.1 Densidad aparente

El análisis de varianza en la Tabla 9 mostró un valor de $F=0.65$ para las enmiendas, con un valor de $p=0.6131$. Debido a que el valor de p supera al nivel de significancia 0.05 no se encontró diferencias significativas entre las enmiendas y la densidad aparente del suelo.

Tabla 9.

ADEVA de la variable densidad aparente del suelo tratado con diferentes fuentes de fertilizante orgánico de densidad aparente

	numDF	denDF	F-value	p-value
Tratamiento	3	6	0.65	0.6131

Las medias de densidad aparente para los tratamientos con enmiendas orgánicas de estiércol de chivo, compost, y champiñonaza detalladas en la Tabla 10 tienen un valor de 1.5 g/cm^3 frente al control sin abono con un valor de 1.6 g/cm^3 , lo que sugiere que las enmiendas orgánicas evaluadas no tienen un efecto relevante en la reducción o aumento de la densidad aparente. Además, las medias del error estándar del compost tienen un valor de 0.003 ante los demás tratamientos con un valor de 0.01 lo que indica una menor variabilidad en las mediciones de este tratamiento. Por otro lado, las enmiendas orgánicas compost, estiércol de chivo y champiñonaza muestran una densidad aparente de 6.25% menor que el suelo sin abono.

Tabla 10.*Densidad aparente obtenida en los tratamientos en estudio*

Tratamientos	Densidad Aparente Inicial (g/cm ³)	Densidad Aparente Final (g/cm ³)
Estiércol de chivo	1.49	1.5 ± 0.01
Compost	1.49	1.5 ± 0.0033
Champiñonaza	1.49	1.5 ± 0.01
Testigo	1.49	1.6 ± 0.01

Tomando en cuenta la muestra inicial del presente estudio de 1.5 g/cm³ para todos los tratamientos y los datos de la muestra final de los tratamientos los resultados obtenidos contrastan con estudios previos Bulluck et al. (2002) reportaron que la aplicación de compost redujo la densidad aparente de 1.33 g/cm³ a 1.22 g/cm³ lo que sugiere que las enmiendas orgánicas aplicadas si disminuyen la densidad aparente del suelo.

Estudios como el de Renté et al. (2018) y Moya y Farinango (2020) en su estudio de Evaluación de propiedades fisico-químicas en suelos agrícolas mediante abonos orgánicos en cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Santa Martha de cuba, Carchi durante un periodo de seris meses afirman que la reducción en densidad aparente suelen observarse a largo plazo debido a la acumulación gradual de materia orgánica y la acción de las raíces del cultivo. En este estudio el tiempo y las condiciones de aplicación pueden no haber sido suficientes para producir cambios relevantes en la densidad aparente en el periodo evaluado.

4.1.2 Humedad

El análisis de varianza en la Tabla 11 mostró un valor de F=1.63 para las enmiendas, y un valor de p= 0.2786, valor que supera al nivel de significancia 0.05 no se encontró diferencias significativas entre las enmiendas en la humedad del suelo.

Tabla 11.

ADEVA de la variable humedad del suelo tratado con diferentes fuentes de fertilizante orgánico

	numDF	denDF	F-value	p-value
Tratamiento	3	6	1.63	0.2786

Las medias de humedad en el suelo para los tratamientos con enmiendas orgánicas de estiércol de chivo, compost, y champiñonaza detalladas en la Tabla 12 presentan ligeras variaciones con la champiñonaza el cual mostró el valor de humedad más alto con 57.79% y el valor más bajo perteneciente al compost con 56.48%. El error estándar en un control sin abono tiene el valor más bajo con 0.26, lo que indica una menor variabilidad en este grupo,

sin embargo, estas diferencias son pequeñas por lo que no son estadísticamente significativas y la aplicación de estos tratamientos no mejoran la capacidad de retención de agua en comparación con el suelo sin abono.

Tabla 12.

Humedad del suelo obtenida en los tratamientos en estudio

Tratamientos	Humedad Inicial (%)	Humedad Final (%)
Estiércol de chivo	50.59	57.50 ± 0.47
Compost	50.59	56.48 ± 0.45
Champiñonaza	50.59	57.79 ± 0.54
Testigo	50.59	57.08 ± 0.26

Los resultados mostraron que los tratamientos no incrementaron la retención de humedad en comparación al suelo sin enmienda por lo cual son similares con el estudio de Moya y Farinango (2020) donde se obtuvo un valor de $p=0.44$ lo cual coincide con la falta de impacto significativo en la humedad del suelo.

Según la investigación de Renté et al. (2018) indican que la humedad puede no manifestarse de inmediato, sino que requieren un período de aplicación más largo para observar cambios estadísticamente significativos. Mientras que Bulluck et al. (2002) informaron una disminución en la densidad aparente y una mejora en la capacidad de retención de humedad en estudios a largo plazo con compost, que pueden no haber sido evidentes en el presente estudio. La humedad en suelos con compost, estiércol y enmiendas de hongos mostró una variación máxima de 2.3% respecto al suelo sin fertilizante, diferencia que no fue suficiente para alcanzar la significancia estadística en este caso $p=0.2786$.

4.1.3 Conductividad eléctrica

El análisis de varianza en la Tabla 13 mostró un valor de $F=105.84$ para las enmiendas, y un valor de $p= <0.0001$, valor menor al nivel de significancia 0.05 por lo tanto si se encontró diferencias significativas entre las enmiendas en la conductividad eléctrica del suelo.

Tabla 13.

ADEVA de la variable conductividad eléctrica del suelo tratado con diferentes fuentes de fertilizante orgánico

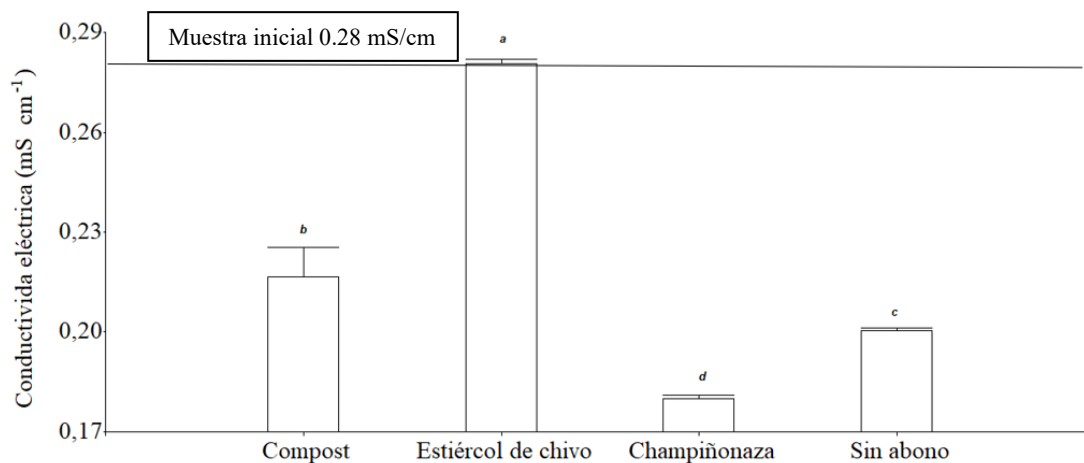
	numDF	denDF	F-value	p-value
Tratamiento	3	6	105.84	<0.0001

Las medias de la conductividad eléctrica en el suelo mostraron variaciones entre las enmiendas aplicadas dentro de la Figura 17 se muestra que al estiércol de chivo con valor de 0.28 mS/cm con conductividad eléctrica más alta y a la champiñonaza con el valor de conductividad eléctrica más bajo 0.18 mS/cm mientras que el compost y el control sin abono tienen valores intermedios.

De esta manera se observó que la enmienda con estiércol de chivo tiene el efecto más relevante en la conductividad eléctrica, mientras que el compost y la champiñonaza presentan efectos moderados.

Figura 17.

Enmiendas orgánicas en relación con la conductividad eléctrica del suelo tratado con diferentes fuentes de fertilizante orgánico



Tomando en cuenta el valor inicial de la muestra de 0.28 mS/cm los resultados obtenidos en este estudio concuerdan con el estudio de Bulluck et al. (2002), el cual tras las aplicación de estiércol de chivo elevó la conductividad eléctrica hasta un 30% en suelos con valores iniciales de 0.25 mS/cm, mientras que el compost solo incrementó el valor un 12% por lo que suelos tratados con estiércol mantienen o aumentan la conductividad eléctrica del suelo lo que dificultó la absorción de nutrientes esenciales como N, P, K.

