

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**INFORME DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL**

MECANISMO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**EFFECTO DEL BIOCHAR A BASE DE CÁSCARA DE CACAO EN
LA RESTAURACIÓN DE SUELOS EROSIONADOS EN LA ZONA
RURAL, PARROQUIA CALCETA**

AUTORAS:

**MARCILLO VÉLEZ ANA PATRICIA
SOLÓRZANO ZAMBRANO MILENA DENISSE**

TUTORA:

ING. HOLANDA TERESA VIVAS SALTOS, M. Sc.

CALCETA, JULIO DE 2024

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo **MARCILLO VÉLEZ ANA PATRICIA**, con cédula de ciudadanía **1310472996** y **SOLÓRZANO ZAMBRANO MILENA DENISSE** con cédula de ciudadanía **1350242341**, declaramos bajo juramento que el Trabajo de Titulación titulado: **EFFECTO DEL BIOCHAR A BASE DE CÁSCARA DE CACAO EN LA RESTAURACIÓN DE SUELOS EROSIONADOS EN LA ZONA RURAL, PARROQUIA CALCETA** es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, concedemos a favor de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, conservando a nuestro favor todos los derechos patrimoniales de autores sobre la obra, en conformidad con el Artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación.



Ana Patricia Marcillo Vélez
CI: 1310472996



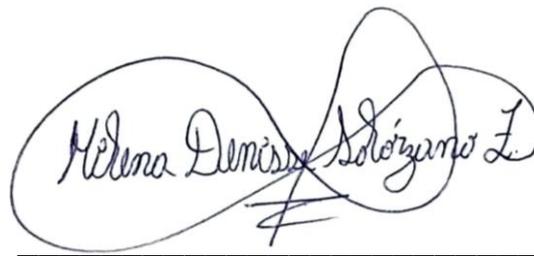
Milena Denisse Solórzano Zambrano
CI: 1350242341

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

MARCILLO VÉLEZ ANA PATRICIA con cédula de ciudadanía **1310472996** y **SOLÓRZANO ZAMBRANO MILENA DENISSE** con cédula de ciudadanía **1350242341**, autorizamos a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Integración Curricular titulado: **EFFECTO DEL BIOCHAR A BASE DE CÁSCARA DE CACAO EN LA RESTAURACIÓN DE SUELOS EROSIONADOS EN LA ZONA RURAL, PARROQUIA CALCETA**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.



Ana Patricia Marcillo Vélez
CI: 1310472996



Milena Denisse Solórzano Zambrano
CI: 1350242341

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

ING. HOLANDA TERESA VIVAS SALTOS, M. Sc., certifica haber tutelado el proyecto **EFFECTO DEL BIOCHAR A BASE DE CÁSCARA DE CACAO EN LA RESTAURACIÓN DE SUELOS EROSIONADOS EN LA ZONA RURAL, PARROQUIA CALCETA**, que ha sido desarrollada por **MARCILLO VÉLEZ ANA PATRICIA** y **SOLÓRZANO ZAMBRANO MILENA DENISSE**, previo a la obtención del título de **INGENIERA AMBIENTAL**, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Ing. Teresa Vivas Saltos, M. Sc.
Ci: 1313175158
TUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el Trabajo de Integración Curricular titulado: **EFFECTO DEL BIOCHAR A BASE DE CÁSCARA DE CACAO EN LA RESTAURACIÓN DE SUELOS EROSIONADOS EN LA ZONA RURAL, PARROQUIA CALCETA**, que ha sido propuesto y desarrollado por **MARCILLO VÉLEZ ANA PATRICIA y SOLÓRZANO ZAMBRANO MILENA DENISSE**, previo a la obtención del título de **INGENIERA AMBIENTAL**, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Ing. José M. Calderón Pincay, M. Sc.
CI: 2300121833
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Carlos F. Solórzano Solórzano, M. Sc.
CI: 1306071984
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Kevin A. Patiño Alonzo, M. Sc.
CI: 1313231118
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser el guía de mi camino de cada día de mi vida, por darme salud y recursos necesarios para culminar con éxitos nuestro trabajo.

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, que me dio la oportunidad de crecer como ser humano a través de una educación superior de calidad y en la cual he forjado mis conocimientos profesionales día a día;

A mi familia, por su apoyo incondicional para seguir este camino de aprendizaje y por ser el pilar fundamental a lo largo de mi carrera.

A nuestra tutora de titulación, Ing. Holanda Teresa Vivas Saltos quien guio nuestro camino hacia el desarrollo de la investigación.

Ana Patricia Marcillo Vélez

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a la vida por permitirme alcanzar el desarrollo de mi carrera profesional, así como personal. A mi familia, por ser pilares fundamentales en esta etapa de mi vida. A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, quién me brindo una educación de calidad, y donde forjé mis conocimientos enfocados a la responsabilidad y ética profesional. Agradezco también al Ing. Carlos Luis Banchón, M. Sc., quién dio luz al tema de tesis, y demás. A la Ing. Holanda Teresa Vivas Saltos, M. Sc., por ser tutora y guía en el desarrollo de este trabajo. Y a todos quienes aportaron con su grano de arena para la realización de esta tesis.

Milena Denisse Solórzano Zambrano

DEDICATORIA

Este trabajo, fruto de la constancia inalcanzable de esta etapa profesional se lo dedico a Dios por darme la sabiduría y fortaleza a lo largo de este camino.

A mis padres, por haber inculcado principios que hoy por hoy permanecen en mí.

A mis hijos, Jesús e Isabel por ser mi inspiración.

A mi esposo, por ser mi apoyo incondicional a lo largo de esta etapa profesional.

Ana Patricia Marcillo Vélez

Dedico este trabajo a mi madre Mercy Zambrano, por ser mi musa de inspiración, y fiel ejemplo de que con constancia y perseverancia; y a pesar de la adversidad los sueños y metas se cumplen, manteniéndose siempre a mi lado y apoyándome incondicionalmente en este largo camino. Todos mis éxitos se los dedico a ella.

A mis abuelos maternos Alberto Zambrano y Josefa Chica, que con su cariño me brindan fortaleza y apoyo constante, como mis segundos padres, les estaré eternamente agradecida.

Milena Denisse Solórzano Zambrano

CONTENIDO GENERAL

CARÁTULA	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN	iii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
DEDICATORIA.....	viii
CONTENIDO GENERAL.....	ix
CONTENIDO DE TABLAS	xii
CONTENIDO DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	2
1.3. OBJETIVOS	4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.4. HIPÓTESIS	4
1.4.1. HIPÓTESIS NULA	4
1.4.2. HIPÓTESIS ALTERNATIVA	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. PROPIEDADES DEL SUELO PARA DETERMINAR SU CALIDAD	5
2.1.1. PROPIEDADES FÍSICAS.....	5
2.1.2. PROPIEDADES QUÍMICAS	7

2.2.	USOS POTENCIALES DEL SUELO	9
2.3.	MANEJO DEL RECURSO SUELO	9
2.4.	USOS DEL SUELO	10
2.4.1.	PRÁCTICA AGRÍCOLA	10
2.4.2.	PRÁCTICA GANADERA	10
2.4.3.	PRÁCTICA AGROFORESTAL	11
2.4.4.	PRÁCTICA PARA LA CONSERVACIÓN	11
2.5.	COBERTURA DEL SUELO	13
2.5.1.	CLASIFICACIÓN DE LA COBERTURA CON ENFOQUE EN LA AGROFORESTERÍA.....	13
2.6.	CAPACIDAD DEL USO DE SUELO.....	15
2.6.1.	CLASE I: TIERRAS MUY PRODUCTIVAS.....	15
2.6.2.	CLASE II: TIERRAS MODERADAMENTE PRODUCTIVAS.....	15
2.6.3.	CLASE III: TIERRAS CON LIMITACIONES MODERADAS	16
2.7.	CALIDAD DEL SUELO.....	16
2.8.	AFECCIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO	16
2.9.	EROSIÓN DEL SUELO.....	17
2.10.	ASPECTOS IMPORTANTES DE LA EROSIÓN EN SUELOS DE CULTIVO	17
2.10.1.	PÉRDIDA DEL SUELO	18
2.10.2.	PÉRDIDA DE LOS NUTRIENTES	18
2.10.3.	EFFECTOS DE LA EROSIÓN DEL SUELO AL RECURSO DEL AGUA	19
2.10.4.	PÉRDIDA DE LA BIODIVERSIDAD	19
2.11.	CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO EROSIONADO.....	21
2.12.	RECUPERACIÓN DEL RECURSO SUELO	21
2.13.	APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS AGRÍCOLAS	22
2.13.1.	CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO.....	23

2.14.	ENMIENDAS PARA RECUPERACIÓN DE SUELOS EROSIONADOS	
	24	
2.14.1.	BIOCHAR A PARTIR DE BIOMASA RESIDUAL	25
2.14.2.	COMPOST	25
2.14.3.	POTENCIACIÓN DEL BIOCHAR.....	26
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO		27
3.1.	UBICACIÓN	27
3.2.	DURACIÓN DEL TRABAJO.....	28
3.3.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	28
3.4.	MÉTODOS.....	28
3.4.1.	BIBLIOGRÁFICO.....	28
3.4.2.	EXPERIMENTAL.....	28
3.4.3.	ESTADÍSTICO.....	29
3.5.	TÉCNICAS.....	29
3.5.1.	OBSERVACIÓN	29
3.6.	DELINEAMIENTO EXPERIMENTAL	29
3.6.1.	FACTORES EN ESTUDIO	29
3.6.2.	DISEÑO EXPERIMENTAL	30
3.6.3.	TRATAMIENTOS Y UNIDADES EXPERIMENTALES	30
3.7.	VARIABLES EN ESTUDIO	32
3.7.1.	VARIABLE INDEPENDIENTE	32
3.7.2.	VARIABLE DEPENDIENTE.....	32
3.8.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	32
3.9.	PROCEDIMIENTOS.....	32
3.9.1.	FASE I. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL SUELO EROSIONADO.....	33
3.9.2.	FASE II. ELABORACIÓN DE BIOCHAR A BASE DE CÁSCARA DE CACAO COMO ENMIENDA ORGÁNICA PARA TRATAMIENTOS DE	

RESTAURACIÓN DEL SUELO EROSIONADO	35
3.9.3. FASE III. DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES EN LAS QUE EL BIOCHAR EN COMBINACIÓN CON EL COMPOST TIENEN UN EFECTO EN LA RESTAURACIÓN DEL SUELO	36
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
4.1. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL SUELO EROSIONADO.....	37
4.2. ELABORACIÓN DE BIOCHAR A BASE DE CÁSCARA DE CACAO COMO ENMIENDA ORGÁNICA PARA TRATAMIENTOS DE RESTAURACIÓN DEL SUELO EROSIONADO	47
4.3. DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES EN LAS QUE EL BIOCHAR EN COMBINACIÓN CON EL COMPOST TIENEN UN EFECTO EN LA RESTAURACIÓN DEL SUELO	48
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
5.1. CONCLUSIONES.....	64
5.2. RECOMENDACIONES	65
BIBLIOGRAFÍA	66
ANEXOS	87

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 3.1. Factores de tratamiento y sus niveles.....	31
Tabla 3.2. Interacción entre los factores de tratamiento.	31
Tabla 3.3. Descripción de las dosis para cada tratamiento en función de la dosis de suelo erosionado.....	31
Tabla 3.4. Fuentes de variación y sus grados de libertad.	32
Tabla 3.5. Parámetros de muestreo de suelo.	33
Tabla 3.6. Descripción de los parámetros químicos y sus métodos.	34
Tabla 4.1. Resultados de medición de espesor de mantillo.....	38
Tabla 4.2. Resultado de la medición de pedestales.	39
Tabla 4.3. Resultados de medición de surcos.	40
Tabla 4.4. Parámetros evaluados en las muestras de suelo pre tratamiento.....	42

Tabla 4.5. Porcentaje de residuo de cáscara de cacao.....	47
Tabla 4.6. Resultados de los análisis post tratamiento.....	49
Tabla 4.7. Resultado de la variable pH del suelo con respecto a los tratamientos aplicados....	51
Tabla 4.8. Resultado de la variable CE del suelo con respecto a los tratamientos aplicados....	53
Tabla 4.9. Resultado de la variable materia orgánica del suelo con respecto a los tratamientos aplicados.....	54
Tabla 4.10. Resultado de la variable porosidad del suelo con respecto a los tratamientos aplicados.....	56
Tabla 4.11. Resultado de la variable humedad del suelo con respecto a los tratamientos aplicados.....	57
Tabla 4.12. Resultado de la variable densidad aparente del suelo con respecto a los tratamientos aplicados.....	58
Tabla 4.13. Resultado de la variable nitrógeno del suelo con respecto a los tratamientos aplicados.....	60
Tabla 4.14. Resultado de la variable fósforo del suelo con respecto a los tratamientos aplicados.....	61
Tabla 4.15. Resultado de la variable potasio del suelo con respecto a los tratamientos aplicados.....	63

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 3.1. Ubicación del área de estudio.....	27
Figura 3.2. Diseño experimental de las 12 unidades experimentales.....	30
Figura 4.1. Identificación del área de estudio.....	37
Figura 4.2. Interacción de la variable pH del suelo entre los tratamientos aplicados.....	50
Figura 4.3. Interacción de la variable CE del suelo entre los tratamientos aplicados.....	51
Figura 4.4. Interacción de la variable materia orgánica entre los tratamientos aplicados.....	53
Figura 4.5. Interacción de la variable porosidad entre los tratamientos aplicados.....	55
Figura 4.6. Interacción de la variable humedad del suelo entre los tratamientos aplicados.....	56
Figura 4.7. Interacción de la variable densidad aparente del suelo entre los tratamientos aplicados.....	58
Figura 4.8. Interacción de la variable nitrógeno del suelo entre los tratamientos aplicados.....	59
Figura 4.9. Interacción de la variable fósforo del suelo entre los tratamientos aplicados.....	61
Figura 4.10. Interacción de la variable potasio del suelo entre los tratamientos aplicados.....	62

RESUMEN

Esta investigación planteó evaluar el efecto de las enmiendas orgánicas, compost y biochar a partir de cáscara de cacao, sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo del sitio Olga Cobos, Calceta del cantón Bolívar. Inicialmente, se realizó un análisis de las condiciones fisicoquímicas del suelo debido a la presencia de pedestales, surcos y poco recubierto vegetal, obteniendo como derivación un suelo erosionado. Posteriormente, se implementó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con 4 tratamientos, 3 réplicas y 12 unidades experimentales, variando la proporción de las enmiendas utilizadas. Finalizados los tratamientos se realizaron nuevamente los análisis fisicoquímicos, los cuales presentaron cambios significativos en los parámetros pH, materia orgánica, porosidad, densidad aparente y potasio en los diferentes tratamientos. No obstante, se observó una reducción en la humedad, fósforo, conductividad eléctrica y nitrógeno. Por otro lado, la ejecución del análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey indicaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos T₂, T₃ y T₄, especialmente en los parámetros pH, conductividad eléctrica y concentración de potasio, destacándose el T₄ entre los demás tratamientos, al contener mayor cantidad de enmienda orgánica en relación a los demás (40 g compost – 40 g biochar), respaldando así la hipótesis alternativa planteada, debido a que los tratamientos mejoraron las propiedades fisicoquímicas del suelo erosionado.

Palabras clave: Biochar, compost, cáscara de cacao.

ABSTRACT

This research aimed to evaluate the effect of organic amendments, compost and biochar from cocoa shell, on the physicochemical properties of the soil at the Olga Cobos site, Calceta, Bolívar canton. Initially, an analysis of the physicochemical conditions of the soil was carried out due to the presence of pedestals, furrows and little vegetation cover, obtaining an eroded soil as a derivation. Subsequently, a completely randomized block design (DBCA) was implemented with 4 treatments, 3 replications and 12 experimental units, varying the proportion of the amendments used. Once the treatments were completed, the physicochemical analysis was carried out again, which showed significant changes in the parameters pH, organic matter, porosity, apparent density and potassium in the different treatments. However, a reduction in humidity, phosphorus, electrical conductivity and nitrogen was observed. On the other hand, the execution of the analysis of variance (ANOVA) and the Tukey test indicated significant differences ($p>0.05$) between treatments T2, T3 and T4, especially in the parameters pH, electrical conductivity and potassium concentration. T4 standing out among the other treatments, as it contains a greater amount of organic amendment in relation to the others (40 g compost - 40 g biochar), thus supporting the alternative hypothesis proposed, because the treatments improved the physicochemical properties of the eroded soil.

Keywords: Biochar, compost, cocoa husks.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad, uno de los temas ambientales más relevantes en relación con las zonas de cultivo es el proceso erosivo que afecta a los suelos que se manifiesta en la disminución de su fertilidad (Gálvez y Londoño, 2023). Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], (2018), la erosión del suelo puede ser causada por factores naturales, pero en mayor medida, por actividades antrópicas como la agricultura intensiva.

Según Galeana et al. (2020), el suelo es un recurso limitado y su presencia establece un límite planetario para la expansión agrícola. A nivel global, se estima que el 40% de la tierra destinada a la agricultura experimenta una disminución significativa en su productividad, debido a procesos de degradación del suelo; cifra que puede alcanzar el 75% en algunas áreas específicas, y se calcula la existencia de más de 305 millones de hectáreas degradadas, principalmente debido a la deforestación que alcanza las 12.3 millones de hectáreas anuales (Huerta et al., 2018).

El cacao es un cultivo de larga tradición en Ecuador, siendo producido en 23 de las 24 provincias del país (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP], 2019); este cultivo se produce tanto en monocultivo como en asociación concentrándose en las provincias del Litoral, siendo la provincia de Manabí la más destacada en este aspecto, el cultivo de cacao se ha vuelto relevante para la economía y la cultura del país (INIAP,2019); sin embargo, genera una importante cantidad de desechos en forma de cáscaras de mazorcas de cacao; de hecho, por cada tonelada de cacao en grano producido, se generan alrededor de 10 toneladas de residuos correspondientes a las cáscaras de cacao (Albacura, 2022).

Por lo tanto, es fundamental abordar estas problemáticas para garantizar la seguridad alimentaria a largo plazo de una manera responsable y sustentable, protegiendo así el factor abiótico físico suelo. En este contexto surge como

estrategia el aprovechamiento potencial a la biomasa agrícola correspondiente a la cáscara de cacao, actualmente como es la obtención de biochar ampliamente usado como enmienda para la recuperación de suelos.

A lo largo de su historia, Manabí ha enfrentado una constante problemática en cuanto a la deforestación, la cual se ha originado por el uso inadecuado de la tierra. Prácticas como el cultivo, así como el sobrepastoreo, han contribuido a la degradación de los suelos en ciertas áreas (Hernández et al., 2012). El biochar o biocarbón al ser un material de grano fino obtenido al carbonizar biomasa y residuos biodegradables (Lehmann y Joseph, 2009), es portador de un alto contenido de carbono orgánico y baja susceptibilidad a la degradación, con aplicaciones ambientales, su estructura porosa y características químicas lo hacen atractivo. En particular, en las zonas rurales, el uso del biochar y compost como enmiendas orgánicas para mejorar el suelo los convierten en materiales atractivos para abordar problemáticas ambientales, siendo objeto de gran interés en las últimas décadas (García et al., 2021).

En función de lo antes expuesto, la presente investigación aborda la problemática referida a la erosión del suelo en zonas rurales, con el propósito de establecer estrategias de mejora, mediante el estudio del biochar como medida o enmienda para la recuperación de suelos erosionados.

Con respecto a lo mencionado anteriormente, surge la siguiente interrogante a resolver dentro del presente trabajo de investigación: ¿Cómo influye el biochar a base de cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) y el compost en la restauración del suelo erosionado?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Según Mora y Sernaque (2019), en los últimos tiempos, la deforestación, el sobrepastoreo y las malas prácticas agrícolas han afectado considerablemente la calidad del suelo, provocando entre otras cosas, problemas ambientales como la pérdida de carbono orgánico y la erosión. Por ello, la presente investigación propone una alternativa de compensación de los suelos degradados por medio

del uso de biochar a base de cáscara de cacao.

Desde el punto de vista ambiental, Escalante et al. (2009) sostienen que la aplicación de biochar en áreas contaminadas y degradadas, permite de cierta manera paliar la pérdida de la fertilidad del suelo asociada a la disminución de la materia orgánica. De igual forma, el biocarbón permite mejorar las propiedades físicas del suelo, tales como la porosidad, infiltración de agua, estructura, entre otras, mismas que se han perdido gradualmente con el paso de los años por el excesivo uso de agroquímicos como fertilizantes y pesticidas (Chacón, 2022).

Desde un enfoque legal, la investigación se sustenta con lo estipulado en la Constitución de la República del Ecuador (2008), misma que en su artículo 14 detalla que: “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*”, así como con lo descrito en el Código Orgánico del Ambiente [COA] (2017), que en su artículo 332 hace referencia a: “Los lineamientos para la restauración ecológica de suelos o ecosistemas, y la atención prioritaria a los suelos degradados o en proceso de desertificación”.

De igual forma, el desarrollo de la investigación guarda relación con lo expuesto por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD] (2023), y el Objetivo del Desarrollo Sostenible [ODS]: 12: “Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles” y demás normativas que promuevan la agricultura sostenible y permitan la restauración del recurso suelo garantizando el bienestar ambiental y la seguridad alimentaria.

Así mismo, desde la perspectiva social, Cayo (2018) expone que el aprovechamiento y utilización de los residuos de cacao para producir biochar, pueden resultar una alternativa sustentable y sostenible para los pequeños y medianos agricultores cacaoteros de las zonas rurales del cantón y de la provincia, brindándoles la oportunidad de comercializar este producto y así beneficiar a más personas que deseen restaurar suelos degradados.

Finalmente, considerando el ámbito económico, Albacura (2022) expone que los

gastos para la obtención de biochar son relativamente bajos, ya que para su elaboración se aprovecha la biomasa residual que generalmente es desechada, a diferencia del uso de otros productos orgánicos comerciales que, al adquirirlos, generan costos más elevados. Por otro lado, con la ejecución a mayor escala de biochar elaborado a partir de la cáscara de cacao, las personas podrían comercializarlo y obtener un ingreso económico adicional a la venta de cacao, permitiéndoles así, mejorar su calidad de vida.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el efecto del biochar a base de cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*) y compost para la restauración de suelos erosionados.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los parámetros fisicoquímicos del suelo erosionado del sitio Olga Cobos.
- Elaborar biochar a base de cáscara de cacao como enmienda orgánica para tratamientos de restauración de suelo erosionado en el Sitio Olga Cobos.
- Determinar las condiciones en las que el biochar en combinación con el compost tienen un efecto en la restauración del suelo.

1.4. HIPÓTESIS

1.4.1. HIPÓTESIS NULA

La aplicación de biochar y compost no será eficiente para la mejora de las propiedades fisicoquímicas del suelo erosionado.

1.4.2. HIPÓTESIS ALTERNATIVA

Al menos uno de los tratamientos con biochar y compost mejorará las propiedades fisicoquímicas del suelo erosionado.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. PROPIEDADES DEL SUELO PARA DETERMINAR SU CALIDAD

Volverás et al. (2020) indican que el suelo es un sistema complejo constituido por minerales y materia orgánica, como resultado de la acción del clima se determinan sus propiedades físicas, químicas y biológicas, que posibilitan el crecimiento de las plantas. Además, Chaparro y Najera (2022) dan a conocer que, para determinar su fertilidad o calidad, se consideran indicadores químicos, como pH, materia orgánica, nutrientes, nitrógeno, fósforo y potasio, y propiedades físicas como textura y estructura, porosidad, densidad y permeabilidad que son necesarias para que exista el crecimiento de raíces, suministro de agua y nutrientes.

2.1.1. PROPIEDADES FÍSICAS

La condición física del suelo determina, entre otras cosas, su capacidad de carga, facilidad de penetración de raíces, flujo de aire, capacidad de drenaje y retención de agua (Carrasco et al. 2019).

2.1.1.1. TEXTURA Y ESTRUCTURA

Rosero et al. (2019) indican que la textura revela el contenido relativo de diferentes tamaños de partículas como arena, limo y arcilla en el suelo; la textura se encuentra relacionada con la facilidad con la que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire retenido y la velocidad a la que el agua penetra a través del suelo.

La estructura del suelo es un factor importante para considerar antes de arar, influye en la elección de cultivos y regula la permeabilidad al agua; un método para determinar la concentración de estos elementos es un hidrómetro convencional, que determina el porcentaje de arena, limo y arcilla en una muestra de suelo (Barman y Choudhury, 2020).

2.1.1.2. POROSIDAD

El espacio poroso del suelo se refiere al porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos, por lo común, el volumen del suelo es 50% sólidos (45% minerales y 5% materia orgánica) y 50% porosidad; dentro del espacio poroso se distinguen macroporos y microporos donde el agua, los nutrientes, el aire y los gases pueden circular o ser retenidos; los macroporos no retienen el agua contra la gravedad, son responsables del drenaje y la aireación del suelo, crean espacio para que se formen las raíces; los microporos retienen agua, parte de la cual está disponible para las plantas (Morales et al. 2022; Riaño, 2020).

2.1.1.3. DENSIDAD

Chancusig (2022) afirma que, determinando la densidad es posible obtener la porosidad total del suelo, refiriéndose al peso por volumen de suelo; existen dos tipos de densidad, real y aparente; la densidad de partículas real del suelo denso varía según la proporción de elementos que componen el suelo; la presencia de alta densidad aparente indica si un suelo está compactado o presenta un alto contenido de partículas granulares como la arena, mientras que, la densidad aparente baja no indica necesariamente un entorno favorable para el crecimiento de las plantas (Ganchozo y Galarza, 2019).

2.1.1.4. PERMEABILIDAD

En su caso la permeabilidad es una propiedad física del suelo la cual cumple la función para dejar filtrar o no el agua y el aire es una de las cualidades más importantes que han de considerarse para conocer sus características y propiedades. Por ejemplo, un estanque construido en suelo impermeable perderá poca agua por filtración (Pinto y Cubas, 2021).

2.1.2. PROPIEDADES QUÍMICAS

La composición o propiedades químicas del suelo está influenciada por la composición mineral, la materia orgánica, el aire, el agua, los microorganismos y diversos factores ambientales; todas estas fases se relacionan unas con otras, dicho de esta forma existen reacciones de sólidos con agua y aire, reacciones de microorganismos con minerales y materia orgánica (Herrera, 2023).

2.1.2.1. EL pH

Rivera et al. (2018) mencionan que el pH se encuentra en el suelo porque tiene cierto grado de acidez y lamentablemente concentra los micro o macroelementos que son necesarios para el desarrollo de las plantas; dado que existen diferentes tipos de suelo en el mundo, cada uno de ellos tiene características diversas en cuanto a los nutrientes que aporta, los cuales crearán o no las condiciones necesarias para el desarrollo de las especies vegetales que allí crecen. El pH del suelo, también conocido como acidez del suelo, se puede expresar usando una escala de pH, esta escala de pH va de 0 a 14 pH. Los suelos con un pH superior a 7 son alcalinos o blandos. El azufre con un pH estándar de 7 es ácido o amargo; el suelo con un pH de 7 no es ni ácido ni alcalino hasta que se vuelve más neutral (Barragán et al. 2018).

2.1.2.2. MATERIA ORGÁNICA

La materia orgánica del suelo (MOS) contiene tres elementos minerales necesarios para el crecimiento de las plantas: nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S), por lo que su función en el suelo es fundamental para mantener la sostenibilidad del agroecosistema, y muchas técnicas agronómicas aplicados directamente al suelo influyen en el contenido y la dinámica de los componentes de esta materia orgánica (Martínez, 2020).

2.1.2.3. NUTRIENTES

De acuerdo con Morales et al. (2022) el suelo es fértil cuando contiene nutrientes, es decir, sustancias necesarias para el correcto desarrollo de las plantas. Los nutrientes básicos que se encuentran en el suelo son nitrógeno, fósforo y potasio; provienen de las rocas que dieron origen al suelo y de la materia orgánica que es descompuesta por los microorganismos, para determinar la fertilidad del suelo es recomendable realizar muestreos, es por ello por lo que se debe tener en cuenta que la fertilidad del suelo varía en el tiempo y en el espacio (Medina et al. 2016).

2.1.2.4. NITRÓGENO

El nitrógeno en el suelo se presenta en diferentes formas como: amonio (NH_4^+), nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-), óxido nitroso (N_2O), óxido nítrico (NO) y nitrógeno elemental (N_2), que es inerte excepto a los microorganismos fijadores de nitrógeno. Es responsable del color verde oscuro de tallos y hojas, crecimiento vigoroso, crecimiento vegetativo, producción y alargamiento de hojas y formación de granos (Martínez, 2021).

2.1.2.5. FÓSFORO

El fósforo se encuentra en el suelo formando parte de diversos minerales, como roca fosfórica, apatita, etc.; también en compuestos orgánicos, relacionados con la materia orgánica y formando parte de microorganismos; en la solución del suelo también hay formas de iones libres y aquellas unidas al complejo arcilla-hum. Desde un punto de vista agronómico, el fósforo se puede encontrar en el suelo de cuatro formas: en la solución del suelo, es decir Inmediatamente disponible; fijado en un complejo de humus arcilloso, y por lo tanto variable o lábil; como componente de materia orgánica, precipitado o adsorbido en geles de hierro y aluminio, en suelos ácidos y precipitado como fosfato de calcio en suelos alcalinos, muy lentamente asimilado y; forma parte del lecho rocoso, inaccesible (Cotrina, 2019; Cosme, 2022).

2.1.2.6. POTASIO

Cotrina (2019) y Cosme (2022), indican que el potasio es un macronutriente absorbido por las plantas en grandes cantidades, superado únicamente por el N y en ocasiones por el Ca; el menor problema de disponibilidad lo provoca este nutriente, ya que el aporte de este elemento al suelo es generalmente aceptable; a diferencia del fósforo (o azufre y, por lo tanto, nitrógeno), el potasio está presente en la solución del suelo sólo como un catión K^+ con carga positiva, al contrario del nitrógeno y el fósforo, el potasio no causa problemas ambientales cuando sale del suelo. No es tóxico y no provoca eutrofización en los sistemas de agua.

2.2. USOS POTENCIALES DEL SUELO

La Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca de Colombia [CVC], (2021) define que el uso potencial que tiene el suelo se define como la capacidad natural de la tierra para crear o mantener una cubierta vegetal; esta capacidad natural puede verse limitada por la presencia de procesos erosivos graves o muy graves, profundidades efectivas escasas o muy escasas, pendientes muy pronunciadas, limitaciones climáticas, las características químicas y físicas de cualquier suelo, fluctuaciones del nivel freático, entre otras.

2.3. MANEJO DEL RECURSO SUELO

Rodríguez et al. (2020), indican que el suelo es un recurso natural no renovable, su formación y recuperación son lentas, es un componente necesario de la actividad agrícola, pues aporta nutrientes, agua y soporte a los cultivos; Además, entra en los ciclos del agua, nitrógeno, carbono, fósforo, etc.

El manejo intensivo de la tierra en todo el mundo ha resultado en la degradación de la calidad del suelo, afectando las propiedades físicas, químicas y biológicas de los agroecosistemas, ya que el 65% (1.500 millones de hectáreas) de la tierra utilizada para la producción agrícola presenta algún grado de degradación agrícola y ganadera; la degradación del suelo implica procesos físicos, químicos

y biológicos, incluidos los factores del suelo; relieve, litología, vegetación, clima que pueden acelerar o ralentizar los procesos de desgaste. Hay tres tipos de erosión: antropocéntrica, hídrica y eólica (Llanga, 2023).

2.4. USOS DEL SUELO

La Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca de Colombia [CVC] (2021) menciona que el uso de la tierra radica en las funciones que se desarrollan en estas coberturas, es la calificación de todas las actividades que realiza el hombre sobre la tierra, en forma parcial o permanente, con la intención de modificarla o conservarla, para obtener productos y utilidades. Por ejemplo: minería, agricultura, pesca, etc.

2.4.1. PRÁCTICA AGRÍCOLA

La participación humana en la producción de alimentos ha provocado cambios en las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo. La labranza intensiva degrada el suelo al reducir la cubierta vegetal y la materia orgánica, la estabilidad de los agregados; excepto que son precursores de la compactación y la erosión que reducen los niveles de productividad (Zorzoli, 2021). Además, el cambio de tierras forestales en terrenos agrícolas, según lo observado por Rodríguez et al. (2020), ha tenido un impacto en la degradación de la tierra y ha liberado grandes cantidades de CO₂ a la atmósfera.

2.4.2. PRÁCTICA GANADERA

En el Ecuador la producción pecuaria es una de las actividades del sector agropecuario con un importante aporte económico a nivel nacional, la ganadería es uno de los sectores productivos con mayor impacto ambiental a nivel local y global; por ello, el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica Del Ecuador indica que los principales impactos ambientales son la degradación y pérdida de suelos, la contaminación y otros (Chamba et al. 2020).