Por otro lado Sultani et al. (2007), en su estudio se indicó una reducción significativa en la conductividad eléctrica de suelos tratados con enmiendas orgánicas ricas en materia orgánica y bajos niveles de sales, con un valor de 0.15 mS/cm desde una base inicial de 0.20 mS/cm. Valor similar al obtenido con la champiñonaza en el presente estudio el cual alcanzo el valor más bajo con 0.18 mS/cm. Mientras que Renté et al. (2018) identificaron que enmiendas

orgánicas ricas en sales como estiércoles, pueden mantener e incluso aumentar la conductividad eléctrica en el suelo a corto plazo lo que se puede demostrar con el resultado de 0.28 mS/cm observado con el estiércol de chivo en el estudio.

4.1.4 pH

El análisis de varianza en la Tabla 14 mostró un valor de $F= 180.11$ para las enmiendas, y un valor de $p= <0.0001$, valor menor al nivel de significancia 0.05 por lo tanto si se encontró diferencias significativas en el pH entre las enmiendas orgánicas.

Tabla 14.

ADEVA de la variable pH del suelo tratado con diferentes fuentes de fertilizante orgánico

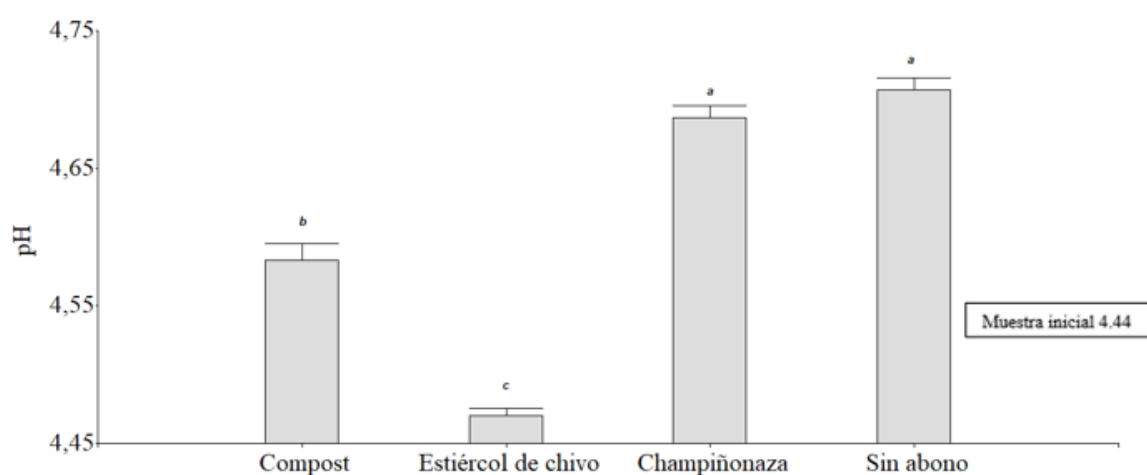
	numDF	denDF	F-value	p-value
Tratamiento	3	6	180.11	<0.0001

Las medias de la conductividad eléctrica en el suelo mostraron variaciones entre las enmiendas aplicadas dentro de la Figura 18 se muestra que la champiñonaza y el control sin abono con 4.69 y 4.71 respectivamente no tienen diferencias significativas entre

Mientras que el compost con 4.58 y el estiércol de chivo con 4.4 muestran diferencias significativas con los demás tratamientos, por lo cual estas enmiendas si tienden a acidificar más el suelo (Figura 18).

Figura 18.

Enmiendas orgánicas en relación con el pH del suelo tratado con diferentes fuentes de fertilizante orgánico



Con una muestra inicial de pH 4.44, el uso de estiércol de chivo redujo el pH a 4.47, mientras que el compost lo aumentó a 4.58, ambos con diferencias significativas en comparación con

otros tratamientos como la champiñonaza 4.69 y el suelo sin enmiendas 4.71. Esto indica que el estiércol y el compost presentan un impacto alcalino en el suelo, con variaciones de -0.03 y +0.14 en el pH, respectivamente.

Resultado que concuerda con estudios como el de Mendoza et al. (2021) quienes evaluaron el efecto de distintas enmiendas orgánicas en suelos ácidos de una plantación de papa durante 180 días donde se observó que el uso de estiércol de chivo redujo el pH inicial de 4.6 a 4.5, en línea con la reducción ligera observada en nuestro estudio de 4.44 a 4.47, lo que confirma su capacidad para neutralizar la acidez del suelo. Daza (2014) reportó datos similares, donde el compost no logra neutralizar el pH, en su estudio el pH retornó a valores ácidos aproximadamente 4.5 al finalizar el periodo experimental. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en el presente estudio, indicando que, aunque el compost pueda modificar ligeramente el pH en el corto plazo es insuficiente para mantener cambios duraderos.

4.1.5 Disponibilidad de nitrógeno

El análisis de varianza en la Tabla 15 mostró un valor de $F=1236.95$ para las enmiendas, y un valor de $p < 0.0001$, valor menor al nivel de significancia 0.05 por lo tanto si se encontró diferencias significativas en la disponibilidad de nitrógeno entre las enmiendas orgánicas.

Tabla 15.

ADEVA de disponibilidad de nitrógeno en el suelo tratado con diferentes fuentes de fertilizante orgánico

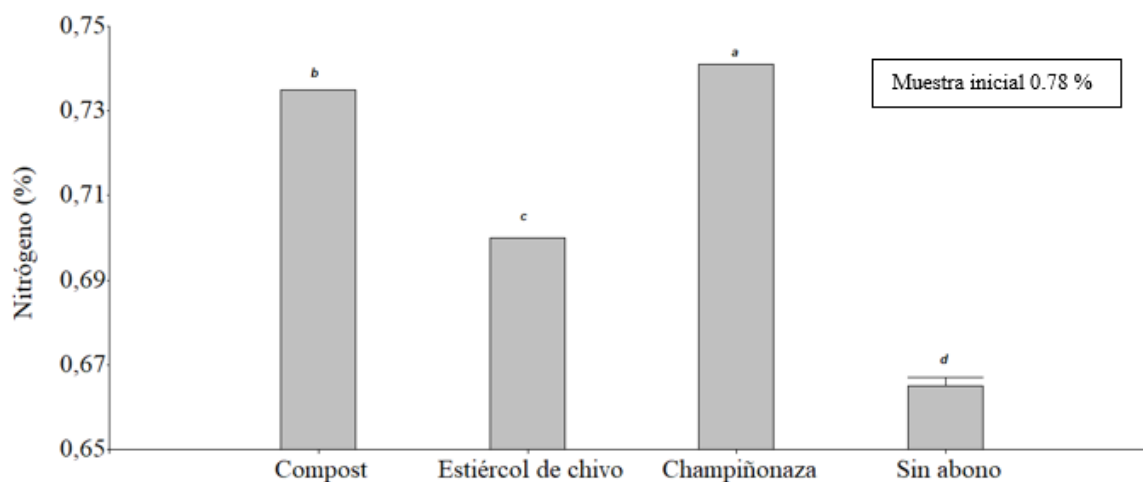
	numDF	denDF	F-value	p-value
Tratamiento	3	6	1236.95	<0.0001

Las medias de la disponibilidad de nitrógeno en el suelo mostraron variaciones entre las enmiendas aplicadas dentro de la Figura 19 se muestra que los valores más altos son del compost y la champiñonaza con 0.74% en ambos tratamientos, mientras que el estiércol de chivo con 0.70% muestra una disponibilidad de nitrógeno menor que el compost y la champiñonaza, pero mayor al suelo sin abono con un valor de 0.67% de disponibilidad de nitrógeno.

Por lo que la Figura 19 muestra de manera notable que el compost y la champiñonaza son las enmiendas que más favorecen la disponibilidad de nitrógeno en el suelo en un 10.45%, respecto al suelo sin abono el cual tiene la menor disponibilidad de nitrógeno.

Figura 19.

Enmiendas orgánicas en relación con la disponibilidad de nitrógeno en el suelo tratado con diferentes fuentes de fertilizante orgánico



Al comparar estos resultados con el estudio de Pulles (2015), se observa una diferencia considerable en la enmienda con mayor disponibilidad de nitrógeno. En el estudio de Pulles, el abono de gallina presentó la mayor disponibilidad de nitrógeno, alcanzando los 88.13 ppm. Este valor es superior a los obtenidos en el presente estudio para todas las enmiendas analizadas, lo que sugiere una diferencia en la eficacia del tipo de enmienda utilizada en la disponibilidad de nitrógeno. Por el contrario, el compost mostró una similitud destacable entre ambos estudios, mientras que en el estudio actual el compost alcanzó un 0.74% de disponibilidad de nitrógeno, Pulles reportó 73.64 ppm para esta misma enmienda, lo que demuestra que el compost es una buena opción para mejorar la disponibilidad de nitrógeno en el suelo en diferentes contextos.