Ullon (2022) da a conocer que las consecuencias negativas que el sector

primario (agricultura) deja a su paso, como la deforestación y la desertificación; la deforestación como resultado de la conversión de áreas y asentamientos agrícolas a la producción ganadera, así como la desertificación o degradación de la tierra durante la remoción de tierras, lo que afecta negativamente la vida interna de la tierra para sostener la vida en el ecosistema. La degradación del suelo es una de las consecuencias de la ganadería, que afecta al 47% de las tierras, y es también el resultado de actividades como la erosión, el sobrepastoreo, la contaminación y la pérdida de vegetación (Cano y Tubay, 2020).

2.4.3. PRÁCTICA AGROFORESTAL

En los últimos años se han comenzado a desarrollar algunas tecnologías para mejorar los sistemas productivos, en particular: los sistemas agroforestales (SAF) y los métodos agroecológicos. El interés científico en SAF surge de la necesidad de encontrar alternativas más adecuadas para solucionar los problemas de baja producción y degradación de la tierra; SAF puede proporcionar alternativas al uso de los recursos naturales que aumentarán o al menos mantendrán la productividad de la tierra sin causar la degradación de la tierra (Revista de la Red Agroforestal de Universidades de Colombia, 2019).

Los sistemas agroforestales se han destacado como posibles estrategias para mitigar la fragmentación y la pérdida de hábitat para proteger la biodiversidad, en particular, los sistemas de bosques y pastos (SSP) brindan beneficios tales como mejorar la calidad del suelo, crear sombra y proporcionar hábitat y conectividad para la vida silvestre (Chará et al. 2019).

2.4.4. PRÁCTICA PARA LA CONSERVACIÓN

La modernización de las prácticas agrícolas para aumentar la productividad de un grupo privilegiado de cultivos ha sido común en América del Sur desde la década de 1970; las principales prácticas implementadas incluyeron el uso de fertilizantes y control fitosanitario a base de ingredientes sintéticos, y la mecanización de la agricultura arada; estas actividades afectan directamente la

calidad del suelo y lo hacen más dependiente de fertilizantes importados en todo el continente (Singaña y Satama, 2021).

Los pequeños agricultores han utilizado históricamente diversas tecnologías en sus prácticas agrícolas, aprovechando los recursos naturales como suelo, bosques, agua, ríos; fuentes de energía orgánica. Para la conservación del suelo y sus recursos naturales se han utilizado técnicas tradicionales desde los orígenes de la humanidad, el año 3000 a.C., como ecotipos paleotécnicos en terrenos específicos con herramientas de sistema como el azadón, a tracción animal y el arado, además del uso de cultivos permanentes y barbacheo (Gortari y Santos, 2019).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2023) y Coronel y Cayo (2022) dan a conocer sobre La Reseña Mundial de Enfoques y Tecnologías de la Conservación lanzada en 1992, este un proyecto de la Asociación Mundial de la Conservación del Suelo y del Ambiente; promueve la integración de métodos en la conservación de suelos y usos de la tierra en todo el mundo, trabaja en conjunto con el Panorama Mundial de Enfoques y Tecnologías de Conservación (WOCAT) utiliza las siguientes diferencias:

- **Conservación del suelo y del agua:** Hace referencia a las actividades a nivel local que mantienen o aumentan la capacidad productiva de la tierra en áreas afectadas por o propensas a la degradación. Se incluye la prevención o la reducción de la erosión del suelo, consolidación y la salinidad; la conservación o drenaje del suelo; el mantenimiento o mejoramiento de la fertilidad del suelo.
- **Tecnologías de Conservación del suelo y del agua:** Estas medidas agronómicas, vegetativas, estructurales, y de gestión controlan la degradación del suelo y aumentan la productividad del campo.
- **Enfoques de Conservación del suelo y del agua:** Estos son formas o medios de apoyo que ayudan a introducir, implementar, adaptar y aplicar

estas tecnologías en el campo.

2.5. COBERTURA DEL SUELO

La cobertura terrestre es una capa biofísica que se observa en la superficie terrestre, en un sentido amplio describe no solo la vegetación y las características antropogénicas presentes en la Tierra, sino también las que deberían ser descritas por otras tierras como afloramientos rocosos y cursos de agua. La cobertura terrestre es el material físico sobre la superficie de la tierra; la cobertura del suelo incluye césped, asfalto, árboles, suelo desnudo, agua, etc. (Cortés et al., 2022; Leonhart, 2019).

Leonhart (2019) en su estudio, señala que la cobertura terrestre dominante en su análisis fue la silvicultura y cómo el cambio ocupacional ha dependido de la agricultura a lo largo del tiempo, analizándolo bajo el riesgo de inundación que se puede dar en los municipios es excepcional, ya que se encuentran partes que han sido deforestadas y la función de la cubierta forestal era proteger el suelo y limitar el caudal durante la temporada de lluvias.

2.5.1. CLASIFICACIÓN DE LA COBERTURA CON ENFOQUE EN LA AGROFORESTERÍA

De acuerdo con Jiménez et al. (2023) el Sistema Agroforestal (SAF) es la manera de emplear la tierra, que implica la combinación de especies forestales en tiempo y espacio, con especies agronómicas, en procura de la sostenibilidad del sistema. Las combinaciones de cultivos agrícolas, pastos y árboles altos pueden ser infinitas, y fueron bautizados por quienes los reconocieron, estudiaron o diseñaron; por lo tanto, surge la pregunta de que si era necesario desarrollar una clasificación que estandarizara conceptos y nomenclatura. (Farinango, 2021).

2.5.1.1. BOSQUES

Los bosques se encuentran en una variedad de condiciones geográficas de suelo, así como climáticas, desde el norte hasta las regiones tropicales se estima que casi 560 (68%) de las ecorregiones terrestres del mundo son bosques y asentamientos; sin embargo, los árboles no se limitan a tales hábitats, son una parte importante de muchos otros sistemas, incluidos los paisajes agrícolas, las praderas, las estepas y los desiertos; esta diversidad ecológica, así como las grandes diferencias culturales y socioeconómicas entre los pueblos que viven en o cerca de los bosques y en cierta medida dependen de ellos y de la agrosilvicultura, hacen que su manejo y aprovechamiento sean complejos y requieran una variedad de estrategias de investigación (Science for humanity's greatest challenges [CGIAR], 2023; González, 2019).

2.5.1.2. PASTIZALES

Los pastizales y matorrales templados, es decir, los pastizales y las estepas, representan un bioma cuyos ecosistemas dominantes son los pastizales con un clima templado entre semiárido y húmedo, con una estación cálida y una estación claramente fría en invierno (Tesen, 2018).

2.5.1.3. CULTIVOS

Según Tesen (2018) dentro del contexto de la agroforestería existe la cobertura que está conformada únicamente de cultivos y la que se encuentra conformada en forma mixta de esta forma se tiene:

- **Sistema Agrosilvicultural:** Sistema de combinación de árboles con cultivos agrícolas en el mismo sitio. Los cultivos agrícolas pueden disponerse en forma de avenidas entre hileras de árboles o plantarse en bloques adyacentes para la producción de árboles y arbustos.
- **Sistema Agrosilvopastoril:** Un sistema en el que los árboles se combinan con cultivos agrícolas y pastos para la producción animal,

simultánea o secuencialmente. Se puede combinar con el uso de cortavientos y árboles.

2.6. CAPACIDAD DEL USO DE SUELO

Victoria (2019) indica que para conocer la capacidad de uso del suelo se elaboran mapas donde se recogen parámetros del suelo, como otras características físicas del medio ambiente entre ello: la litología, geomorfología, vegetación, erosión hídrica, clima expresado a través de la influencia en la formación de determinado tipo de suelo y comunidad vegetal, resultados de actividades antrópicas, etc., de esta forma, la capacidad de ocupación del suelo pretende clasificar el territorio y agruparlas en clases según sus potencialidades, sus condicionantes y sus necesidades de gestión. (López, 2018).

2.6.1. CLASE I: TIERRAS MUY PRODUCTIVAS

Suelos con pendiente plana hasta 2, profundos y fáciles de explotar, con muy poca o ninguna roca, es decir, sin restricciones que impidan la operación de maquinaria, suelo bien drenado, Grupo textural G1 (arcilla, franco arenoso, franco arenoso y franco arcilloso polvoriento). Se presenta en el régimen de humedad clasificado como údico y en la zona de temperaturas isohipertermales e isotermas; los terrenos clasificados pueden ser utilizados para el desarrollo de actividades agrícolas (López, 2018; Albarracín, 2019).

2.6.2. CLASE II: TIERRAS MODERADAMENTE PRODUCTIVAS

Los suelos próximos a la clase I y/o en pendientes muy suaves inferiores a 5, medios y profundos, con poca rocalla que no limite ni dificulte el trabajo de la maquinaria, tienen una estructura superficial del grupo textural G1, G2 (suelos arcillosos, franco, limoso) y G3 (franco arenoso, franco franco, franco arenoso, franco franco) tienen un drenaje natural de bueno a moderado. Estos incluyen suelos ligeramente salinos y no salinos. Requieren un manejo más cuidadoso que los suelos Clase I. Ocurren en regímenes de humedad hidratada y estática y en regímenes de temperatura isohipertérmicos e isotérmicos. Los terrenos de

esta clase pueden ser utilizados para el desarrollo de la actividad agrícola (López, 2018; Albarracín, 2019).

2.6.3. CLASE III: TIERRAS CON LIMITACIONES MODERADAS

Esta clase de suelo tiene una pendiente menor al 12%, tiene erosión que puede ser ligera a moderada, superficial a profunda, poca roca por lo que es apto para cultivos, tiene fertilidad alta, media o baja, tiene drenaje, bueno y moderado; incluye suelos salinos, ligeramente salinos y no salinos; tienen toxicidad cero, leve y moderada, estos suelos no son recomendables para cultivos anuales (Albarracín, 2019; López, 2018).

2.7. CALIDAD DEL SUELO

La calidad del suelo se considera una medida de la sostenibilidad del uso de la tierra y la gestión agrícola, se es posible determinarla mediante el seguimiento de diferentes tipos de indicadores: físicos, químicos y biológicos (Vallejo et al. 2018).

Cruz et al. (2021) y Morel y Acosta (2022) mencionan que los indicadores son herramientas analíticas que simplifican, cuantifican y comunican fenómenos complejos, dichos indicadores se utilizan en muchos campos del conocimiento (economía, salud, recursos naturales, etc). Los indicadores de calidad del suelo pueden ser propiedades o procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren dentro de ellos; estos indicadores no pueden ser un grupo adecuado para cada situación individual, sino que deben ser iguales en todos los casos.

2.8. AFECTACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO

Tomando como referencia el contexto de la calidad del suelo cabe mencionar que a nivel global se ha evidenciado la disminución de las funciones o de la calidad del suelo, debido a los usos insostenibles en las prácticas agrícolas, forestales y urbanísticas, que han ocasionado pérdida de materia orgánica,

salinización/alcalinización, compactación, pérdida de estructura y contaminación, lo cual puede afectar directamente la oferta de estos de bienes y servicios (Trujillo et al. 2018).

2.9. EROSIÓN DEL SUELO

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2023b) la degradación de la tierra es un proceso que reduce cuantitativa y cualitativamente la capacidad actual y potencial de la tierra para producir bienes y servicios como resultado de las actividades humanas directas relacionadas con el manejo de agroquímicos, el riego en la agricultura, la silvicultura y la ganadería, ya que través de actividades indirectas relacionadas, por ejemplo, con actividades industriales, gestión de residuos y transporte. Medina (2022) y Chavarin (2021) enuncian que existen tres tipos de degradación del suelo: física, química y biológica.

2.10. ASPECTOS IMPORTANTES DE LA EROSIÓN EN SUELOS DE CULTIVO

Algunos sistemas agrícolas degradan el suelo afectando sus propiedades físicas y químicas y recuperándose muy lentamente. La degradación física del suelo afecta el buen funcionamiento del suelo porque afecta su capacidad de transporte de líquidos, su capacidad de almacenamiento relacionada con el balance de gases y agua necesaria para la disolución de los nutrientes de las plantas, la pérdida de la calidad física del suelo también se puede evaluar por el cambio en la densidad, la porosidad, la distribución del tamaño de los poros, la estructura y la tasa de infiltración del agua en el suelo (Dayanara et al. 2018).

Delgado et al. (2021) indican que el deterioro progresivo de la calidad del suelo se ve reflejado en la erosión física (compactación y pérdida de la estructura) y la degradación química, caracterizada por la acumulación de sales solubles expresadas en la disminución de la producción del suelo y la aparición de problemas ambientales.

2.10.1. PÉRDIDA DEL SUELO

La pérdida de suelo por erosión es un problema ambiental importante en áreas donde se desarrollan actividades agrícolas, entre estas actividades la horticultura combina una explotación intensiva del recurso tierra que puede comprometer su sostenibilidad a medio y largo plazo. La pérdida de nutrientes y de estructura del suelo son algunas de las consecuencias de la erosión que pueden limitar usos futuros y afectar la provisión de servicios ecosistémicos (Zulaica et al. 2019; Martínez et al. 2020). Además, la pérdida de suelo evita la humedad superficial permanente, destruye los hábitats de vida silvestre y contribuye a la desaparición de árboles nativos como robles y robles vivos (García, 2018).

2.10.2. PÉRDIDA DE LOS NUTRIENTES

Wladimir y Naranjo (2020) indican que la pérdida de nutrientes (N, P, S, K, Ca, Mg, etc.) ocurre directamente, ya sea eliminando el agua que ataca el suelo, o por erosión desde o hacia el agua de escorrentía, o por erosión del agua de escorrentía, o indirectamente de la erosión contenida en materiales o materiales que podrían repararlos.

La pérdida de nutrientes puede darse de tres formas:

- Por percolación en el perfil del suelo;
- En solución en el agua de escorrentía;
- Absorbidos a los sedimentos arrastrados por el agua de escorrentía

Segura y Fonseca (2020) revela que la cantidad, la persistencia, la ubicación en el perfil del suelo y el grado de interacción con el suelo (adsorción) son los factores más importantes para determinar la concentración de nutrientes en el sedimento o el agua.

2.10.3. EFECTOS DE LA EROSIÓN DEL SUELO AL RECURSO DEL AGUA

La contaminación del suelo desencadena una reacción en cadena, modifica la biodiversidad del suelo al reducir la materia orgánica que contiene y su capacidad de filtración. Además, cuando el agua que se ha filtrado en el suelo y las aguas subterráneas se contaminan, sus nutrientes se desequilibran (Ramírez, 2022). Las partículas del suelo (p. ej., sedimentos) separadas de la superficie del suelo desempeñan un papel fundamental en la regulación de la calidad del agua y los procesos hidrológicos, ya que podrían transportar pesticidas, sustancias químicas venenosas y nutrientes a los lagos y embalses, lo que provocaría el deterioro de la calidad del agua (Hou et al. 2019).

Hou et al. (2019) en su estudio obtuvieron como resultado, en el análisis de correlación entre la erosión del suelo y la turbidez del agua/transparencia del agua mostró que el 45,9 % de la disminución de la turbidez del agua se correlaciona con la disminución de la erosión del suelo y que el 42,5 % del aumento de la turbidez del agua podría estar influenciado por el aumento de la erosión del suelo.

Muñoz (2019) menciona que, como consecuencia, la erosión del suelo influye directamente en la fertilidad del suelo de la capa superficial, lo que resulta en una reducción del rendimiento de los cultivos, un suministro inadecuado de alimentos e incluso un desarrollo económico restringido.

2.10.4. PÉRDIDA DE LA BIODIVERSIDAD

Cuando se produce la erosión del suelo la capa superior fértil que se compone de una biodiversidad con gran cantidad de nutrientes y organismos se desplaza o se elimina, lo cual puede darse por el viento, lluvias, escorrentías u otras actividades como la agricultura intensiva o la deforestación (Barcos, 2023).

Orgiazzi y Panagos (2018) dan a conocer los efectos que ejerce la erosión sobre la pérdida de la biodiversidad del suelo, dándose a conocer el efecto de

migración en donde la pérdida de suelo por escorrentía conduce a la dispersión y mezcla de organismos del suelo, en consecuencia, se pierde una gran cantidad de nutrientes. Además, Flores et al. (2020) hace referencia a que la intensidad de los eventos erosivos altera y destruyen parte o en su totalidad a las comunidades de organismos del suelo, de esta forma la erosión del suelo es uno de los principales sucesos de la perturbación en los procesos de extinción.

Los organismos del suelo promueven la descomposición, la productividad de las plantas, el ciclo de nutrientes y la regulación de las emisiones de gases de efecto invernadero. Al modificar las comunidades del suelo, la erosión del suelo afecta los servicios que brindan. Se ha relacionado la erosión del suelo con posibles cambios en las funciones biológicas del suelo; en algunos casos, la escorrentía promueve servicios vinculados con la biodiversidad del suelo, como el ciclo de nutrientes y el crecimiento de las plantas (Orgiazzi y Panagos, 2018).