4.2 Determinación el rendimiento del cultivo con la aplicación de enmiendas orgánicas en el suelo por el cultivo de avena.

4.2.1 Días a la emergencia

El análisis de varianza detallado en la Tabla 16 mostró un valor de $F=27.33$ para las enmiendas, con un valor de $p=0.0007$, por lo tanto, si se encontró diferencias significativas lo que indica que los tratamientos aplicados si influyeron en los días de emergencia del cultivo

Tabla 16.

ADEVA de días a la emergencia del cultivo de avena tratado con diferentes fuentes de fertilizante orgánico

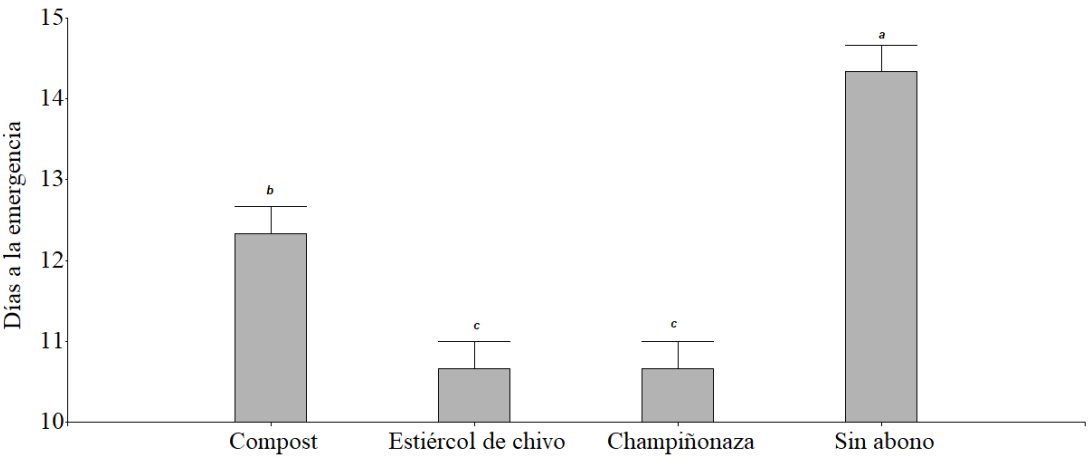
	numDF	denDF	F-value	p-value
Tratamiento	3	6	27.33	0.0007

Las medias de los días de emergencia del cultivo mostraron variaciones entre las enmiendas aplicadas dentro de la Figura 20 se muestra que el tratamiento sin abono tardó 14.33 días en emerger mientras que con enmiendas como estiércol de chivo y la champiñonaza las plántulas presentan una emergencia precoz a los 10.67 días, mientras que con la aplicación del compost los días a la emergencia de las plántulas fue a los 12.33 lo que en relación al suelo sin abono el tiempo de emergencia se reduce en un 13.9%.

De esta manera en la Figura 20 se evidencia que la aplicación de enmiendas como el estiércol de chivo y la champiñonaza representa una reducción del 25.5% en comparación al suelo sin abono, lo que evidencia que la falta de enmiendas orgánicas limita el ciclo de desarrollo del cultivo.

Figura 20.

Enmiendas orgánicas con relación a los días de emergencia del cultivo de avena tratado con diferentes fuentes de fertilizante



Estos resultados concuerdan con el estudio de Cadena (2024) donde se obtuvo una emergencia de las plántulas a los 12-15 días tras la aplicación de enmiendas datos similares a los obtenidos en el presente estudio donde tras la aplicación del compost la emergencia de la plántula fue de 12.33 días. De la misma manera Hidalgo et al. (2009) encontraron que el uso del compost en el trigo reducían los días a la emergencia en un 15%-20% lo que concuerda con el cultivo de avena en cal reduco este tiempo en 25.5%, dando de esta manera

importancia en el impacto que genera la aplicación de enmienda orgánicas en las etapas iniciales de las plantas.

4.2.2 *Días al encañado*

El análisis de varianza detallado en la Tabla 17 mostró un valor de $F=9.98$ para las enmiendas, con un valor de $p= 0.0095$, por lo tanto, si se encontró diferencias significativas lo que indica que los tratamientos aplicados si influyeron en los días al encañado.

Tabla 17.

ADEVA de días al encañado del cultivo de avena tratado con diferentes fuentes de fertilizante

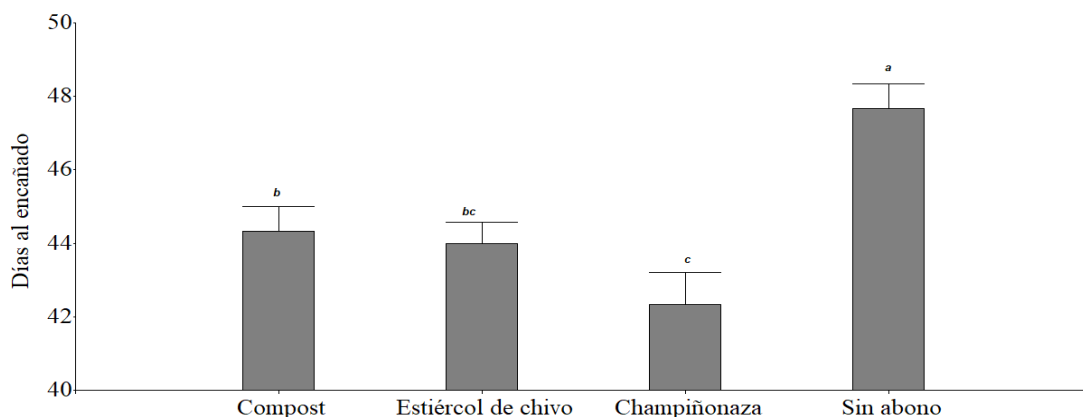
	numDF	denDF	F-value	p-value
Tratamiento	3	6	9.98	0.0095

Las medias de los días al encañado presentaron variaciones en la aplicación de las enmiendas orgánicas dentro de la Figura 21 se evidencia que el tratamiento sin abono tardó 47.67 días para llegar a la etapa de encañado mientras que con la aplicación de enmiendas como la champiñonaza la cual tardó solo 42.33 días para llegar a la etapa de encañado, por otro lado con aplicación del compost o estiércol de chivo los días al encañado fueron a los 44.33 y a los 44.00 días respectivamente lo que en relación al suelo sin abono el tiempo al encañado se reduce en un 7.7%.

De esta manera en la Figura 21 se evidencia que la aplicación de enmiendas como la champiñonaza representa una reducción del 11.9% en comparación al suelo sin abono, por lo que la aplicación de este tipo de enmiendas mejora las condiciones del suelo acelerando una etapa clave en el desarrollo fenológico del cultivo.

Figura 21.

Enmiendas orgánicas con relación a los días al encañado del cultivo de avena tratado con diferentes fuentes de fertilizante



Estudios como el realizado por la FAO (2021) indican que el compost y otras enmiendas orgánicas recen entre un 8% y 12% el tiempo de fases iniciales de desarrollo como el día al encañado dato similar al obtenido en el presente estudio. Este comportamiento se debe a que el uso de enmiendas orgánicas promueven un mejor desarrollo del cultivo en su desarrollo fenológico debido a que mejoran la disponibilidad de nutrientes para la planta (Pérez et al., 2008).

4.2.3 Materia seca

El análisis de varianza detallado en la Tabla 18 mostró un valor de $F = 0.43$ para el efecto del tratamiento en relación con la materia seca y $p = 0.7409$, lo que indicó que no existen diferencias significativas entre los tratamientos y la cantidad de materia seca producida.

Tabla 18.

ADEVA de Materia seca del cultivo de avena tratado con diferentes fuentes de fertilizante

	numDF	denDF	F-value	p-value
Tratamiento	3	6	0.43	0.7409

Las medias de la materia seca presentaron ciertas variaciones que se muestran en la Tabla 19 donde tras la aplicación de las enmiendas orgánicas sin embargo estas variaciones fueron ligeras como tras la aplicación de la champiñonaza se observa una mayor acumulación de materia seca con (24.01 ± 3.46) , mientras que el valor más bajo fue en la aplicación del compost con (20.25 ± 4.73) por lo que la diferencia máxima entre estos dos tratamientos fue de 3.76g lo que equivale a un aumento del 18.6%. En contraste el tratamiento sin abono produjo 5.1% menos de materia seca que la champiñonaza lo que contrasta que la aplicación de estas enmiendas orgánicas no tuvo un impacto significativo en esta variable

Tabla 19.

Materia seca obtenida del cultivo de avena con la aplicación de los tratamientos establecidos en el estudio

Tratamientos	Materia seca (%)
Estiércol de chivo	21.95± 3.88
Compost	20.25± 4.73
Champiñonaza	24.01± 3.46
Testigo	22.84± 1.75

La variable de materia seca en el presente estudio no presentó diferencias, sin embargo se observa una tendencia al aumento en los valores con el uso de enmiendas orgánicas lo que al comparar con los resultados de Cadena (2024), donde se obtuvo rendimientos de materia seca en avena que alcanzaron hasta 10.06 t/ha en variedades comerciales manejadas con fertilización adecuada, resalta el potencial de mejora en la acumulación de biomasa. De manera similar, Hidalgo et al. (2009) observaron que el peso seco de tallos y hojas en el forraje incrementó significativamente con el uso de sustratos que contenían lombricompost, alcanzando 12.3 g por planta con un 10% de esta enmienda, en comparación con los 11.48 g del testigo sin enmiendas orgánicas. Lo que da énfasis en que las enmiendas orgánicas promueven el desarrollo radicular y el crecimiento vegetativo ya que aumenta los diferentes espacios porosos de la planta ayudando a alcanzar una mayor retención de humedad y al mejorar la disponibilidad de nutrientes y la estructura del suelo.

4.2.4 Altura

El análisis de varianza detallado en la Tabla 20 mostró un valor de $F= 1.12$ para el efecto del tratamiento con relación a la altura de la planta y $p= 0.3428$, lo que indicó que no existen diferencias significativas entre los tratamientos y en la altura del cultivo.

Tabla 20.

ADEVA de altura de la planta

	numDF	denDF	F-value	p-value
Tratamiento	3	114	1.12	0.3428

En la Tabla 21 se evidencia que la aplicación de enmiendas orgánicas, aunque tiene pequeñas variabilidades estas no son significativas por lo que no influye en el crecimiento del cultivo frente al suelo sin abono, sin embargo, el estiércol de chivo alcanzo la mayor altura promedio

presentando un incremento del 3.1% en comparación con el compost (1.32), 3.8% con la champiñonaza (1.31) y un 5.4% frente al suelo sin abono (1.29).

Tabla 21.

Altura de la planta de avena del cultivo tratado con diferentes fuentes de fertilizante

Tratamientos	Altura (m)
Estiércol de chivo	1.36± 0.03
Compost	1.32± 0.03
Champiñonaza	1.31± 0.03
Testigo	1.29± 0.03

Estos datos concuerdan con el estudio de Cadena (2024) en el cual se obtuvo valores similares con una altura que oscilaba entre los 1.25-1.40 m tras el uso de enmiendas orgánicas sin embargo no se presentan diferencias significativas frente al testigo. Sin embargo, Hidalgo et al. (2009) reportaron incrementos importantes en *Passiflora edulis* donde alcanzo 38.57-40.60 cm con el uso de vermicompost frente al testigo de 10.95cm. esta limitación puede deberse a factores genotípicos y ambientales, debido a que este impacto se evidencia más en cultivos frutales (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2021).

4.3 Evaluación del análisis económico.

Se realizó un análisis detallado de los costos asociados a las actividades de preparación del cultivo, siembra, aplicación de enmiendas orgánicas y el corte al final del estudio detallados en la Tabla 22 (Anexo 2). Donde el costo final de la investigación fue de 488 dólares. En términos productivos, la enmienda estiércol de chivo alcanzó una producción de 18 667 kg/ha (Anexo 3) superando de esta forma a la enmienda de Compost con el 6% y en un 27% a la champiñonaza. Desde el enfoque económico, la aplicación de estiércol de chivo presento una mayor eficiencia relativa la cual superó a la enmienda de compost con 2kg adicionales por hectárea (Anexo 4) y a la champiñonaza con 5kg (Anexo 5), de esta manera en términos de rentabilidad se obtiene 10 kg de producción por cada dólar invertido.

Tabla 22.*Análisis económico de las distintas enmiendas orgánicas*

Fases y actividades	Testigo	ANÁLISIS ECONÓMICO		
		Estiércol de chivo	Compost	Champiñonaza
Subtotal de preparación de terreno (\$)	256.4	256.4	256.4	256.4
Subtotal de siembra y fertilización (\$)	93	1507.86	1804.66	2338.33
Subtotal de cosecha (\$)	78.75	78.75	78.75	78.75
Total (\$)	428.15	1843.01	2139.82	2673.48
Rendimiento (kg/ha)	15866	18667	17467	13533
Eficacia (kg/\$)	37	10	8	5

El estudio de Guevara (2023) en el cultivo de maíz en el cantón Milagro, se determinó que las enmiendas orgánicas como el compost y el bocashi mejoraron la productividad del grano y las propiedades fisicoquímicas del suelo. De igual forma, en la investigación sobre *Avena sativa* en la Quinta Experimental Punzara de Condor (2024) las enmiendas orgánicas como Nutrisano y Algasoil promovieron un rendimiento de materia verde hasta 36086 kg/ha por corte, demostrando que los fertilizantes orgánicos incrementan la biomasa sin comprometer la calidad del suelo.

Por otro lado, Jiménez et al. (2020) al analizar el rendimiento en toneladas por hectárea de materia verde supera con 64.77% al rendimiento de materia verde alcanzado por el estiércol de chivo que fue de 18667 kg/ha. Sin embargo, hay que resaltar que estos resultados son mayores debido a la fertilización completa que recibió el cultivo y que es una nueva variedad forrajera - INIAP Fortaleza 2020, en donde su costo total de producción al corte fue de 721.80 \$ siendo menor con un 60% al costo final de producción del tratamiento estiércol de chivo.

Estos resultados destacan la viabilidad económica del uso de fertilizantes orgánicos, no solo por los beneficios productivos sino también por su alineación con prácticas sostenibles. Al reducir la dependencia de insumos químicos y promover la conservación de recursos naturales, las enmiendas orgánicas fortalecen la adaptación agro-ecosistémica.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Al comparar los efectos de las enmiendas orgánicas en las propiedades físicas y químicas del suelo se concluye que las enmiendas no generaron diferencias significativas en las variables densidad aparente (1.5-1.6 g/cm³), ni en la humedad del suelo (56.48 %-57.79 %). Sin embargo, si afectaron parámetros químicos; el estiércol de chivo aumento la conductividad eléctrica a 0.28 mS/m, mientras que con la champiñonaza se redujo 0.18 mS/m. El compost elevó el pH de 4.44 a 4.58 por lo que mostró una capacidad de neutralización al suelo, finalmente la champiñonaza incrementó el nitrógeno disponible en un 10.45 %.
- Para la determinación del rendimiento del cultivo mediante la aplicación de enmiendas se observó que el estiércol de chivo y la champiñonaza aceleraron la emergencia de las plántulas en un 25.5 % (10.67- 14.33 días) y redujo el tiempo hasta la etapa de encañamiento (42.33 días con el uso de champiñonaza). La champiñonaza favoreció una mayor acumulación de materia seca) 24.01 gr y el estiercol de chivo promovió una, mayor altura de planta (1.36 m), mejorando el desarrollo inicial del cultivo de avena.
- El análisis económico indicó que el estiércol de chivo fue la enmienda orgánica con mayor rendimiento por cada dólar invertido. Con una inversión de 1843.01 \$ se obtuvo una producción de 18667 kg/ha de materia verde, lo que representó una producción de 10 kg de materia verde por dólar invertido. En comparación con el compost el cual alcanzó 8 kg/\$ y la champiñonaza 5 kg/\$.