Desde este punto de vista, la biodiversidad también juega un papel fundamental para la salud y fertilidad del suelo. Afectando a los los microorganismos y los seres vivos, como las lombrices de tierra, que ayudan en la descomposición de la materia orgánica, el ciclo de nutrientes y la formación de una estructura de suelo saludable; en este contexto, la pérdida de biodiversidad puede reducir la actividad de estos organismos y afectar negativamente la calidad y fertilidad de los suelos, reduciendo la capacidad del suelo para almacenar componentes como el carbono y los nutrientes de manera directa y en gran escala, afectando la productividad de las plantas (cultivo) y su crecimiento (Castiblanco y Zapata, 2020; Laban et al. 2018).

La pérdida de biodiversidad del suelo no es solo una preocupación de conservación, sino que afecta múltiples funciones del ecosistema, incluidas las tasas de descomposición, la retención de nutrientes, el desarrollo de estructuras de etiquetas y el ciclo de nutrientes (Larbondière et al. 2020).

2.11. CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO EROSIONADO

Las características de un suelo erosionado según Acevedo y Jiménez (2018), Sánchez (2023) y Guanotasig (2021) son las siguientes:

- Se presenta un suelo que ha pasado por las etapas de desprendimiento, transporte y sedimentación.
- La velocidad de la erosión depende del tipo de suelo, cobertura, y demás características.
- Su erosión pudo darse por factores naturales como humanos como loes la agricultura.
- Presenta pérdida de rendimiento de la tierra fértil para la sostenibilidadde los ecosistemas agrícolas y para la productividad de la tierra.
- Sus condiciones provocan la disminución de las especies que viven allí.
- La desertificación del suelo convierte al terreno en una zona árida o noapta para la vida (por la falta de agua, de vegetación y de alimento).
- Existe reducción de la capacidad de filtrado por estar desertificado y puede generar inundaciones en la zona.
- Está asociado al clima global este puede verse alterado, en gran medida, por la reducción de los bosques que tienen la capacidad de absorber el dióxido de carbono.

2.12. RECUPERACIÓN DEL RECURSO SUELO

Rodríguez (2020) relata que la necesidad de preservar el suelo como recurso natural sobre el que se sustenta tanto la agricultura como el entorno natural afecta a la sociedad en su conjunto, que exige cada vez más el bienestar y, por tanto, la calidad de su entorno. La Sociedad Española de la Ciencia del Suelo [SECS], (2018) da a conocer que recuperar un suelo contaminado tiene como

objetivo alcanzar niveles aceptables de salud y calidad del suelo, adoptada como la capacidad de un suelo para conservar las funciones de productividad y de calidad ambiental y favorecer la salud vegetal y animal.

Las técnicas de recuperación de los suelos según Organización Posada (2023) son:

- Barreras verticales.
- Barreras horizontales.
- Barreras de suelo seco.
- Sellado superficial.
- Barreras hidráulicas.
- Estabilización físico Química.
- Inyección de solidificantes.
- Vitrificación.

2.13. APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS AGRÍCOLAS

En todo el mundo se genera una gran cantidad de residuos agrícolas que son desechados y actúan como foco de contaminación ambiental; en muy pocos lugares se les da un uso productivo y se le atribuye un valor añadido (Camacho et al. 2022).

Se entiende por biomasa a toda la materia orgánica procedente de organismos vivos como plantas o animales, así como los residuos orgánicos (lodos de depuradora) y los productos residuales de la industria agrícola. Este material orgánico puede ser utilizado como fuente de energía para la producción de calor, electricidad o la producción de sustratos orgánicos. Los residuos orgánicos constituyen de biomasa residual agrícola y ganadera, que pueden aportar a la economía circular y el desarrollo de la sostenibilidad (James et al. 2021).

Vargas et al. (2019) indican que se han desarrollado estrategias en el marco de

la economía verde, para mejorar la gestión de los residuos orgánicos, promoviendo su reducción a lo largo de la cadena de suministro (prácticas agrícolas, postcosecha, comercialización y uso final), así como de las pérdidas y desperdicios implementando medidas de gestión de los residuos orgánicos. Flores (2023) indica que el compostaje es una tecnología de bajo costo, este asegura que los residuos orgánicos ligan sus componentes en el ciclo de la cadena primaria de suministro, además mejora las condiciones fisicoquímicas del suelo y la productividad de los cultivos.

2.13.1. CÁSCARA DE MAZORCA DE CACAO

El cacao es un tipo de cultivo originario de Centro y Suramérica, el cual crece en regiones tropicales debido a sus necesidades de calor y humedad. Ecuador, debido a sus condiciones geográficas y agroecológicas cuenta con las cualidades para el cultivo de cacao, en donde existe producción de Cacao de Fino Sabor y Aroma (CFA) esto ubica a Ecuador en un selecto grupo de países (Colombia, Perú, Venezuela) que maneja el 70% de la producción mundial de CFA (Herrera et al. 2020; Remolina, 2019).

La cáscara de cacao se considera residuo agrícola sin valor comercial y se desecha. Esta cáscara representa hasta el 74-86% del peso de la mazorca y se considera un material poco degradable debido a su alto contenido en lignina. Este ingrediente contiene enlaces muy fuertes que no son degradables en un proceso de biodegradación natural, lo que lleva a una fácil despolimerización (Huchani, 2018).

Murillo et al. (2020) señalan que el cultivo del cacao produce, desde la etapa de cosecha hasta la etapa de procesamiento, una sucesión de residuos (10 toneladas de residuos frescos por una tonelada de semillas secas) estos residuos consisten en la cáscara de la fruta y la pulpa de las semillas, ricas en taninos, polifenoles, alcaloides, azúcares y polisacáridos. El fruto de cacao CCN 51 en su superficie física externa es de color variable como rojo, morado, café y el fruto de cacao Criollo muy diferente es de color amarillo intenso, ovoide con superficie rugosa y además también se los encuentra en donde cuyos frutos son

de color rojo, y aunque los subproductos de su procesamiento representan un problema de disposición importante para la industria, también son fuentes prometedoras de compuestos que pueden ser utilizados debido a sus múltiples propiedades favorables (Florez, 2018).

2.14. ENMIENDAS PARA RECUPERACIÓN DE SUELOS EROSIONADOS

Damian (2018) menciona que para mejorar la calidad de los suelos y disminuir la degradación y contaminación se utiliza la aplicación de enmiendas, creando grandes expectativas en este campo debido a que, por su alto contenido de materia orgánica, microorganismos, bacterias y microelementos estos actúan sobre los cambios en la estabilidad estructural y aumentan la capacidad de almacenamiento de agua de los suelos enmendado. Las enmiendas en suelos son aplicadas para disminuir la solubilidad y la biodisponibilidad de los nutrientes y microelementos en los suelos. (Stoeff y Marino, 2021)

Los insumos más comunes para este fin son materiales calizos, fosfatos, óxidos de Fe y Mn, materiales orgánicos, aluminosilicatos, etc. La naturaleza y el alcance de las modificaciones a realizar dependen de las características del sitio (suelo, hidrogeología, pendiente, clima, etc.), el tipo de contaminación y el uso del suelo (Romero, 2021).

Su procesamiento, basado en materiales orgánicos de varios residuos orgánicos, es una práctica común para mejorar las propiedades del suelo y puede ser un enfoque ambientalmente amigable y rentable para restaurar grandes áreas con un nivel moderado de contaminación. Los aditivos orgánicos como el compost o la turba, que contienen una alta proporción de materia orgánica humificada, pueden reducir la biodisponibilidad de los metales en el suelo a través de la adsorción y la formación de complejos estables con sustancias húmicas, ya que los ácidos húmicos tienen una alta capacidad para unir metales quelados (Gatica y Carrillo, 2020; Narváez, 2019).

2.14.1. BIOCHAR A PARTIR DE BIOMASA RESIDUAL

El biochar es un producto obtenido por combustión parcialmente anaeróbica de biomasa a temperaturas entre 350 y 500°C. Contiene grandes cantidades de ceniza y, sobre todo, de carbono, lo que mejora sus propiedades al ser devuelto al suelo. Su uso actual en agricultura es bien conocido como una medida de reciclaje y manejo de nutrientes en agroecosistemas para contrarrestar la pérdida de tierras agrícolas y forestales (Abad, 2022).

Ospina (2022) menciona que el biochar es una tecnología que beneficia al suelo aumentando su fertilidad y afectando sus propiedades; se afirma que el tipo de biomasa residual que se puede utilizar para producir biochar pueden ser hojas, raíces, ramitas secas y otros residuos de esquejes de plantas. Para obtener carbón, los restos de la planta deben estar completamente secos (Abad, 2022; Guevara, 2020).

2.14.2. COMPOST

El compostaje es un proceso aeróbico que requiere oxígeno, un contenido óptimo de humedad y una porosidad óptima para estabilizar los desechos orgánicos; las variables de controles más comunes son la temperatura, el oxígeno y la humedad. La actividad microbiana a través de procesos metabólicos complejos es responsable de la degradación parcial y la humectación de la materia orgánica (conversión oxidativa biológica), que finalmente transforma la materia orgánica en enmiendas del suelo ricas en nutrientes (Sayara et al.2020).

En la actualidad el autor Sayara et al. (2020) enuncia que la tecnología del compostaje se presenta como un esquema alternativo para la gestión y valorización de los residuos sólidos, en especial de la fracción orgánica y, en general, de los residuos sólidos orgánicos de todos los orígenes, cuando se maneja correctamente, brinda la opción de recuperar valiosos recursos de nutrientes, en lugar de desecharlos, lo que reduce la contaminación ambiental. Es importante evaluar la calidad del compost y la prueba de germinación de semillas es una herramienta poderosa para examinar la toxicidad del compost,

que es el aspecto más importante de la calidad (Luo et al. 2018).

2.14.3. POTENCIACIÓN DEL BIOCHAR

El compostaje es un tratamiento microbiano que requiere condiciones de crecimiento favorables para los microorganismos involucrados, en teoría, agregar biochar a la pila de compost podría cambiar parámetros fisicoquímicos importantes, crear un hábitat más adecuado para los microorganismos afectados y promover el crecimiento microbiano; estas condiciones ambientales favorables aumentan la actividad microbiana y permiten la formación de materia orgánica. Los cambios que sufre la superficie del biochar durante el compostaje (activación del biochar) tienen un efecto positivo en la fijación de nutrientes, ya que se evitan pérdidas por lixiviación o volatilización durante el compostaje (Sánchez et al. 2019).

La incorporación de biochar al compost mejora notablemente las propiedades físicas de las pilas al reducir la formación de grumos o aglomerados, al tiempo que potencia la actividad microbiana, sin generar un aumento en la emisión de gases de efecto invernadero. De acuerdo con los hallazgos obtenidos por Sánchez et al. (2015), la adición del 3% de biochar reduce el tiempo del proceso hasta un 20%, lo que hace el empleo de este material muy interesante en el mundo del compostaje y el tratamiento de residuos orgánicos agrícolas.

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN

La presente investigación tuvo dos escenarios: el primero, para la toma de muestras de suelo erosionado que se realizó en el sitio Olga Cobos de la parroquia Calceta con coordenadas geográficas de longitud de 591202.00 m E y latitud de 9907251.00 m S. El segundo escenario de investigación se desarrolló en los laboratorios agroindustriales de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Feliz López” (ubicada en el sitio Limón, del Cantón Bolívar, de la Provincia de Manabí con coordenadas geográficas de longitud de 590544 m este y latitud de 9908643 m Sur para la respectiva evaluación de los tratamientos de restauración del suelo erosionado, según como se indica en la siguiente figura:

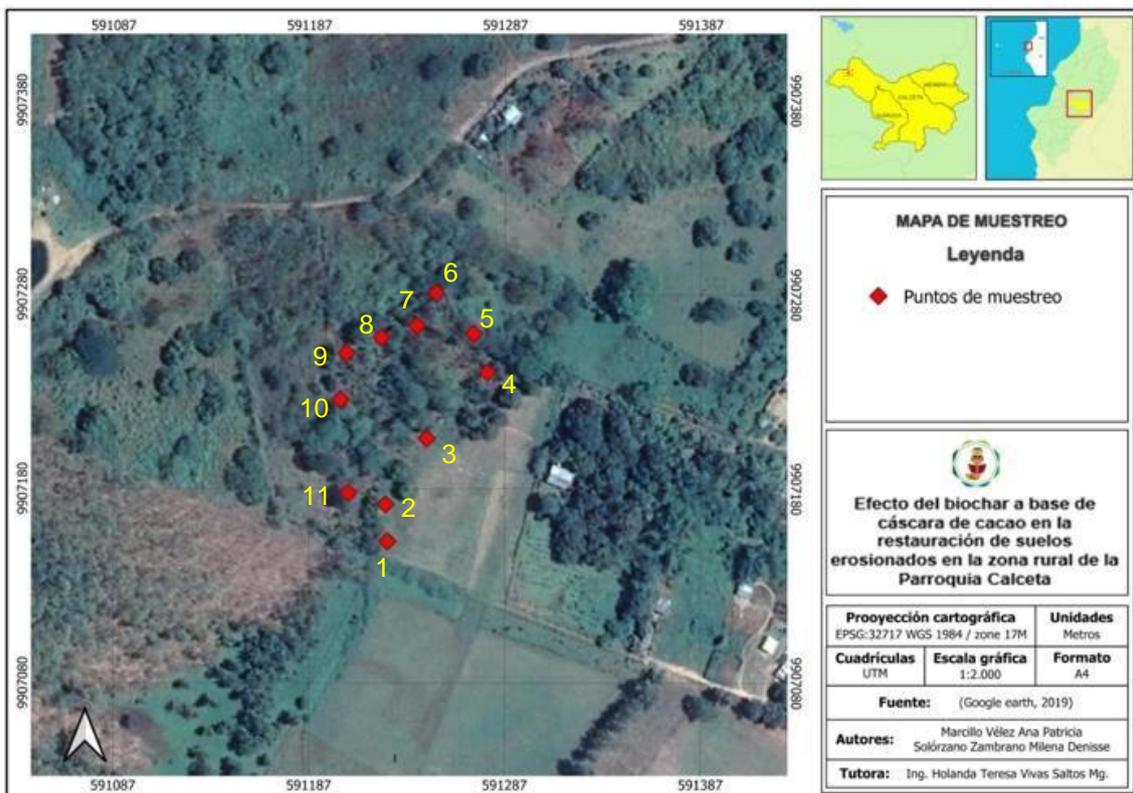


Figura 3.1. Ubicación del área de estudio.

3.2. DURACIÓN DEL TRABAJO

El trabajo tuvo una duración aproximada de nueve meses, durante los cuales se llevó a efecto cada una de las actividades destinadas a evaluar la eficiencia del biochar a base de cáscara de cacao en la restauración de suelos erosionados.

3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo fue de carácter experimental puesto que las muestras de suelo erosionado se trataron con biochar y compost bajo diferentes dosis o proporciones para evaluar los efectos fisicoquímicos en un lapso determinado de 2 meses.

3.4. MÉTODOS

Los métodos empleados en la presente investigación fueron:

3.4.1. BIBLIOGRÁFICO

De acuerdo con Tramullas (2020) este método implica la búsqueda, selección y análisis crítico de fuentes bibliográficas relevantes al tema de estudio. Dicho método se utilizó en la selección ordenada y sistemática de información sobre las variables involucradas en el estudio, relacionado a los diferentes efectos del biochar a base de cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) como enmienda del compost para la restauración de suelos erosionados.

3.4.2. EXPERIMENTAL

Es un método científico para comprobar la veracidad de enunciados hipotéticos mediante experimentos (García-Argüelles et al., 2018). En el presente trabajo de investigación, mediante experimentos se evaluaron los diferentes efectos del biochar a base de cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) como enmienda del compost para la restauración de suelos erosionados.

Se seleccionaron muestras representativas y se empleó el diseño experimental como estrategia de control, además de la metodología cuantitativa para analizar los datos (Guevara et al., 2020).

3.4.3. ESTADÍSTICO

Este método permitió recopilar, interpretar y validar los datos que se llevaron a cabo durante toda la experimentación e investigación y para este propósito se complementó con el manejo y uso de programas como Excel e Infostat, tomando en cuenta para la tabulación de datos estadísticos e inferencial con el fin de obtener los resultados (Azcuy y Bretaña, 2020).

3.5. TÉCNICAS

3.5.1. OBSERVACIÓN

La técnica de observación permite al investigador interactuar directamente con el fenómeno objeto de estudio, con el fin de obtener una evidencia visual y tangible de lo que se desea conocer (Burgos, 2019). Esta técnica se empleó para monitorear los cambios físicos, químicos y sensoriales en los ensayos de recuperación del suelo erosionado mediante la aplicación de mezclas de biochar y compost, esto permitió mejorar y ampliar la comprensión de los efectos de estas enmiendas del suelo en el proceso de restauración.