5.2 RECOMENDACIONES

- Realizar estudios a largo plazo para evaluar los efectos acumulativos de las enmiendas orgánicas en las propiedades físicas y químicas del suelo.
- Realizar combinaciones de diferentes enmiendas orgánicas con la finalidad de potenciar su efecto en la mejora de las propiedades edáficas y en el rendimiento de *A. sativa*.
- Establecer practicas agronómicas del cultivo de *A. sativa* como densidad de siembra, métodos de aplicación y manejo de riego con la finalidad de optimizar la absorción de nutrientes y el desarrollo fenológico del cultivo.
- Realizar análisis económicos que consideren costos asociados al transporte, aplicación y disponibilidad local de las enmiendas de esta manera se podrá evaluar la viabilidad en sistemas agrícolas a mayor escala.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agostini, M., Monterubbianesi, M., Studdert, G., y Maurette, S. (2014). Un método simple y práctico para la determinación de densidad aparente. *Ciencia Del Suelo*, 32(2), 171–176.
- Agüero, D., Elein, A., y Ramos, D. (2014). *Revisión bibliográfica GENERALIDADES DE LOS ABONOS ORGÁNICOS: IMPORTANCIA DEL BOCASHI COMO ALTERNATIVA NUTRICIONAL PARA SUELOS Y PLANTAS* Review Generalities of the organic manures: Bocashi's importance like nutritional alternative for soil and plants. 35(4), 52–59. <http://ediciones.inca.edu.cu>
- Ahmed, A., Kounzani, A., Kaynak, A., Khoo, S. Y., Norton, M., y Gates, W. (2018). Soil bulk density estimation methods: A review. *Pedosphere*, 28(4), 581–596. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(18\)60034-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1002-0160(18)60034-7)
- Álvarez, J., Díaz, E., León, N., y Guillén, J. (2010). Enmiendas orgánicas y actividad metabólica del suelo en el rendimiento de maíz. *Terra Latinoamericana*, 28(3), 239–245.
- Amador, A., Veliz, E., y Bataller, M. (2015). Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 46, 1–10. <https://www.redalyc.org/pdf/1816/181642434003.pdf>
- Andrades, M., Moliner, A., y Masaguer, A. (2015). Prácticas de edafología: métodos didácticos para análisis de suelos. *Material Didáctico. Agricultura y Alimentación*, 15(7), 57. [file:///C:/Users/USER/Downloads/Dialnet-PracticasDeEdafologia-580696\(5\).pdf](file:///C:/Users/USER/Downloads/Dialnet-PracticasDeEdafologia-580696(5).pdf)
- Arellano, S., Osuna, E., Martínez, M., y Reyes, L. (2015). Grain yield of dry bean fertilized with cattle manure under rainfall conditions. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(3), 313–318.
- Báez, W. L. (2018). Diagnosis of compaction in soils cultivated with corn in the Fraylesca Region, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(1), 65–79. <https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.848>
- Barona, D. (2009). *Evaluación del impacto ambiental de tecnologías para producción de papa (Solanum tuberosum) con alternativas al uso de plaguicidas peligrosos. Cutuglahua, Pichincha*. [Tesis para obtener el título de ingeniería agrónoma, Universidad Central del Ecuador].

- Bellon, M. (2002). *Métodos de investigación participativa para evaluar tecnologías: agropecultura*. CIMMYT. Resumen:
- Benedetto, D., y Tognetti, J. (2016). *Tasa de Crecimiento de Plantas Argentina*. 42(1900), 258–282.
- Bengough, A., McKenzie, B., Hallett, P., y Valentine, T. (2011). Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits. *Journal of Experimental Botany*, 62(1), 59–68. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq350>
- Bohn, H., McNeal, L., y O'Connor, G. (1986). Soil Chemistry. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 149, 357. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:96682146>
- Brandy, N., y Weil, R. (2008). The Nature and Properties of Soils. In *Prentice Hall* (14th ed.).
- Brock, C., Olthmanns, M., Matthes, C., Schmehe, B., Schaaf, H., Burghardt, D., Horst, H., y Spieß, H. (2021). Compost as an option for sustainable crop production at low stocking rates in organic farming. *Agronomy*, 11, 1078. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061078>
- Bulluck, L., Brosius, M., Evanylo, G., y Ristaino, J. (2002). Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms. *Applied Soil Ecology*, 19(2), 147–160. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(01\)00187-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0929-1393(01)00187-1)
- Burbano, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 117–124.
- Cadena, M. (2024). *EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE LÍNEAS PROMISORIAS DE AVENA (Avena sativa L.), EN LA GRANJA EXPERIMENTAL LA PRADERA, CHALTURA-IMBABURA*. [Tesis para obtener el título de ingeniero agropecuario, Universidad Técnica del Norte].
- Caicedo, L., Méndez, F., Gutiérrez, E., y Flores, J. (2021). Medición de humedad en suelos : Revisión de métodos y características Soil Moisture Measurement : Review of Methods and Characteristics. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI*, 9(17), 1–18. <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/595/5952727005/index.html%0ADOI:>
- Cajamarca, G., y Montenegro, I. (2015). Selección de una línea promisorio de cebada (*Hordeum vulgare* L.) Bio-fortificada, de grano descubierto y bajo contenido en fitatos, en áreas vulnerables de la sierra sur ecuatoriana [[Tesis para obtener el título de

- ingeniería agrónoma]. Universidad de Cuenca]. In *Universidad De Cuenca*.
[http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23473/1/TESIS CEBADA.pdf](http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23473/1/TESIS%20CEBADA.pdf)
- Calderón, C., Bautista, G., y Rojas, S. (2018). Propiedades químicas , físicas y biológicas del suelo , indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. *Orinoquia*, 22(2), 17.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-37092018000200141
- Castillo, C. (2015). Evaluación De Tres Fuentes De Materia Orgánica (Champiñonaza, Bovinaza, Y Lombrihumus) En La Habilitación De Cangahua Tipo C. In *Universidad Central Del Ecuador*. [Tesis para obtener el título de ingeniería agrónoma]. Universidad Central del Ecuador.
- Castro, E., y Flores, P. (2020). La necesidad de diversificación agrícola en Carchi: Del monocultivo de papa a la sostenibilidad del suelo. *Boletín Agrario Del Ecuador*, 15(2), 89–101.
- Cervantes, L. (2021). *Análisis de la variabilidad del régimen climático, periodo 1989-2018, en la parroquia San Gabriel – provincia del Carchi*. [Tesis para obtener el título de ingeniería agrónoma, Universidad Central del Ecuador].
- Chancosa, C., y Viana, E. (2015). *Evaluación del efecto de abonos verdes en la calidad del suelo, en la localidad de peribuela (sector El Rabanal), parroquia Imantag, cantón Cotacachi* [Tesis para obtener el título de ingeniería agrónoma, Universidad Técnica del Norte]. <http://181.112.143.123/bitstream/41000/2827/1/iniapsc322est.pdf>
- Charvet, E. (2012). *Análisis comparativo de agricultura orgánica con agricultura convencional - Estudio de caso del cultivo de Brócoli* [Tesis para obtener el título de economista, Pontificia Universidad Católica del Ecuador].
<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/5180/T-PUCE-5406.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chaudhari, P., Ahire, D., Ahire, V., Chkravarty, M., y Maity, S. (2013). Soil Bulk Density as related to Soil Texture, Organic Matter Content and available total Nutrients of Coimbatore Soil. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(1), 2250–3153. www.ijsrp.org
- Condor, M. (2024). *Efecto de la fertilización orgánica en la producción de forraje verde y calidad nutricional de la Avena sativa L en condiciones de campo en la Quinta Experimental Punzara*. [Tesis previa a la obtención de ingeniería agrónoma, Universidad Nacional De Loja].

- Contreras, S., y López, P. (2009). *EL DISEÑO DE BLOQUES AL AZAR EN LA INVESTIGACIÓN AGROECOLÓGICA*. Investigaciones Agropecuarias.
- Cotrina, V., Alejos, I., Cotrina, G., Córdova, P., y Córdova, I. (2020). Efecto de abonos orgánicos en suelo agrícola de Purupampa Panao, Perú. *Centro de Investigaciones Agropecuarias*, 47(2), 31–40.
- Cruz, W., Rodríguez, L., Salas, M., Hernández, V., Campos, R., Chávez, M., y Gordillo, A. (2020). Effect of organic matter and cation exchange capacity on the acidity of soils cultured with corn in two regions of Chiapas, Mexico. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 475–480. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.506>
- Cuevas, J., Seguel, O., Ellies, A., y Dörner, J. (2006). Efectos De Las Enmiendas Orgánicas Sobre Las Propiedades Físicas Del Suelo Con Especial Referencias a La Adición De Lodos Urbanos. *Revista de La Ciencia Del Suelo y Nutrición Vegetal*, 6(2), 1–12. <https://doi.org/10.4067/s0718-27912006000200001>
- Dane, J., y Toop, C. (2018). *Methods of Soil Analysis: Part 4 Physical Methods*. Soil Science Society of America.
- Daza, M. (2014). Aplicación de compost de residuos de flores en suelos ácidos cultivados con maíz (*Zea mays*). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(3), 22–30.
- Fernández, A., y Martínez, E. (2021). Impacto de los fertilizantes nitrogenados en el medio ambiente. *Ecología y Ambiente*, 45(1), 12–20.
- Flores, E., Moreno, H., Figueroa, U., y Potisek, M. (2014). Disponibilidad de nitrógeno y desarrollo de avena forrajera (*Avena sativa* L.) con aplicación de biosólidos. *Terra Latinoam*, 32(2), 53. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-11462014000200009
- Fontalvo, R., y Andrade, J. (2018). *EFEECTO DE ENMIENDAS ORGANICAS Y AZUFRE ELEMENTAL SOBRE LAS PROPIEDADES QUIMICAS Y BIOLÓGICAS DE UN SUELO SODICO CULTIVADO CON MAIZ*. <https://doi.org/10.3232/SJSS.2018.V8.N3.04>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). Los Fertilizantes y sus Usos. *Asociación Internacional de La Industria de Los Fertilizantes*, 20(12), 801–808. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1681.1993.tb03018.x>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2021). *Uso de enmiendas*

orgánicas en el suelo Número. 19–20.

- García, D., y Maguana, J. (2015). *Optimización del rendimiento de avena (Avena sativa L. Variedad Iniap- En la granja Irquis* ". [Tesis para obtener el título de ingeniería agrónoma, Universidad de Cuenca].
- García, I., Sánchez, M., Vidal, M., Betancourt, Y., y Rosa, J. (2010). Efecto de la compactación sobre las propiedades físicas del suelo y el crecimiento de la caña de azúcar. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(2), 51–56.
- Gómez, M., Yepes, J., y Barahona, R. (2013). Caracterización nutricional del residuo del cultivo de la seta *Agaricus bisporus* como alimento potencial para bovinos. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 8(1), 37–59. <http://www.scielo.org.co/pdf/cmvez/v8n1/v8n1a04.pdf>
- González, U., Gallegos, M., Preciadol, P., García, M., Rodríguez, M. G., García, J. L., y Guzmán, T. L. (2021). Efecto de fuentes de nutrición orgánicas e inorgánicas mezcladas con biofertilizantes en la producción y calidad de frutos de melón. *Revista Terra Latinoamericana*, 39, 1–17. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.904>
- Gordón, R., y Camargo, I. (2015). Selección de estadísticos para la estimación de la precisión experimental en ensayos de maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 26(1), 55. <https://doi.org/10.15517/am.v26i1.16920>
- Guamani, D. (2021). “Evaluación de las propiedades químicas y físicas del suelo, después de la incorporación de abono verde avena (*Avena sativa* L) con tres enmiendas químicas en el sector Salache, parroquia Eloy Alfaro, cantón Latacunga, provincia Cotopaxi 2021 [[Tesis para obtener el título de ingeniería agrónoma]. Universidad Técnica de Cotopaxi]. In *Universidad técnica de cotopaxi* (Vol. 1). <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/4501/1/PI-000727.pdf>
- Guevara, L. (2023). *EFFECTO DE DOS APLICACIONES DE ENMIENDAS ORGÁNICAS Y RESIDUO DE LA HOJARASCA DE CACAO COMO APOORTE NUTRICIONAL EN EL CULTIVO DE MAÍZ “Zea mays L.” EN EL CANTÓN MILAGRO*. [Tesis previa a la obtención de ingeniero agrónomo, Universidad Agraria del Ecuador].
- Hang, S., Castán, E., Negro, G., Daghero, A., Buffa, E., Ringuelet, A., Satti, P., y Mazzarino, M. (2015). Compostaje de estiércol de feedlot con aserrín/viruta: características del proceso y del producto final. *Agriscientia*, 32(1), 55–65.
- Hans, J. (1992). Factors of soil formation: A System of Quantitative Pedology. In R. Amundson (Ed.), *University of California Berkeley* (DOVER PUBL, Vol. 9780521851). <https://doi.org/10.1017/CBO9780511535802.014>

- Havlin, J. (2017). SOIL FERTILITY AND FERTILIZERS AN INTRODUCTION TO NUTRIENT MANAGEMENT. In *Rules of Thumb for Petroleum Engineers* (8th ed.). Pearson. <https://doi.org/10.1002/9781119403647.ch8>
- Henríquez, M., Pérez, J., Gascó, J., y Rodríguez, O. (2005). DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO EN ARENA Y CAOLÍN USANDO ACETATO DE AMONIO, ACETATO DE SODIO Y CLORURO DE AMONIO Manuel. *Bioagro*, 17(1), 1–8. <https://doi.org/ISSN 1316-3361 Bioagro>
- Hidalgo, P., Sindoni, M., y Marín, C. (2009). Evaluation of vermicompost based substrates and liquid organic amendments on passion fruit (*Passiflora edulis* v. *flavicarpa*) nursery propagation. *Revista Científica UDO Agrícola*, 9(1), 126–135. <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3293844&info=resumen&idioma=ENG>
- Hilel, D. (2003). *Introducción a la Física Ambiental del Suelo*.
- Intituto Nacional de investigaciones Agropecuarias. (2008). *El cultivo de la papa* (M. Ephén Pumisacho y S. Sherwood (eds.)).
- Izquierdo, J., y Arévalo, J. (2021). Determinación del carbono orgánico por el método químico y por calcinación. *Ingeniería y Región*, 26, 20–28. <https://doi.org/10.25054/22161325.2527>
- Jiménez, C., Coronel, J., Garófalo, J., Ponce, L., Cárdenas, A., Ochoa, M., Rodríguez, L., Bravo, C., Garzón, J., Noroña, P., Campaña, D., y Muñoz, R. (2020). Nueva variedad de avena de doble propósito para la Sierra Sur ecuatoriana INIAP Fortaleza 2020. In *INIAP (Instituto Nacional de investigaciones Agropecuarias, EC)*. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5732>
- Kelbesa, W. (2021). Effect of compost in improving soil properties and its consequent effect on crop production –A review. *Journal of Natural Sciences Research*, 12(10), 15–25. <https://doi.org/10.7176/jnsr/12-10-02>
- León, D. (2020). *Cultivos en la provincia del Carchi*. La Colina. <https://lacolina.com.ec/portfolio/cultivos-en-la-provincia-de-carchi/>
- León, R., Bonifaz, N., y Gutiérrez, F. (2018). *Pastos y forrajes del Ecuador: Siembra y producción de pasturas* (U. P. Salesiana (ed.); 1st ed.). Editorial Universitaria Abya-Yala.
- Lindsay, W., y Norvell, W. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America*, 42(3), 421–428.
- Londoño, D. (2017). Aplicación de enmiendas orgánicas para la recuperación de

- propiedades físicas del suelo asociadas a la erosión hídrica. *Lámpsakos*, 1, 77. <https://doi.org/10.21501/21454086.1907>
- Martínez, W. (2022). *Evaluación de tres abonos orgánicos con tres dosis en la asociación de cultivos de Vicia sativa L. y Avena sativa L. en el sector Salache, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi* [Tesis previa a la obtención del título de ingeniería agrónoma, Universidad Técnica de Cotopaxi]. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6265>
- Mendoza, K., Sanabria, S., Pérez, W., y Cosme, R. (2021). Organic amendments and their effect on the properties of high Andean soils cultivated with native potato (*Solanum goniocalyx* Juz.et Buk.). *Agroindustrial Science*, 11(2), 221–229. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.02.12>
- Mendoza, R., y Espinoza, A. (2017). Guía Técnica para muestreo de suelos. *Universidad Nacional Agraria*, 1–56. <https://repositorio.una.edu.ni/3613/1/P33M539.pdf>
- Mengel, K., y Kirby, E. (2001). *Principios de nutrición vegetal* (5th ed.). Kluwer Academic Publishers.
- Merchancano, J., Castro, E., Hernández, F., Portillo, P., y Cadena, Á. (2022). Cultivo y ensilaje de avena (*Avena sativa* L.) en el trópico alto del departamento de Nariño. In Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Agrosavia* (2nd ed.). <https://doi.org/>. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7405156>
- Miraj, S., y Kiani, S. (2016). Study of pharmacological effect of *Ocimum basilicum*: A review. *Der Pharmacia Lettre*, 8(9), 276–280.
- Montgomery, D. (2018). *Análisis y Diseño de Experimentos* (2nd ed.). Limusa Wiley.
- Moposita, A. (2023). *EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE CUATRO LÍNEAS PROMISORIAS DE AVENA BAJO LAS CONDICIONES AGROECOLÓGICAS DE QUEROCHACA* [Tesis previa para obtener el título de Agronomía, Universidad Técnica de Ambato]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK558907/>
- Moya, F., y Farinango, Á. (2020). Evaluación de propiedades físico-químicas en suelos agrícolas mediante abonos orgánicos en cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Santa Martha de cuba, Carchi [o de ingeniería en recursos naturales renovables]. Universidad Técnica del Norte]. In *Malaysian Palm Oil Council (MPOC)* (Vol. 21, Issue 1). <http://journal.um-surabaya.ac.id/index.php/JKM/article/view/2203%0Ahttp://mpoc.org.my/malaysian-palm-oil-industry/>
- Murillo, S., Mendoza, A., y Fadul, C. J. (2020). La importancia de las enmiendas orgánicas