3.6. DELINEAMIENTO EXPERIMENTAL

3.6.1. FACTORES EN ESTUDIO

Se evaluaron los siguientes factores:

- Dosis porcentual de compost
- Dosis porcentual de biochar

3.6.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

En este estudio se implementó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) que constó de 4 tratamientos distribuidos aleatoriamente en tres bloques, los cuales reflejaban la disposición de los lotes del terreno. Se contó con un total de 12 unidades experimentales, consistiendo en recipientes plásticos tipo macetas con capacidad de hasta 1 kilogramo. Además, se llevó a cabo la Prueba de Tukey ($p < 0,05$) para evaluar la confiabilidad de los resultados, conforme a lo indicado por García et al. (2001). Asimismo, esta prueba permitió comparar las medias individuales de las muestras que fueron sometidas a tratamientos diferentes, determinando así la existencia de diferencias significativas entre los grupos analizados.



Figura 3.2. Diseño experimental de las 12 unidades experimentales.

3.6.3. TRATAMIENTOS Y UNIDADES EXPERIMENTALES

En la tabla 3.1 se representa la composición y concentración de las dos enmiendas utilizadas, las cuales fueron compost y el biochar que se utilizaron en el presente estudio, según revisión bibliográfica (Gholamhadi et al., 2023).

Niveles

- Concentración de 1%
- Concentración de 4%

Factores en estudio

- **Factor A:** Compost
- **Factor B:** Biochar

Tabla 3.1. Factores de tratamiento y sus niveles.

Factor A: Compost	Factor B: Biochar
A1: Concentración 1%	B1: Concentración 1%
A2: Concentración 4%	B2: Concentración 4%

Así mismo, en la tabla 3.2 se muestra la interacción entre los factores de tratamiento:

Tabla 3.2. Interacción entre los factores de tratamiento.

Tratamiento	Nomenclatura
T ₁	A1B1 = Compost 1% Biochar 1%
T ₂	A1B2 = Compost 1% Biochar 4%
T ₃	A2B1 = Compost 4% Biochar 1%
T ₄	A2B2 = Compost 4% Biochar 4%

A continuación, se presentan las dosis que se adicionaron en cada unidad experimental:

Tabla 3.3. Descripción de las dosis para cada tratamiento en función de la dosis de suelo erosionado.

Tratamientos	Dosis de compost (g) (Factor A)	Dosis de biochar (g) (Factor B)	Dosis de suelo erosionado
T ₁	10	10	98,0%
T ₂	10	40	95,0%
T ₃	40	10	95,0%
T ₄	40	40	92,0%

Además, en la tabla 3.4 se reflejan las fuentes de variación y sus grados de libertad:

Tabla 3.4. Fuentes de variación y sus grados de libertad.

Fuentes de variación	Grados de libertad
Factor A	1
Factor B	1
AxB	3
Error experimental	8
Total	13

3.7. VARIABLES EN ESTUDIO

3.7.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Dosis de enmiendas del suelo: biochar y compost.

3.7.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Efecto en el suelo mediante los siguientes parámetros:

- pH,
- Humedad,
- Porosidad,
- Materia orgánica,
- NPK,
- Conductividad eléctrica.

3.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente a un nivel de probabilidad del 5% de significancia monopolizando análisis de varianza (ANOVA). Se utilizó la prueba post hoc HSD de Tukey para realizar la comparación múltiple de medias. El análisis estadístico se realizó utilizando el software InfoStat.

3.9. PROCEDIMIENTOS

La presente investigación se desarrolló con base a los objetivos específicos propuestos:

3.9.1. FASE I. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL SUELO EROSIONADO

ACTIVIDAD 1. MUESTREO DEL SUELO EROSIONADO

La identificación del suelo in situ se llevó a cabo siguiendo el manual para evaluar la erosión de los suelos en zonas forestales (Cotler, 2020), mediante el muestreo de los parámetros detallados en la tabla 3.5, además, se recolectaron submuestras de suelo para formar muestras compuestas utilizando un cilindro en el lugar seleccionado, excavando entre 5 y 18 cm de profundidad y asegurando la ausencia de residuos vegetales (FAO, 2009; Gholami et al., 2019), pasando las muestras por un tamiz de 2 mm (Acevedo et al., 2020). Por otra parte, debido a las características topográficas del área de estudio ubicado en una pendiente, este se dividió en tres lotes.

Tabla 3.5. Parámetros de muestreo de suelo.

Parámetro	Método de muestreo
Cubierta del suelo	A lo largo del transecto, se seleccionaron cinco zonas de muestreo, cada una delimitada por un cuadrante de 1 m ² . Donde se buscó representar la situación de la cobertura del suelo en dicha área de estudio, para determinar el porcentaje de suelo recubierto. Dicho porcentaje se estableció de acuerdo a las láminas comparativas para estimar cubrimiento de suelo (Siebe et al., 2006).
Espesor del mantillo	Para llevar a cabo el muestreo, se seleccionaron a lo largo del transecto cinco áreas de 1 m ² cada una, representativas de la cobertura del suelo en la zona de estudio. En cada área de muestreo, se midió el espesor del mantillo en las esquinas del cuadrante. Espesor total del mantillo: Suma del espesor de mantillo en las cinco zonas a lo largo del transecto. Espesor promedio del mantillo: promedio de las mediciones del mantillo entre el número total de zonas.
Medición de los pedestales	Un pedestal se define como una sección de suelo resguardada del impacto de las gotas de lluvia por una superficie dura, que la protege contra la erosión. Para medir este parámetro, se empleó una regla para determinar en centímetros la altura de cada pedestal encontrado en la zona de muestreo. Esta medida se tomó desde el suelo hasta la base de la piedra, tronco, raíz u otro material que cubriera el pedestal en su punto más alto. Altura total de los pedestales: Total de la altura de todos los pedestales registrados. Altura promedio de los pedestales: Promedio de las alturas de los pedestales entre el número total de pedestales registrados.
Medición de surcos	Los surcos son canales, con una profundidad inferior a 20 cm. Con la ayuda de una regla se determinó, en centímetros, el largo, ancho y la profundidad de los surcos presentes en el área de estudio. Para obtener los datos finales, se multiplicaron la profundidad, el largo y el ancho de los surcos para calcular su volumen, posteriormente, se estimó la densidad aparente, mismo que sirvió para obtener el peso del suelo perdido.

Fuente: Cotler (2020)

ACTIVIDAD 2. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DEL SUELO

Para la caracterización del suelo se utilizó el manual de procedimientos analíticos de laboratorio de suelos, propuesto por Zagal y Sadzawka (2007); Delgadillo y Alcalá (2010). Los parámetros evaluados fueron: humedad, densidad aparente, porosidad, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, fósforo, nitrógeno y potasio.

Los análisis fisicoquímicos de las muestras de suelo fueron realizados en el laboratorio de Química Ambiental y Suelos de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, así como en el laboratorio de suelos del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Ecuador [INIAP]. En la tabla 3.6 se muestran los parámetros analizados con sus respectivos métodos.

Por otra parte, para calcular el nitrógeno (N) se realizó a partir del resultado de amonio, por medio de una conversión (3.1) en función de la masa molecular del nitrógeno presente en amonio:

$$N \text{ ppm} = (\text{ppm } NH_4) * \left(\frac{14 \text{ g/mol Nitrogeno}}{18.04 \text{ g/mol } NH_4} \right) \quad (3.1)$$

Tabla 3.6. Descripción de los parámetros químicos y sus métodos.

Parámetros	Método	Autor
Humedad	Gravimétrico	(Toledo, 2020)
Densidad aparente	Aproximado de la probeta	(Campian, 2018)
Porosidad	Indirecto a partir de la densidad aparente	(Salazar et al., 2020)
Ph	Potenciómetro	(Gavilánez, 2022)
Conductividad eléctrica	Conductímetro	(Gutiérrez, 2020)
Materia orgánica (MO)	Walkley Black / Ignición	(Carrasco, 2019)
Fósforo	Colorimétrico (Olsen modificado)	(Alfaro et al. 2019)
Nitrógeno	Conversión de ppm NH ₄ a ppm N	(Autores)
Potasio (K)	Absorción Atómica	(Gujarro y Remedios, 2020).

3.9.2. FASE II. ELABORACIÓN DE BIOCHAR A BASE DE CÁSCARA DE CACAO COMO ENMIENDA ORGÁNICA PARA TRATAMIENTOS DE RESTAURACIÓN DEL SUELO EROSIONADO

ACTIVIDAD 3. PREPARACIÓN DE LA CÁSCARA DE CACAO

Se recolectaron 10 kg de cáscaras de cacao (*Theobroma cacao L*) de las plantaciones de cultivo del cantón Bolívar. La selección de estas cáscaras se llevó a cabo con el fin de obtener muestras de alta calidad, procurando que no presentaran signos de plagas, así como también que no fueran desechos de la cosecha, garantizando así su idoneidad para el proceso de pirólisis.

Siguiendo la metodología de Flores y Velásquez (2021) para eliminar cualquier rastro de mucílago y suciedad que pudiera quedar adherido durante el proceso de recolección, las cáscaras de cacao fueron lavadas con abundante agua. Posteriormente, se redujo el tamaño de las cáscaras a una longitud aproximada de 3 a 5 cm utilizando un cuchillo.

Consecutivamente, las muestras se secaron al ambiente, expuestas a la luz solar durante un periodo de dos semanas (Ordoñez, 2022). Cabe señalar que el proceso de secado es importante para garantizar que las cáscaras de cacao se encuentren en un 90% libre de humedad y de esa manera pueda someterse al proceso de pirólisis.

ACTIVIDAD 4. PIRÓLISIS DE RESIDUOS DE CACAO

El proceso de producción de biochar mediante pirólisis se llevó a cabo en siete rondas, utilizando 1.5 kg de cáscara de cacao deshidratada en las 6 primeras y en la última ronda se utilizó 1 kg, utilizando un total de 10 kg. Estos residuos fueron transferidos a una mufla marca Barnstead con una potencia de 979 W y temperatura de 450 °C durante un lapso de 3 horas, siguiendo el método descrito por Yuan et al. (2019). Posteriormente se procedió a tritarlo manualmente con un martillo hasta obtener pedazos pequeños. Estos fragmentos fueron posteriormente tamizados con un tamiz de 2 mm, resultando en un total de 943

g de biochar como producto final (Al-Omran et al., 2021).

ACTIVIDAD 5. ADQUISICIÓN DE COMPOST

Se adquirió compost en el mercado local con el objetivo de utilizar un producto estandarizado y de uso comercial. Sin embargo, antes de su aplicación, se sometió el compost a un proceso de tamizado de 2 mm (Acevedo et al., 2020). Esto permitió obtener un tamaño de partícula fino y homogéneo, adecuado para realizar las mezclas con el biochar y el suelo erosionado. Este paso es importante para garantizar una distribución uniforme de los componentes y facilitar su integración con el suelo degradado.

3.9.3. FASE III. DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES EN LAS QUE EL BIOCHAR EN COMBINACIÓN CON EL COMPOST TIENEN UN EFECTO EN LA RESTAURACIÓN DEL SUELO

ACTIVIDAD 6. TRATAMIENTOS DE RESTAURACIÓN DE SUELO EROSIONADO

El experimento se realizó en un microcosmos, constituido por maceta de volumen de 1 kilogramo, los cuales se llevaron a cabo según el diseño experimental expuesto anteriormente. Además, se llevó un seguimiento exhaustivo de los efectos de las variables en estudio en relación a las enmiendas aplicadas por un periodo de 2 meses. Por otra parte, cada maceta fue sellada con material plástico y dispuesta en invernadero para mantener temperaturas y humedad constante (Manirakiza y Şeker, 2020).

Concluido el experimento se realizaron los análisis fisicoquímicos previamente descritos en el apartado 2 de la fase 1, para contrastar con los resultados obtenidos. Mediante el análisis estadístico se determinó la interacción de las variables independientes y dependientes.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL SUELO EROSIONADO

Se seleccionó el sitio Olga Cobos de la parroquia Calceta para la realización del estudio, el área está constituida por 1149.5 m², se encuentra en una pendiente lo cual provoca escorrentía de ambos lados. A través de la visita de campo e identificación del lugar se corroboró la presencia de pedestales, surcos y poco recubierto vegetal, lo que supuso que el suelo se encontraba con presencia de erosión.

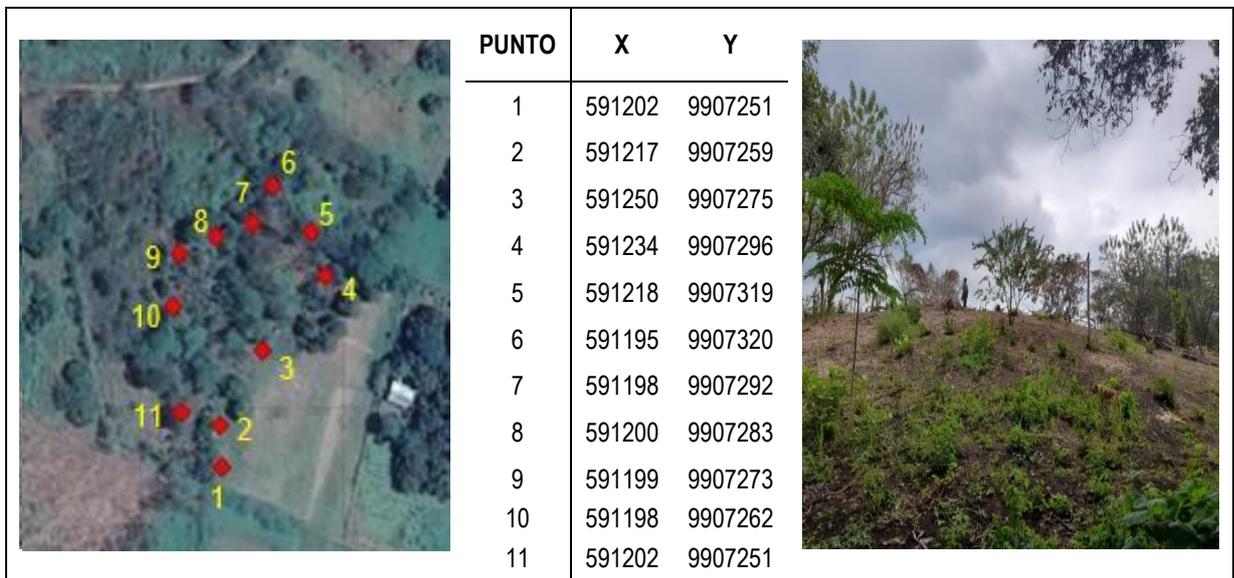


Figura 4.1. Identificación del área de estudio

Se efectuó la identificación del suelo mediante el muestreo del mismo en el área de estudio (Anexo 1), donde se determinó a través de las cinco zonas seleccionadas el porcentaje de suelo desnudo dentro de los cuadrantes, dando como resultado que dicha área cuenta con un 40% de cubrimiento de suelo. A continuación, se presentan los resultados de acuerdo a cada parámetro evaluado.

Espesor del mantillo

La tabla 4.1 muestra las mediciones del espesor del mantillo de las cinco zonas seleccionadas, además del promedio de los mismos.

Tabla 4.1. Resultados de medición de espesor de mantillo.

Unidades de muestreo	Espesor de mantillo 1 (cm)	Espesor de mantillo 2 (cm)	Espesor de mantillo 3 (cm)	Espesor de mantillo 4 (cm)	Promedio
Zona 1	1,2	1,6	1,5	1,3	1,4
Zona 2	1,5	1,2	1,2	1,5	1,35
Zona 3	1,6	1,3	1,4	1,4	1,42
Zona 4	2,0	1,2	1,0	1,4	1,41
Zona 5	1,5	1,6	1,2	1,0	1,32
Total (ETM)					6,89
EPM=ETM/5					1,37

ETM: Espesor total mantillo

EPM: Espesor promedio del mantillo

Como se muestra en la tabla 4.1 el área de estudio exhibe un total de mantillo de 6,89 cm, con un espesor promedio de 1,37 cm en la zona muestreada. Esto confirma la presencia de una capa insuficiente que cubre el suelo, caracterizada por la presencia de pocas hojas y pequeñas ramas en diversos grados de descomposición. Esta observación resalta la importancia del mantillo en la conservación del suelo y subraya su influencia positiva en la prevención de la erosión.

De acuerdo con Pérez et al. (2012) a medida que aumenta el porcentaje de cobertura por mantillo, se produce una reducción en la pérdida de suelo, siguiendo un patrón logarítmico. La cobertura vegetal o mantillo, como medida precautoria es uno de los factores más efectivos para aportar resiliencia del suelo y mantener su fertilidad, ya que esta reduce el efecto de la gota de lluvia y disminuye la velocidad del flujo, mejorando la permeabilidad del suelo y promoviendo el reciclaje de nutrientes (Peña et al., 2020); no obstante, el efecto de esta relación erosión-mantillo no es lineal, y está sujeto a una compleja interacción entre vegetación, pendiente, tipo de suelo y erosión (Ramos et al., 2019).