- en la conservación del suelo y la producción agrícola The importance of organic amendments in soil conservation and agricultural production. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 7(September), 58–68.
<http://revistas.sena.edu.co/index.php/recia/article/view/2503/3600>
- Navarro, A., Figueroa, B., Sangerman, D., y Osuna, E. (2012). Propiedades físicas y químicas del suelo bajo labranza de conservación y su relación con el rendimiento de tres cultivos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4, 690–697.
<http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v3nspe4/v3nspe4a11.pdf>
- Noutary, J. (2014). Ventajas de las siembras tempranas de avena. *Sitio Argentino de Producción Animal*, 22(267), 44–46.
- Okalebo, R., Gathua, K., y Paul, W. (2002). Laboratory Methods of Soil and Plant Analysis: A Working Manual The Second Edition. *SACRED Africa, Kenya Any, SECOND EDI*, 1–131.
- Osorio, N. (2012). pH DEL SUELO Y DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES N.W. *Manejo Integral Del Suelo y Nutrición Vegetal*, 1(4), 1–4.
<https://www.bioedafologia.com/sites/default/files/documentos/pdf/pH-del-suelo-y-nutrientes.pdf>
- Pérez, A., Céspedes, C., y Núñez, P. (2008). Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. *Revista de La Ciencia Del Suelo y Nutrición Vegetal*, 8(3), 10–29.
- Pihuave, A. (2020). *Uso de enmiendas para disminuir la acidez de suelos en banano (Musa cavendish AAA)*. [Tesis para obtener el título de ingeniería agrónoma, Universidad Agraria del Ecuador].
- Prefectura del Carchi. (2019). Plan de desarrollo y ordenamiento Territorial de la provincia del Carchi. *Lineamientos Generales*.
[https://carchi.gob.ec/2016f/phocadownload/PDOT/PDOT Resumen ejecutivo.pdf](https://carchi.gob.ec/2016f/phocadownload/PDOT/PDOT%20Resumen%20ejecutivo.pdf)
- Pulles, B. (2015). *DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICO DEL SUELO, AL APLICAR ABONOS ORGÁNICOS EN EL CULTIVO DE HORTALIZAS EN EL BARRIO CENTRO DE LA PARROQUIA LA LIBERTAD DEL CANTÓN ESPEJO PROVINCIA DEL CARCHI*. [Tesis para obtener el título de ingeniero agropecuario, Universidad Técnica del Norte].
- Ramírez, H., y Vargas, L. (2018). Enmiendas orgánicas en la agricultura: Impacto en la sostenibilidad y conservación del suelo. *Revista Internacional de Ciencias Agrícolas*, 15(1), 21–34.

- Ramírez, S., Domínguez, D., Salmerón, J., Villalobos, G., y Ortega, J. (2013). Producción y calidad del forraje de variedades de avena en función del sistema de siembra y de la etapa de madurez al corte. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(4), 395–403. <https://doi.org/10.35196/rfm.2013.4.395>
- Rawls, W., Brakensiek, C., y Saxton, K. (1992). Estimation of soil water properties. In *Transactions - American Society of Agricultural Engineers* (Vol. 25, Issue 5). <https://doi.org/10.13031/2013.33720>
- Renté, O., Nápoles, M., Reyes, P., y Vargas, B. (2018). Efecto de Canavalia ensiformis (L). En propiedades físicas de un suelo fluvisol diferenciado en Santiago de Cuba. *Cultivos Tropicales*, 39(2), 59–64.
- Reyes, I., y Valery, A. (2007). Efecto de la fertilidad del suelo sobre la microbiota y la promoción del crecimiento Del maíz (zea mays l.) Con azotobacter spp. *Bioagro*, 19, 117–126.
- Robles, D. (2015). Densidad a granel. In *Academiaedu* (p. 1). Métodos de análisis de suelos. https://www.academia.edu/31637426/DENSIDAD_A_GRANEL
- Rocamora, I., Porto, C., Alonso, L., y Navarro, F. (2015). *Uso de lodos de depuradora en agricultura : patógenos y resistencias a antibióticos The agricultural use of water treatment plant sludge : patogénicos e resistência a antibióticos*. 15(2), 113–120.
- Rodríguez, S. A., Salgado, O., García, J. G., Cervantes, F., Figueroa, M. G., y Mendoza, M. (2020). Chemical and organic fertilization in oats: Seed yield and quality. *Agronomía Mesoamericana*, 31(3), 567–579. <https://doi.org/10.15517/AM.V31I3.39184>
- Rubio, A. (2010). *LA DENSIDAD APARENTE EN SUELOS FORESTALES DEL PARQUE NATURAL LOS ALCORNOCALES*. [Tesis de prgrado, Escuela universitaria de ingeniería técnica agrícola].
- Schaetzl, R., y Thompson, M. (2015). *oils : genesis and geomorphology*. (Cambridge). Cambridge University Press. https://books.google.com.ec/books?id=u-BwBwAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbs_ViewAPI&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Scotti, R., Bonanomi, G., Scelza, R., Zoina, A., y Rao, M. A. (2014). Organic amendments as sustainable tool to recovery fertility in intensive agricultural systems. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 15. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162015005000031>
- Smith, J., Rodríguez, P., y Pérez, L. (2015). Beneficios del compostaje en cultivos de avena en regiones tropicales. *Revista de Agricultura Sostenible*, 10(3), 45–59.
- Smith, S., y Punyasena, S. (2014). Bioinformatic and biometric methods in plant

- morphology. *Applications in Plant Sciences*, 2(8).
<https://doi.org/10.3732/apps.1400071>
- Sposito, G. (2016). *The Chemistry of Soils*. Oxford University Press.
<https://doi.org/10.1093/oso/9780190630881.001.0001>
- Sultani, M., Gill, M., Anwar, M., y Athar, M. (2007). Evaluation of soil physical properties as influenced by various green manuring legumes and phosphorus fertilization under rain fed conditions. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 4(1), 109–118. <https://doi.org/10.1007/BF03325968>
- Tisdall, J., y Oades, J. (2006). Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 33, 141–163. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1982.tb01755.x>
- Trujano, D. S. L., González, A., Jaimes, J., Cueto, J. A., y Hernández, J. R. (2008). Evaluación De Fertilizantes Sobre La Avena Forrajera. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, VII(1), 73–82.
- Trujillo, E., Valencia, C., Alegría, C., Honorata, A., y Césare, M. (2019). Producción y caracterización de biochar a partir de residuos orgánicos avícolas. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 85(4), 489–504.
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2019000400489&script=sci_arttext
- UNE. (2001). *Calidad del suelo*. UNE.
- Vargas, O., Trujillo, J., y Torres, M. (2019). El compostaje, una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las centrales de abastecimiento. *Orinoquia*, 23(2), 123–129. <https://doi.org/10.22579/20112629.575>
- Vázquez, J., Alvarez, M., Iglesias, S., y Castillo, J. (2020). The incorporation of organic amendments in the form of compost and vermicompost reduces the negative effects of monoculture in soils. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 105–112.
<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.12>
- Vega, A., Cervantez, A., Prado, E., y Luna, Á. (2021). Análisis del mercado para la comercialización de abono orgánico a partir de heces fecales en el cantón Machala. *Dominio de Las Ciencias*, 7, 1–21.
- Weil, R., y Brady, N. (2017). *The Nature and Properties of Soils*. (15th ed.). Pearson Education.
- Widowati, S., Karamina, H., y Fikrinda, W. (2020). Soil amendment impact to soil organic matter and physical properties on the three soil types after second corn cultivation. *AIMS Agriculture and Food*, 5(1), 150–168.

- <https://doi.org/10.3934/AGRFOOD.2020.1.150>
- Wiley, S. (1996). Soil Nutrient Bioavailability: A Mechanistic. In *Barber* (2nd ed., Vol. 126, Issue 2). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/S0021859600073238>
- Zadoks, J., Chang, T., y Konzak, C. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14, 415–421. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>
- Zamora, F., Tua, D., y Torres, D. (2008). Evaluación de cinco fuentes orgánicas sobre el desarrollo vegetativo y rendimiento del cultivo de papa. *Agronomía Tropical*, 58, 233–243. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2008000300004&nrm=iso
- Zari, K. (2020). *Evaluación de dos enmiendas orgánicas en la producción de colL (Brassica oleracea var Capitata)*. [Tesis para obtener el título de ingeniería agrónoma, Universidad Agraria del Ecuador].