Medición de los pedestales

En la tabla 4.2 se exhiben los resultados de las mediciones de los pedestales en el área de estudio:

Tabla 4.2. Resultado de la medición de pedestales.

Pedestales	Altura (cm)
1	4
2	6
3	3
4	5
5	7
6	7
7	5
8	6
9	4
10	3
Suma de todas las medidas	43
Promedio (cm)	4,3

A lo largo del transecto de estudio, se detectó la presencia de 10 pedestales, con una altura promedio de 4,3 cm. Según Ramos et al. (2020), existe una relación positiva entre la compactación del suelo y la presencia de pedestales, lo que sugiere que a medida que aumenta la compactación del suelo, también lo hace la altura de los pedestales, proporcionando protección contra la erosión, ya que el suelo en ellos puede ser menos susceptible a ser arrastrados por la escorrentía superficial. Sin embargo, Matías et al. (2020) señalan que la presencia de pedestales en el suelo con pendiente puede tener efectos adversos en la erosión del suelo, debido a que estos pueden alterar el flujo del agua superficial, creando zonas de acumulación y dispersión del agua.

Medición de surcos

La tabla 4.3 muestra los resultados de las mediciones de surcos, incluyendo la profundidad, longitud y ancho de cada uno, así como el volumen y peso de suelo perdido calculado.

Tabla 4.3. Resultados de medición de surcos.

Surcos	Profundidad (cm)	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Volumen del surco (cm ³)	Peso del suelo perdido (g)
1	17	56	1	952	952
2	16	30	1,5	720	720
3	30	17	2	1020	1020
4	18	67	1,3	1567,8	1567,8
5	27	37	2,1	2097,9	2097,9
6	35	36	1	1260	1260
7	30	24	1	720	720
8	26	17	2	442	442
9	17	65	2	2210	2210
10	30	50	2	3000	3000

En la tabla 4.3 se detallan los resultados de las mediciones de 10 surcos en el área de estudio, con profundidades que varían desde 16 cm hasta 35 cm, longitudes que van desde 17 cm hasta 67 cm y anchos que oscilan entre 1 cm y 2,10 cm. Además, se calculó la pérdida de suelo causada por la erosión de los surcos, la cual varía entre 442 g y 300 g según los valores obtenidos.

Según Maggi et al. (2015), la presencia de surcos en el suelo juega un papel crucial en la erosión tanto hídrica como eólica. Estos surcos pueden intensificar el efecto de la escorrentía superficial al concentrar el flujo de agua en áreas específicas del suelo, lo que incrementa la cantidad de suelo erosionado y transportado hacia debajo de la pendiente. Además, el viento puede llevar consigo partículas a través de los surcos, lo que ocasiona la pérdida de suelo y la degradación de su capa superficial.

En el presente estudio, se determinó una textura franco-arenosa para todas las muestras analizadas en los tres lotes. Según McCarty (2016) la fracción de arena se compone principalmente de minerales primarios como cuarzo, feldespatos, micas y otros minerales resistentes a la intemperie. En cambio, un suelo franco se ubica en un punto intermedio entre los extremos de los suelos arenosos y arcillosos en cuanto a tamaño de partículas y sus características físicas. Rodríguez et al. (2021) expresan que la erosión puede tener efectos significativos en un suelo franco arenoso, incluida la pérdida de capa fértil, la compactación, la degradación de la estructura del suelo, el desplazamiento de nutrientes y la pérdida de la biodiversidad.

La textura y estructura del suelo son propiedades físicas fundamentales que controlan la dinámica de la materia orgánica, la estructura de la comunidad microbiana, el flujo de agua, y la absorción y desorción de nutrientes, determinadas por procesos de meteorización física y biogeoquímica a lo largo de milenios o más. Los cambios en la temperatura a largo plazo pueden provocar cambios en la textura del suelo con implicaciones posteriores para el ciclo biogeoquímico de elementos esenciales, incluyendo carbono, nitrógeno y fósforo (Santos et al., 2019).

De los análisis fisicoquímicos del suelo efectuados pre aplicación de enmiendas se tienen los siguientes datos:

Tabla 4.4. Parámetros evaluados en las muestras de suelo pre tratamiento.

Parámetros	Muestra de suelo Lote 1	Muestra de suelo Lote 2	Muestra de suelo Lote 3	Parámetros de interpretación (INIAP)			Medidas		
				Bajo (B)	Medio (M)	Alto (A)			
Humedad	13,18	10,45	10,45	-	-	-	%		
Densidad aparente	0,80	0,87	0,77	-	-	-	g/cm ³		
Porosidad	30,18	32,83	29,05	-	-	-	%		
Conductividad eléctrica	0,23	0,29	0,23	-	-	-	mS/cm		
Materia orgánica (MO)	2,8 B	2,1 B	2,1 B	< 3,0	6,0 - 3,1	> 6,1	%		
Nitrógeno (N)	17,85	14,52	16,30	-	-	-	ppm		
Fósforo (P)	49 A	56 A	65 A	<1,0 - 7,0	8,0 - 14,0	> 15	ppm		
Potasio (K)	0,68 A	0,55 A	0,62 A	< 0,20	0,21 - 0,40	> 0,41	meq/100 ml		
Parámetros	Muestra de suelo Lote 1	Muestra de suelo Lote 2	Muestra de suelo Lote 3	Muy ácido (Mac)	Ácido (AC)	Neutro (N)	Alcalino (ALC)	Muy Alcalino (MAI)	Medida
pH	7,0 N	6,5 N	6,8 N	< 5,0	5,1 - 6,4	6,5 - 7,5	7,5 - 7,9	> 8	Acidez-Alcalinidad

Fuente: Laboratorio de suelos, tejidos y agua; Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) y Autores

ppm: Partes por millón

meq/100ml: Miliequivalentes por 100 mililitros

mS/cm: Milisiemens por centímetro

(%): Porcentaje

En la tabla 4.4 se observa que el pH de las tres muestras de suelo se mantuvo neutro, es decir no cuenta con características de un suelo erosionado, debido a que la erosión generalmente se manifiesta en suelo con pH muy ácidos o altamente alcalinos. El pH del suelo está influenciado tanto por los iones formadores de ácidos como por los formadores de bases en el suelo. Los cationes comunes formadores de ácidos (iones disueltos cargados positivamente) son el hidrógeno (H^+), el aluminio (Al_3^+) y el hierro (Fe_2^+ o Fe_3^+), mientras que los cationes comunes formadores de bases incluyen el calcio (Ca_2^+), el magnesio (Mg_2^+), el potasio (K^+) y el sodio (Na^+).

En relación a la conductividad eléctrica (CE) en la tabla 4.4 se muestra que en el lote uno presentó 0,23 mS/cm, en el lote dos 0,29 mS/cm y en el lote tres 0,23 mS/cm. De acuerdo con Morales et al. (2021) un suelo agrícola debería tener una CE entre 1,0 - 2,5 mS/cm. En agricultura, la CE ha sido utilizada para medir la salinidad del suelo; por ejemplo, una CE menor que 2 mS/cm representa a un suelo no salino.

Con respecto a la humedad se alcanzaron valores de 13,18% para el lote 1 mientras que para los lotes 2 y 3 se obtuvo una humedad de 10,45%, dando como promedio entre los tres lotes evaluados una humedad de 11,36%. En general, la humedad del suelo se describe de diversas formas, como saturación, capacidad de campo, punto de marchitez y punto de marchitez permanente.

Asimismo, en la tabla 4.4 se refleja los resultados en relación a la porosidad, donde el primer lote alcanzó un 30,18%, el segundo lote 32,83% y el tercer lote 29,05%, las muestras de los tres lotes promedian una porosidad de 30.69%. Normalmente la porosidad del suelo oscila entre 40-50%. Esta baja porosidad encontrada en la zona de estudio indica una limitación en la capacidad de retención de agua y aire, comprometiendo de tal manera la disponibilidad de nutrientes y el crecimiento óptimo de las plantas.

La porosidad del suelo es el espacio vacío dentro del suelo que puede estar lleno de aire o agua, dependiendo de su estado. En suelos secos, los poros tienden a

estar llenos de aire, mientras que, en suelos húmedos, pueden contener tanto aire como agua. La porosidad es baja cuando las partículas están muy juntas, pero en suelos con agregados porosos, como los ricos en materia orgánica, la porosidad es alta, lo que favorece el movimiento del agua y el aire (McCarty, 2016).

La materia orgánica aumenta la porosidad del suelo al promover la agregación de partículas del suelo y mejorar la estructura del suelo. Los suelos arenosos generalmente tienen un espacio poroso total entre el 32 y el 47 %, mientras que los suelos de textura más fina varían en un espacio poroso total del 42 al 62 % (McCarty, 2016).

Por otra parte, la densidad aparente en el primer lote evaluado fue de $0,80 \text{ g/cm}^3$, el segundo lote $0,87 \text{ g/cm}^3$ y el tercer lote $0,77 \text{ g/cm}^3$, alcanzando un promedio de $0,81 \text{ g/cm}^3$ entre los tres lotes evaluados. En los suelos agrícolas generalmente la densidad aparente se encuentra entre $2,65 \text{ g/cm}^3$, es decir, este parámetro evaluado se encuentra con una densidad baja, la cual genera problemas de retención de agua y nutrientes, limitando de tal manera el crecimiento de plantas.

Acerca de la materia orgánica en la tabla 4.4 se indica que el primer lote contenía 2,8% mientras que el segundo y tercer lote 2,1%, obteniendo un promedio de 2,33% es decir contaba con baja materia orgánica.

La materia orgánica del suelo generalmente representa entre 1% – 5% de la masa del suelo, y desempeña un papel crítico en la salud del suelo porque ejerce un fuerte efecto en las propiedades y funciones del suelo (Hatten et al., 2019). Se describe habitualmente al suelo como una combinación de materiales minerales y orgánicos, compuesto mayormente por minerales primarios y secundarios, con una composición idealizada que consta aproximadamente de un 50% de sólidos, un 25% de agua y alrededor de un 25% de aire en volumen, además de contener hasta un 5% de materia orgánica (McCarty, 2016).

En cuanto al contenido de nitrógeno, un suelo sano se caracteriza por una

relación C/N de 24:1. Una relación C/N por debajo de esta recomendación sugiere una posible deficiencia en materia orgánica y una descomposición incompleta de residuos orgánicos, lo que podría afectar negativamente la fertilidad del suelo. En relación con los resultados obtenidos antes de los tratamientos, se registraron concentraciones de nitrógeno de 17,85 ppm en el primer lote, 15,52 ppm en el segundo y 16,30 ppm en el tercero, con un promedio de 16,56 ppm en toda el área de investigación. Este valor indica una concentración baja de nitrógeno disponible para las plantas, especialmente para el uso de suelo del área de estudio, dado que es agrícola.

En el caso del fósforo sus valores pre aplicación fueron altos dando como resultado en el primer lote 49 ppm, el segundo lote 56 ppm y el tercer lote 65 ppm. En promedio, el valor de fósforo fue de 56,67 ppm. De acuerdo con Bai (2013) se han reportado niveles críticos de P del suelo para un rendimiento óptimo de cultivos entre 10,9 mg kg⁻¹ y 21,4 mg kg⁻¹, por encima de los cuales el rendimiento de los cultivos responde menos al aumento de P del suelo. Por su parte, Carillo (2021) señala que los elementos primarios como el fósforo, tiene un comportamiento similar al de la materia orgánica, ya que, al descomponerse la biomasa, se mejora la fertilidad del suelo.

El potasio en las muestras de suelo se encontraba alto, es decir el primer lote alcanzó un valor superior a comparación de los otros 0,68 meq/100 ml, el segundo lote 0,55 meq/100 ml y el tercero 0,62 meq/100 ml, consiguiendo un promedio de las tres muestras de 0,62 meq/100 ml.

El potasio disponible en el suelo se encuentra en tres fracciones distintas: (1) K soluble en agua, presente en la solución del suelo (0,1–0,2%); (2) K intercambiable, que se adhiere o se libera de las partículas de arcilla y materia orgánica (1–2%) (Torabian, 2021). Smith et al. (2019) ofrecen una descripción detallada de estas fracciones de potasio, resaltando la importancia de las formas solubles en agua y las formas intercambiables en la disponibilidad de este nutriente para las plantas. Por otro lado, en su estudio, García y López (2018) destacan como la erosión del suelo altera la movilidad y la concentración de potasio, lo cual tiene implicaciones significativas para la productividad agrícola

del suelo.

En resumidas cuentas, con respecto a los parámetros analizados pre aplicación se corroboró que a pesar que el pH promedio fue neutro, lo cual sugiere ausencia de erosión, otros indicadores como el contenido de materia orgánica revelan un estado de degradación, con niveles por debajo de los estándares recomendados para suelos saludables. Contreras et al. (2021) señalan que esta pérdida de materia orgánica producto de la erosión del suelo es debido principalmente al transporte de sedimentos por escorrentía; la remoción del suelo disminuye el contenido de carbono orgánico en las capas superficiales, reduciendo la capacidad de almacenamiento de agua, la diversidad de organismos y la agregación de partículas (Arévalo et al., 2023).

En relación a la materia orgánica y el nitrógeno Forero et al. (2022) manifiestan que son componentes que se relacionan entre sí, generando una relación C/N lo cual indica disponibilidad de los nutrientes, fertilidad del suelo y estabilidad de agregados. A esto Bedoya y Julca (2021) aluden que la conexión entre la reducción de la materia orgánica producto de la erosión con otros aspectos dentro del suelo es amplia, destacándose un incremento de la densidad aparente de suelo y una disminución en la permeabilidad, aireación y capacidad de abastecimiento de agua, entre otros. Dicha relación es aún más estrecha con las propiedades químicas del suelo, ya que la materia orgánica es la principal fuente natural de nitrógeno disponible en el suelo (Nicholls y Altieri, 2020).

La erosión reduce la fertilidad del suelo, removiendo físicamente sus nutrientes mediante el arrastre de partículas de los horizontes superiores (Echavarría et al., 2020); no obstante, existe también un efecto indirecto en la disponibilidad de nutrientes, que se desencadena producto de las alteraciones del nicho ecológico de los organismos del suelo (Mendoza et al., 2023), tal como se ha presentado en los resultados obtenidos pre tratamiento.

4.2. ELABORACIÓN DE BIOCHAR A BASE DE CÁSCARA DE CACAO COMO ENMIENDA ORGÁNICA PARA TRATAMIENTOS DE RESTAURACIÓN DEL SUELO EROSIONADO

En la tabla 4.5 se presenta los resultados de rendimiento del biochar a partir del tratamiento de 10000 g de cáscara de cacao:

Tabla 4.5. Porcentaje de residuo de cáscara de cacao.

Materia prima	Peso de residuo de cáscara de cacao	Peso después del secado de la cáscara de cacao al sol durante 15 días	Peso después de someterse a una temperatura de 450°C durante 3 horas	Peso de biochar de 2mm obtenido
Cáscara de cacao	10000 g	4000 g	1580 g	943 g
Porcentaje	100%	40%	16%	9.4%

En la tabla 4.5 se expone que de los 10000 g de cáscara de cacao se obtuvo un total de 943 g de biochar, obteniendo una ganancia de biochar de 9.4%. De acuerdo con, Cierro et al. (2022) como resultado de su investigación se consiguió un rendimiento de biochar a partir de la cáscara de *T. cacao* de 9.70%. Por otro lado, en el estudio realizado por Macías (2021) con un peso en húmedo de 3620.6 g, que luego pasó a 346.44 g de residuo de cacao seco se obtuvo un rendimiento del 61,65%.

Además, en el estudio propuesto por Suárez (2019) se sometió a temperaturas que oscilan entre los 500°C, 600°C y 700 °C por intervalos de 30 min, 60 min y 90 min respectivamente, en donde se obtuvo un rendimiento de 30,20% en donde se acota que los carbones sometidos a la temperatura de 500°C muestran mayor rendimiento que los carbones que fueron sometidos a temperaturas de 700°C. Por su lado Barrezueta et al. (2023) obtuvieron un rendimiento de 35,58% se acota que otros investigadores señalan que el rendimiento de un biochar está en relación con el porcentaje de lignina, es decir a mayor temperatura y tiempo de residencia de la biomasa residual en el reactor térmico, mayor será la estabilidad del biochar, sin embargo, el rendimiento se reduce.

4.3. DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES EN LAS QUE EL BIOCHAR EN COMBINACIÓN CON EL COMPOST TIENEN UN EFECTO EN LA RESTAURACIÓN DEL SUELO

Las proporciones de compost y biochar se aplicaron en la restauración del suelo erosionado, según lo indicado en la tabla 3.3, durante un periodo de dos meses (ver Anexo 4). Luego, se llevaron a cabo análisis de las características fisicoquímicas del suelo post tratamiento, dando como resultado lo expuesto en la tabla 4.6.

Tabla 4.6. Resultados de los análisis post tratamiento.

Parámetros	Pre tratamiento	Post aplicación												Medida
		Lote 1				Lote 2				Lote 3				
		T ₁ R ₁	T ₂ R ₁	T ₃ R ₁	T ₄ R ₁	T ₁ R ₂	T ₂ R ₂	T ₃ R ₂	T ₄ R ₂	T ₁ R ₃	T ₂ R ₃	T ₃ R ₃	T ₄ R ₃	
Humedad	11,36	14,09	11,09	11,72	7,90	11,54	10,36	9,90	11,63	8,72	13,54	10	11,27	%
Densidad aparente	0,81	1,21	1,24	1,17	1,14	1,14	1,19	1,22	1,19	1,21	1,26	1,25	1,18	g/cm ³
Porosidad	30,69	27,92	32,45	29,05	32,83	28,67	31,69	33,58	30,18	34,71	30,56	34,33	30,18	%
Conductividad eléctrica	0,25	0,82	1,04	1,25	1,02	0,60	0,76	1,22	1,19	0,69	0,64	0,98	1,04	mS/cm
Materia orgánica (MO)	2,33	2,8	3,4	3,4	4,0	2,9	3,5	2,5	4,1	3,1	2,6	4,5	4,3	%
Nitrógeno (N)	16,56	7,76	13,19	10,86	9,31	11,64	6,98	6,98	7,76	8,54	8,54	6,98	7,76	ppm
Fósforo (P)	56,67	29	28	42	42	26	31	21	36	34	40	25	44	ppm
Potasio (K)	0,62	1,80	2,54	1,97	3,01	1,36	2,26	1,37	2,98	2,51	3,00	1,45	3,23	meq/100 ml

Parámetros	Pre tratamiento	Lote 1				Lote 2				Lote 3				Medida
		T ₁ R ₁	T ₂ R ₁	T ₃ R ₁	T ₄ R ₁	T ₁ R ₂	T ₂ R ₂	T ₃ R ₂	T ₄ R ₂	T ₁ R ₃	T ₂ R ₃	T ₃ R ₃	T ₄ R ₃	
		pH	6,77	6,8	7,4	6,9	7,4	7,0	7,4	6,8	7,3	7,5	7,5	

Fuente: Laboratorio de suelos, tejidos y agua; Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) y Autores

ppm: Partes por millón

meq/100ml: Miliequivalentes por 100 mililitros

mS/cm: Milisiemens por centímetro

(%): Porcentaje

- **pH del suelo**

La tendencia observada en los niveles de pH de los tratamientos fue positiva, evidenciando un incremento conforme se aumentaron las concentraciones de biochar y compost en la muestra de suelo. Además, se muestra que todos los tratamientos se mantuvieron dentro de los rangos óptimos de pH (6,4-7,5), así mismo, se observa un aumento del pH inicial antes del tratamiento.

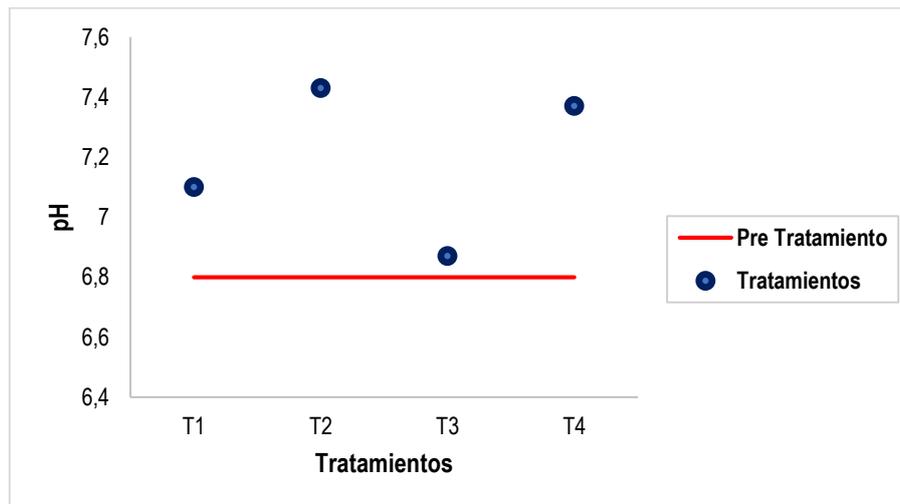


Figura 4.2. Interacción de la variable pH del suelo entre los tratamientos aplicados.

De acuerdo con las investigaciones de Cabeza et al. (2022) el contenido de ceniza producto de la combustión es el principal causante de la alteración de pH en el suelo. Para Vázquez y Loli (2018) la incorporación de enmiendas orgánicas en forma de compost, biochar y vermicompost reducen los rangos de variación de pH y aumenta la disponibilidad de fósforo.

Según Boafo et al. (2020) cuando se agrega un biochar con alto contenido de cenizas al suelo, se produce un cambio en el pH y la conductividad eléctrica alrededor de la partícula, probablemente dentro de la primera semana, a medida que los minerales se disuelven y/o iones se intercambian en las superficies de las partículas de suelo, esto explicaría el cambio producido en los tratamientos.

Se observa una diferencia significativa en los valores pH entre los tratamientos T₁ y T₃, como se muestra en la tabla 4.7, debido a las variaciones considerablemente diferentes en las concentraciones de enmiendas orgánicas

entre los tratamientos. Además, el coeficiente de variación del 2,36% indica una consistencia en los resultados, lo que respalda la fiabilidad de las diferencias encontradas entre los tratamientos en términos de pH del suelo.

Tabla 4.7. Resultado de la variable pH del suelo con respecto a los tratamientos aplicados.

Tratamientos	Medias	N	EE.	Rango
2	7,43	3	0,10	A
4	7,37	3	0,10	A
1	7,10	3	0,10	A B
3	6,87	3	0,10	B
Probabilidad ANOVA (P-valor)			0,0217	
C.V. %			2,36	

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

E.E = Error Estándar

P-Valor = Valor de Probabilidad.

- **Conductividad eléctrica del suelo (mS/cm)**

La conductividad eléctrica del suelo después de la aplicación de enmiendas orgánicas resultó ser más alta que la del suelo inicial. Como se aprecia en la figura 4.3, los tratamientos T₁ y T₂ registraron valores de 0,70 mS/cm y 0,81 mS/cm, respectivamente, indicando un suelo no salino, con efectos prácticamente insignificantes en la respuesta de cultivos y en los organismos del suelo. Sin embargo, en el caso del T₃ se observó una conductividad eléctrica de 1,15 mS/cm, mientras que el T₄ obtuvo 1,08 mS/cm, lo que sugiere un suelo ligeramente salino y que podría alterar los procesos microbianos.

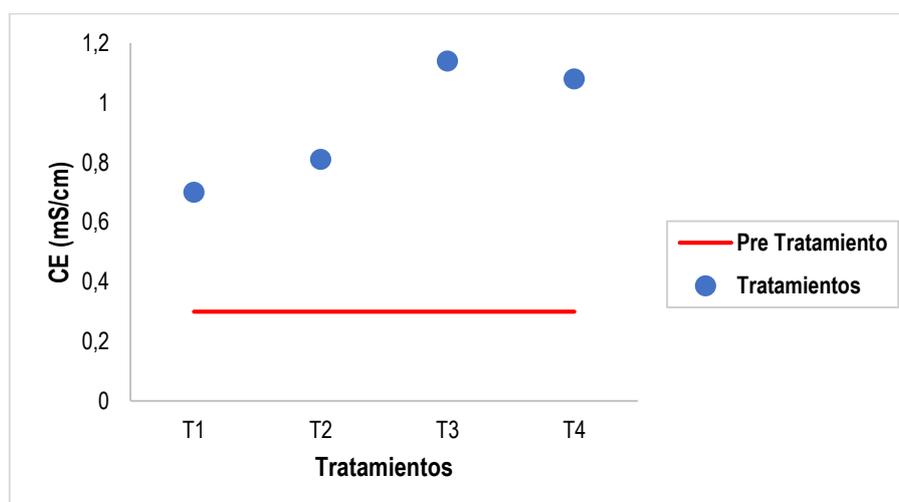


Figura 4.3. Interacción de la variable CE del suelo entre los tratamientos aplicados.

En el estudio de Borrelli et al. (2020) se evidenció que la introducción de biochar en el suelo resultó en un aumento significativo en la conductividad eléctrica, alcanzando un valor de 0,107 dS/cm. Este incremento tiene efectos adversos en el desarrollo de las plantas, como Aróstegui (2019), quien atribuye el aumento de la conductividad eléctrica a la presencia de cenizas en el biochar, las cuales aportan sales al suelo, además, encontró que la conductividad eléctrica varió desde 0,56 dS/cm en suelos sin biochar hasta 4,58 dS/cm en la concentración más alta. Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar el impacto del biochar en la conductividad eléctrica del suelo y su influencia en el crecimiento de las plantas.

Arévalo (2020) señala que en sus diferentes tratamientos se observó una diferencia leve, atribuible al bajo contenido inicial de salinidad en el suelo, lo que sugiere una influencia modesta de la adición de biochar. Además, la presencia de sales en el biochar emerge como el principal factor detrás de las alteraciones en la conductividad eléctrica del suelo, corroborando hallazgos previos que indican que el biochar puede incrementar tanto la conductividad eléctrica como el pH (Shah et al., 2017). Este conjunto de evidencias subraya la importancia de considerar no solo la composición inicial del suelo, sino también la naturaleza y cantidad de sales presentes en el biochar al evaluar su impacto en las propiedades del suelo.

El análisis de varianza de la conductividad eléctrica del suelo, como se muestra en la tabla 4.8, revela diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Específicamente, se destaca la discrepancia observada en el T₃, donde se emplearon 40 g de compost y 10 g de biochar en la muestra de suelo, y el T₄, que implicó la manipulación de 40 g de compost y 40 g de biochar. Esta diferencia indica que la proporción de compost y biochar influye significativamente en la conductividad eléctrica del suelo. Además, se registró una variación (CV) del 13,32%, lo que revela una consistencia en los resultados y refuerza la fiabilidad de las diferencias encontradas entre los tratamientos.

Tabla 4.8. Resultado de la variable CE del suelo con respecto a los tratamientos aplicados.

Tratamientos	Medias (mS/cm)	N	EE.	Rango
3	1,14	3	0,07	A B
4	1,08	3	0,07	B
2	0,81	3	0,07	A
1	0,70	3	0,07	A
Probabilidad ANOVA (P-valor)			0,0130	
C.V. %			13,32	

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

E.E = Error Estándar

P-Valor = Valor de Probabilidad.

- **Materia orgánica del suelo (%)**

Las enmiendas orgánicas tuvieron un impacto significativo en los niveles de materia orgánica del suelo, mostrando una relación directamente proporcional con las dosis altas de compost y biochar. Este incremento se relaciona con la cantidad de carbono orgánico presente en el biochar. La figura 4.4 refleja el aumento de materia orgánica después de las aplicaciones de compost y biochar, donde el tratamiento T₁ con un 2,93% mostró menor incremento durante la fase experimental, mientras que el tratamiento T₄ alcanzó el valor máximo de 4,13%.

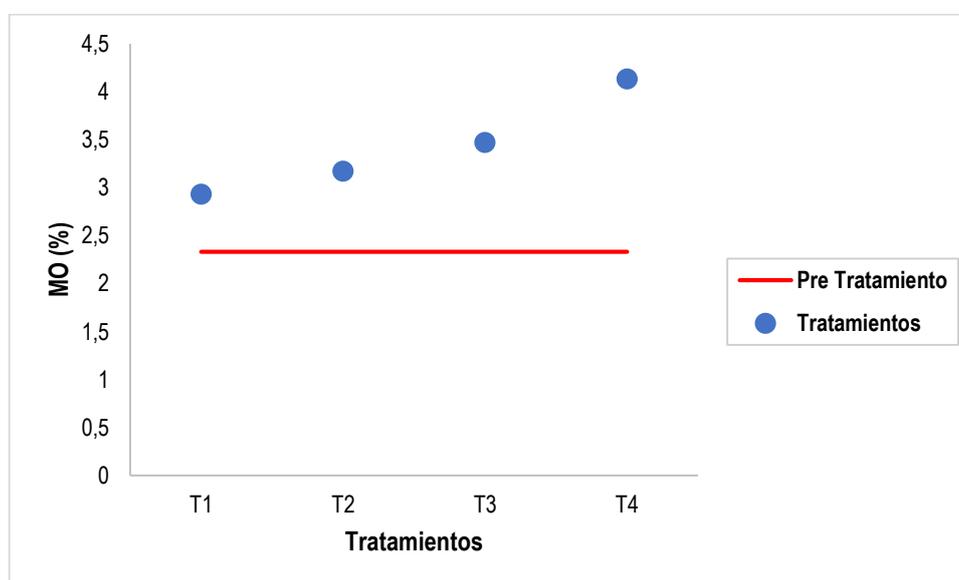


Figura 4.4. Interacción de la variable materia orgánica entre los tratamientos aplicados.

Montoya et al. (2020) señalan que las enmiendas orgánicas mejoran las condiciones del suelo, volviendo más ligeros los suelos arcillosos y más compactos los arenosos, además de mejorar porosidad, textura y aumentar el

porcentaje de materia orgánica disponible. Por otro lado, Smebye et al. (2016) destacan que variedad de microporos presentes en el biochar podría favorecer la absorción de moléculas de materia orgánica, lo que conduciría a un aumento en el porcentaje de materia orgánica, tal como se observó en esta investigación. Asimismo, Larios et al. (2014) resaltan que a mayores niveles de materia orgánica se incrementa la porosidad del suelo.

Hagemann et al. (2017) indican que el biochar tiene un impacto significativo en la capacidad de retención de agua del suelo a largo plazo, además de retener los nutrientes disueltos, gracias a su estructura porosa. Debido a su contenido de cenizas, el biochar actúa como una fuente de fósforo, potasio y otros elementos, los cuales pueden estar más fácilmente disponibles en forma soluble que en la materia orgánica no pirolizada (Schmidt et al, 2017).

Los análisis estadísticos, incluyendo ANOVA y la prueba de Tukey, no revelaron diferencias significativas entre los cuatro tratamientos en cuanto a la materia orgánica, considerando las diferentes dosificaciones de compost y biochar. Esta información se detalla en la tabla 4.9, la cual también muestra un coeficiente de variación del 18,08% lo cual sugiere una moderada dispersión de los valores de materia orgánica en los diferentes tratamientos.

Tabla 4.9. Resultado de la variable materia orgánica del suelo con respecto a los tratamientos aplicados.

Tratamientos	Medias (%)	N	EE.	Rango
4	4,13	3	0,36	A
3	3,47	3	0,36	A
2	3,17	3	0,36	A
1	2,93	3	0,36	A
Probabilidad ANOVA (P-valor)			0,1995	
C.V. %			18,08	

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

E.E = Error Estándar

P-Valor = Valor de Probabilidad.

- **Porosidad del suelo (%)**

Los resultados presentados en la figura 4.5 revelan que el tratamiento 1 exhibe los niveles más bajos de porosidad, con un valor del 30,43%, mientras que el tratamiento 3 muestra la porosidad más alta, con un valor del 32,32%. Dado que la porosidad es una característica indicativa de la capacidad de retención de agua y la aireación del suelo, donde valores más altos indican una mayor acumulación de agua y nutrientes (Baldoce et al., 2021), se observa que el tratamiento 3 mejoró principalmente este parámetro, seguido por el tratamiento 2. Estos hallazgos sugieren que la aplicación del tratamiento 3 podría haber tenido un impacto positivo en la capacidad de retención de agua y la aireación del suelo, lo que potencialmente podría conducir a un mejoramiento general en la calidad del suelo.