Anexo 1: Determinación de la cantidad de enmiendas orgánicas a utilizarse por hectárea

Recomendaciones de fertilización para avena

Análisis de Suelo	N	P2O5	K2O	S
	(kg/ha)			
Bajo	080 - 100	70 - 100	40 - 60	20 - 30
Medio	60 - 80	40 - 70	30 - 40	10 - 20
Alto	40 - 60	20 - 40	20 - 30	0 - 10

Análisis del suelo de Nitrógeno en el cultivo de avena



Trabajamos bajo la Norma ISO 17025

Agrarprojekt S.A.
 Urb. El Condado, Calle V #941 y Av. A, Quito
 Tel: 02-2490575/02-2492148/0984-034148
 info@agrarprojekt.com
 www.agrarprojekt.com

RESULTADOS

Código Agrarprojekt: UTN-071223

INFORMACIÓN DE LAS MUESTRAS	
Tipo de Muestra:	Suelo
Cultivo:	Avena
Número de Muestra:	# 1
Información Proporcionada por el Cliente:	Suelo

Contenido de Nitrógeno Total en %, Nitrato Y Amonio en mg / kg de suelo seco

Análisis	Unidad	*Método Extracción	Resultado
Nitrógeno Total (N-Total Kjeldahl)	%	-	0,781 (= 7,81 g/kg = 7810 mg/kg)
Nitrato (NO ₃ -N)	mg/kg	Extracto Agua	45,8
Amonio (NH ₄ -N)	mg/kg	NaCl 0.05 M	280

- = No Aplica

Nota: - Los datos y resultados están basados en la información y muestras entregadas por el cliente para quien se ha realizado este informe de manera exclusiva y confidencial.
 - La fecha de ensayo y los métodos utilizados están a disposición del cliente cuando lo requiera.
 - El Laboratorio no realizó el muestreo por lo tanto no certifica el origen de las muestras.
 - Prohibida la reproducción total o parcial de los resultados. No procede copia.

Análisis de Nitrógeno de 3 fuentes

Trabajamos bajo la Norma ISO 17025

RESULTADOS

Código Agrarprojekt: UTN-071223

Pág 2/2

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA			
Tipo de Muestra:	Abono Orgánico Sólido		
Número de Muestra:	# 1	# 2	# 3
Información Proporcionada por el Cliente:	Compost	Champiñonaza	Estiércol

Contenido de Nitrógeno Total en Materia Seca

Análisis	Unidad	Resultado	Resultado	Resultado
Materia Seca	%	80,1	47,5	66,0
Humedad	%	19,9	52,5	34,0
Nitrógeno Total Kjeldahl (N)	%	0,60	1,44	0,73

- = No Aplica

Nota: - Los datos y resultados están basados en la información y muestras entregadas por el cliente para quien se ha realizado este informe de manera exclusiva y confidencial.
- La fecha de ensayo y los métodos utilizados están a disposición del cliente cuando lo requiera.
- El Laboratorio no realizó el muestreo por lo tanto no certifica el origen de las muestras.
- Prohibida la reproducción total o parcial de Los resultados. No procede copia.

Desarrollo

La cantidad de elemento N en el suelo es elevado por lo cual, la cantidad de fertilización a aplicar sería en un rango de 50-80 kg/ha según literatura.

1. Fuentes a utilizar

Compost (N) = 0.60% $\approx$ 6000ppm

Champiñonaza (N) = 1.44% $\approx$ 14400ppm

Estiércol (N) = 0.73% $\approx$ 7300ppm

2. Cantidades a aplicar de cada fuente

a) Compost

100kg de Compost-----0.6kg de N

X----- 50 kg de N

$$X = (50 \cdot 100) / 0.6$$

$$X = 8333.33 \text{ kg de compost}$$

b) Champiñonaza

100kg de Champiñonaza-----1.44kg de N

X----- 50 kg de N

$$X = (50 \cdot 100) / 1.44$$

$$X = 3742.22 \text{ kg de Champiñonaza}$$

Estiércol

100kg de estiércol -----0.73kg de N

X----- 50 kg de N

$$X = (50 \times 100) / 0.73$$

X= 6849.31 kg de estiércol

Anexo 2: Costos totales de la investigación

COSTOS TOTALES					
FASES Y ACTIVIDADES	NOMBRE	UNIDA D	CANTID AD	PRECIO UNITARIO	SUBTOT AL
PREPARACION DE TERRENO					
Analisis de suelo	Análisis	Muestra	1	61,6	61,6
Análisis de estiércol de chivo	Análisis	Muestra	1	44,8	44,8
Análisis de compost	Análisis	Muestra	1	44,8	44,8
Análisis de champiñonasa	Análisis	Muestra	1	44,8	44,8
Rastrada	Tractor	Hora	2	25	50
SUBTOTAL	246				
SIEMBRA Y FERTILIZACION					
Enmiendas orgánicas	Estiércol de chivo	kg	45	0,2	9
	Compost	kg	40	0,2	8
	Champiñonasa	kg	50	0,6	30
Semilla	Líneas	kg	50	0,4	20
Siembra	Mano de obra	Jornal	2	15	30
Tapado de semillas	Mano de obra	Jornal	1	15	15
SUBTOTAL	112				
COSECHA					
Corte	Mano de obra	Jornal	1	15	15
Análisis final de suelos	Anàlisis	Muestra	4	28,75	115
SUBTOTAL	130				
TOTAL					488

Anexo 3: Análisis económico del costo de aplicación por hectárea del estiércol de chivo

COSTOS ESTIERCOL DE CHIVO					
FASES Y ACTIVIDADES	NOMBRE	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL
PREPARACION DE TERRENO					
Análisis de suelo	Análisis	Muestra	1	61,6	61,6
Análisis de estiércol de chivo	Análisis	Muestra	1	44,8	44,8
Rastrada	Tractor	Hora	6	25	150

SUBTOTAL		256,40			
SIEMBRA Y FERTILIZACION					
Enmiendas orgánicas	Estiércol de chivo	kg	6849,31	0,2	1369,862
Semilla	Líneas	kg	120	0,4	48,00
Siembra	Mano de obra	Jornal	3	15	45
Tapado de semillas	Mano de obra	Jornal	3	15	45
SUBTOTAL		1507,86			
COSECHA					
Corte	Hora	Cortado ra	2	25	50
Análisis final de suelos	Análisis	Muestra	1	28,75	28,75
SUBTOTAL		78,75			
TOTAL					1843,01
PRODUCCION DE MATERIA VERDE					
Produccion/m2		1,866	Produccion/ha		18667
Eficacia (kg/\$)				10	

Anexo 4: Análisis económico del costo de aplicación por hectárea del compost

COSTOS COMPOST					
FASES Y ACTIVIDADES	NOMBRE	UNIDA D	CANTIDA D	PRECIO UNITARIO	SUBTOTA L
PREPARACION DE TERRENO					
Analisis de suelo	Análisis	Muestra	1	61,6	61,6
Análisis de compost	Análisis	Muestra	1	44,8	44,8
Rastrada	Tractor	Hora	6	25	150
SUBTOTAL	256,4				
SIEMBRA Y FERTILIZACION					
Enmiendas orgánicas	Compost	kg	8333,33	0,2	1666,666
Semilla	Líneas	kg	120	0,4	48
Siembra	Mano de obra	Jornal	3	15	45
Tapado de semillas	Mano de obra	Jornal	3	15	45
SUBTOTAL	1804,67				
COSECHA					
Corte	Hora	Cortado ra	2	25	50
Anàlisis final de suelos	Anàlisis	Muestra	1	28,75	28,75
SUBTOTAL	78,75				
TOTAL					2139,82
PRODUCCION DE MATERIA VERDE					
Produccion/m2		1,746	Produccion/ha		17467
Eficacia (kg/\$)				8	

Anexo 5: Análisis económico del costo de aplicación por hectárea de champiñonaza

COSTOS TOTALES CHAMPIÑONASA

FASES Y ACTIVIDADES	NOMBRE	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL
PREPARACION DE TERRENO					
Analisis de suelo	Análisis	Muestra	1	61,6	61,6
Análisis de champiñonasa	Análisis	Muestra	1	44,8	44,8
Rastrada	Tractor	Hora	6	25	150
SUBTOTAL	256,4				
SIEMBRA Y FERTILIZACION					
Enmiendas orgánicas	Champiñonasa	kg	3742,22	0,6	2245,332
Semilla	Líneas	kg	120	0,4	48
Siembra	Mano de obra	Jornal	2	15	30
Tapado de semillas	Mano de obra	Jornal	1	15	15
SUBTOTAL	2338,332				
COSECHA					
Corte	Hora	Cortadora	2	25	50
Análisis final de suelos	Análisis	Muestra	1	28,75	28,75
SUBTOTAL	78,75				
TOTAL					2673,482
PRODUCCION DE MATERIA VERDE					
Produccion/m2		1,354	Produccion/ha		13533
Eficacia (kg/\$)				5	