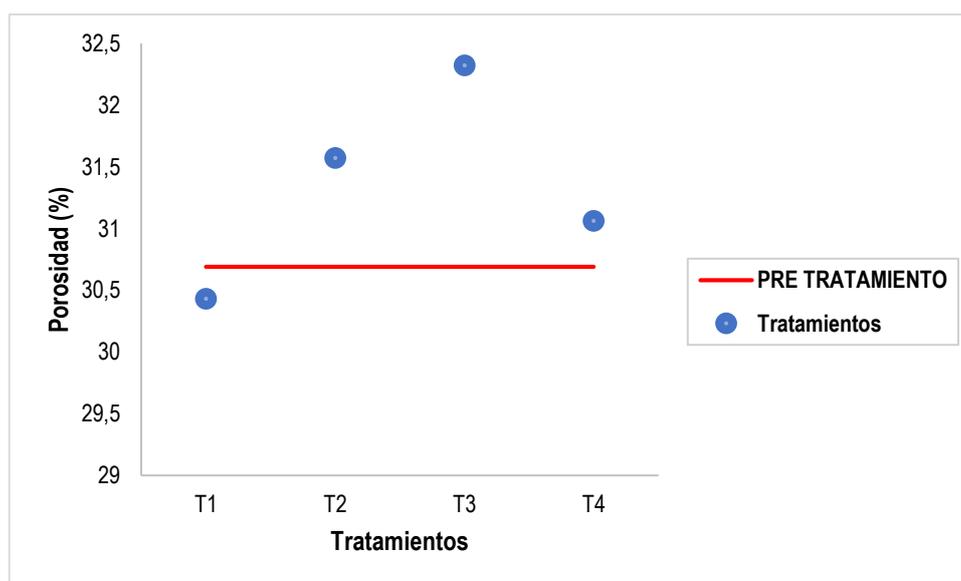


Figura 4.5. Interacción de la variable porosidad entre los tratamientos aplicados.

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para los cuatro tratamientos, como se muestra en la tabla 4.10, revelaron un valor de 0,8456. Este valor indica que no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. Además, se calculó un coeficiente de variación del 8,52%, lo que sugiere una moderada variabilidad en los datos. Estos hallazgos apuntan hacia una homogeneidad en los efectos de los tratamientos evaluados, lo que indica que no hay una influencia de un tratamiento sobre otro en este contexto específico.

Tabla 4.10. Resultado de la variable porosidad del suelo con respecto a los tratamientos aplicados.

Tratamientos	Medias (%)	N	EE.	Rango
3	32,32	3	1,54	A
2	31,57	3	1,54	A
4	31,06	3	1,54	A
1	30,43	3	1,54	A
Probabilidad ANOVA (P-valor)			0,8467	
C.V. %			8,52	

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

E.E = Error Estándar

P-Valor = Valor de Probabilidad.

- **Humedad del suelo (%)**

Los niveles de humedad del suelo se registraron tanto antes como después de aplicar los tratamientos. Antes del tratamiento, se observó un nivel de humedad del 11,36%, mientras que en el T₁ con 11,45% y T₂ 11,66% aumentaron post aplicación. Sin embargo, el T₃ con 10,54% y T₄ con 10,27% disminuyeron. De la Polilla et al. (2021) indican que cuando disminuye la humedad el suelo pierde adherencia y plasticidad, y cuando se seca se vuelve duro y coherente.

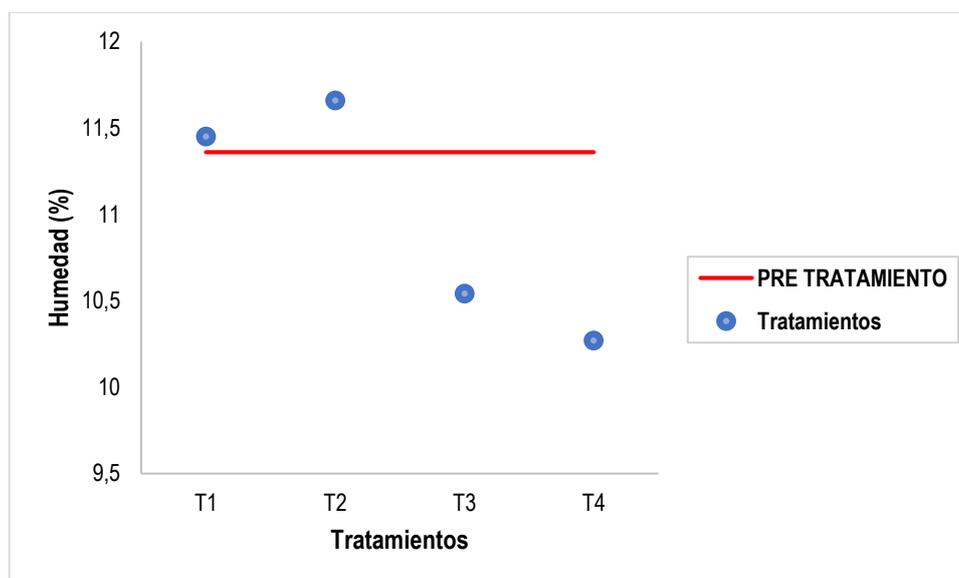


Figura 4.6. Interacción de la variable humedad del suelo entre los tratamientos aplicados.

En el cuadro 4.11 muestra que no hay diferencias significativas entre los cuatro tratamientos en cuanto a la aplicación de diferentes dosis de compost y biochar. Esto sugiere que la cantidad de compost y biochar aplicada, los tratamientos no tuvieron un efecto sustancialmente diferente en la variable medida. Además, se observa un coeficiente de variación del 20,45%, lo que indica una moderada

dispersión de los datos en relación con la media, lo que implica cierta variabilidad en la respuesta a los tratamientos entre las muestras analizadas.

Tabla 4.11. Resultado de la variable humedad del suelo con respecto a los tratamientos aplicados.

Tratamientos	Medias (%)	N	EE.	Rango
2	11,66	3	1,30	A
1	11,45	3	1,30	A
3	10,54	3	1,30	A
4	10,27	3	1,30	A
Probabilidad ANOVA (P-valor)			0,8411	
C.V. %			20,45	

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

E.E = Error Estándar

P-Valor = Valor de Probabilidad.

- **Densidad aparente (Da) (g/cm³)**

Los resultados revelaron un aumento general en la densidad aparente en todos los tratamientos en comparación con el valor inicial promedio obtenido en los análisis fisicoquímicos previos al tratamiento. Sin embargo, el tratamiento T₄ mostró una disminución notable de 1,17 g/cm³, como se evidencia en la figura 4.7. Valladares et al. (2020) sugieren que factores como el contenido de materia orgánica, las condiciones y la formación del suelo desempeñan un papel crucial en la dinámica de la densidad aparente. Contrariamente, el tratamiento T₂ exhibió un incremento de 1,23 g/cm³. Según Escalona et al. (2021), el uso de enmiendas orgánicas parece tener un impacto más significativo en la mejora de la densidad aparente en comparación con los fertilizantes minerales. Además, Bedoya y Julca (2021) reportaron una reducción significativa en la densidad aparente con el empleo de abonos orgánicos.

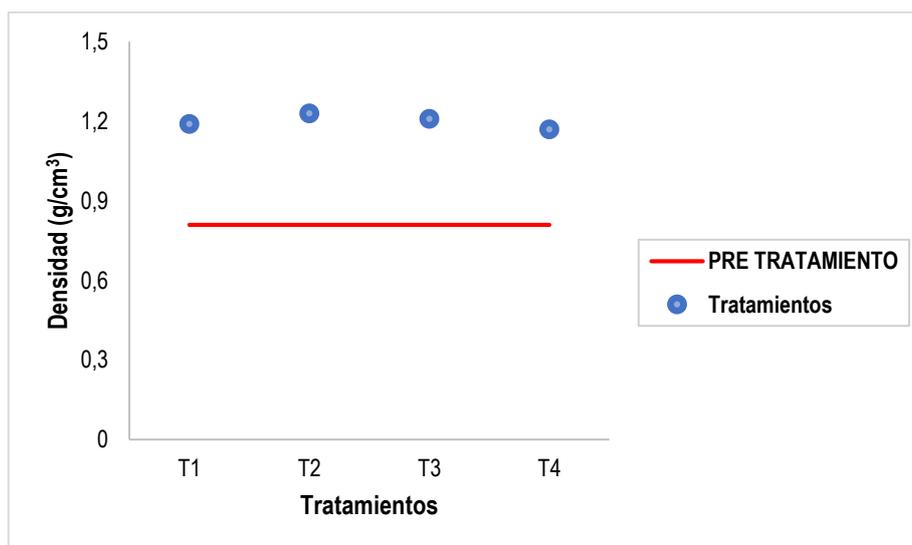


Figura 4.7. Interacción de la variable densidad aparente del suelo entre los tratamientos aplicados.

El análisis de varianza (ANOVA) reveló que no hubo diferencias estadísticamente significativas en la densidad aparente entre los tratamientos, como se muestra en la tabla 4.12. Esto sugiere que el efecto de los tratamientos en la densidad del suelo fue similar en todos los casos. Sin embargo, se observó un patrón interesante: a medida que aumentaba la cantidad de biochar aplicado, también lo hacía el valor de la densidad aparente del suelo. En relación al coeficiente de variación (CV) del 2,79% sugiere que los datos son consistentes y tienen una baja variabilidad en relación con su promedio.

Tabla 4.12. Resultado de la variable densidad aparente del suelo con respecto a los tratamientos aplicados.

Tratamientos	Medias (g/cm³)	N	EE.	Rango
2	1,23	3	0,02	A
3	1,21	3	0,02	A
1	1,19	3	0,02	A
4	1,17	3	0,02	A
Probabilidad ANOVA (P-valor)			0,2274	
C.V. %			2,79	

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

E.E = Error Estándar

P-Valor = Valor de Probabilidad.

- **Nitrógeno (ppm)**

En la figura 4.8, se observa que las concentraciones de nitrógeno disminuyeron significativamente después de los tratamientos con diferentes dosis de compost y biochar en las muestras de suelo respectivas. El tratamiento T₂ registró la concentración más alta de 9,57 ppm, no obstante, dicho valor se considera bajo

en los suelos destinados a la agricultura. El T₁ alcanzó una concentración de 9,31 ppm, mientras que los tratamientos T₃ y T₄ obtuvieron concentraciones similares.

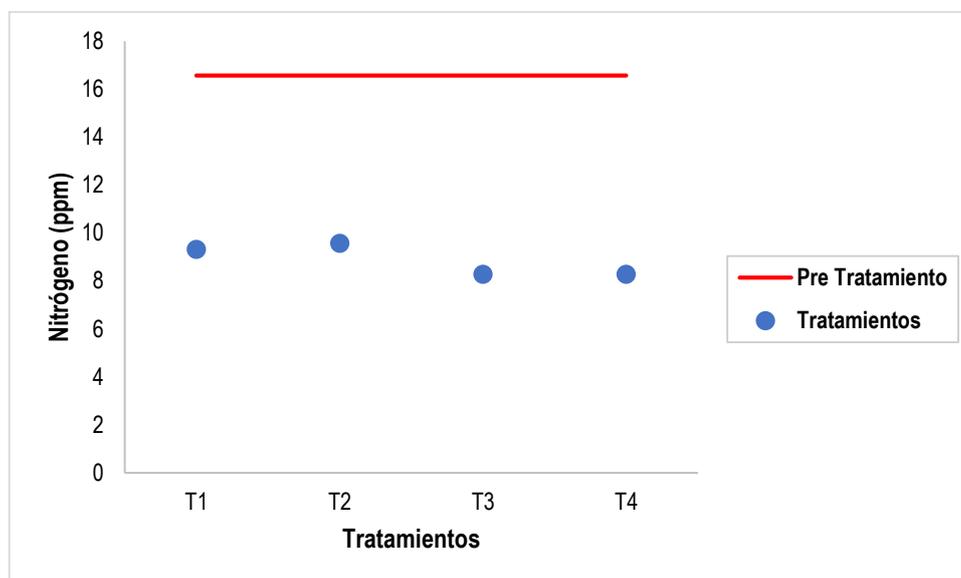


Figura 4.8. Interacción de la variable nitrógeno del suelo entre los tratamientos aplicados.

Acosta et al. (2019) señalan que la disminución de la concentración de nitrógeno en el suelo después de la aplicación de las enmiendas se debe a que el biochar tiene la capacidad de adsorber los nutrientes, incluido el nitrógeno, reduciendo temporalmente su disponibilidad en el suelo. Relacionado al compost, Elejalde y Daza (2021) exponen que la aplicación del mismo estimula la actividad microbiana en el suelo y a medida que los microorganismos descomponen la materia orgánica, pueden consumir nitrógeno como fuente de alimento, lo que resulta en una disminución temporal de concentración de nitrógeno.

Además, es importante destacar que la disminución de nitrógeno después de la aplicación de las enmiendas orgánicas no necesariamente indica una pérdida neta a largo plazo. Debido a que, con el tiempo, la descomposición de la materia orgánica en el compost liberará gradualmente nutrientes, incluido el nitrógeno (Rivas y Silva, 2020). También, el biochar puede actuar como un reservorio de nutrientes, liberándolos lentamente a medida que se descomponen con el tiempo (Ferry et al., 2022).

El análisis de los resultados (tabla 4.13) reveló que no se encontraron diferencias

estadísticamente significativas entre los cuatro tratamientos en relación al nitrógeno. Esto indica que la aplicación de diferentes dosis de biochar y compost no tuvo impacto significativo en la concentración del parámetro evaluado. Además, se obtuvo un coeficiente de variación del 24,61%, lo que revela una moderada variabilidad en los datos obtenidos.

Tabla 4.13. Resultado de la variable nitrógeno del suelo con respecto a los tratamientos aplicados.

Tratamientos	Medias (ppm)	N	EE.	Rango
2	9,57	3	1,26	A
1	9,31	3	1,26	A
4	8,28	3	1,26	A
3	8,27	3	1,26	A
Probabilidad ANOVA (P-valor)			0,8292	
C.V. %			24,61	

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

E.E = Error Estándar

P-Valor = Valor de Probabilidad.

- **Fósforo (P) (ppm)**

La concentración promedio de fósforo en el pretratamiento fue de 56,67 ppm. Sin embargo, después de la aplicación de las enmiendas orgánicas, esta concentración disminuyó significativamente a 29,33 ppm, como se observa en el tratamiento T₃ según la figura 4.9. Los elementos primarios, como el fósforo, exhiben un comportamiento similar al de la materia orgánica; la descomposición de la biomasa presente en las enmiendas orgánicas mejora la fertilidad del suelo (Carrillo, 2021). Según Campos et al. (2020) la aplicación de abonos orgánicos puede reducir la necesidad de fertilizantes químicos sintéticos. Además, Massone et al. (2023) indican que un alto contenido de fósforo puede disminuir la formación de hifas, vesículas y arbusculos, lo que contribuye a la reducción de la concentración de fósforo observada en el estudio.

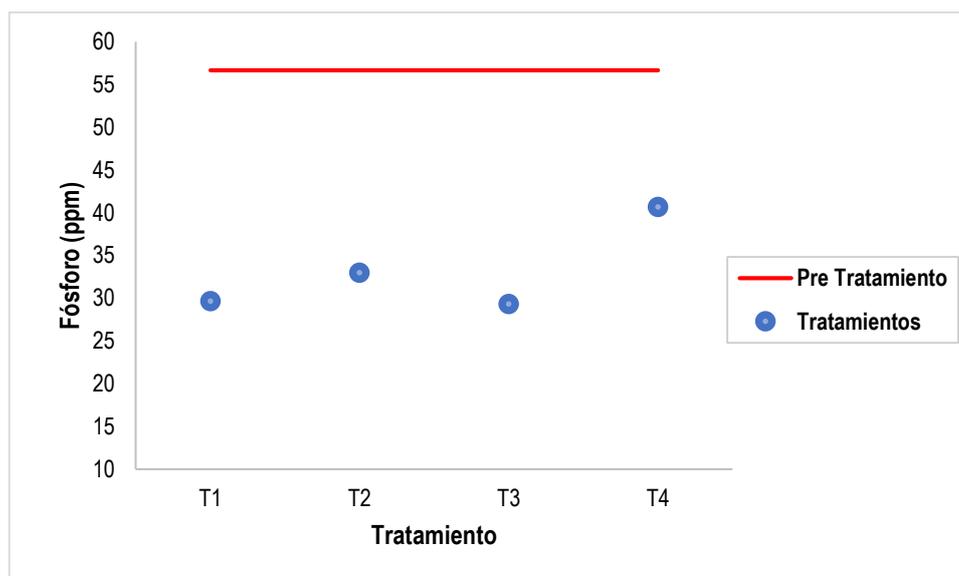


Figura 4.9. Interacción de la variable fósforo del suelo entre los tratamientos aplicados.

Según los resultados del análisis de varianza presentados en la tabla 4.14, no se encontraron diferencias significativas entre las dosis de biochar y compost aplicados al suelo en los diferentes tratamientos. Además, es importante tener en cuenta que el coeficiente de variación es del 19,96%, lo que indica una moderada variabilidad en los niveles de fósforo entre los diferentes tratamientos. Esta variabilidad puede atribuirse a diversas condiciones del suelo, como la textura, el pH y la composición orgánica, que pueden influir en la respuesta del suelo a las enmiendas aplicadas.

Tabla 4.14. Resultado de la variable fósforo del suelo con respecto a los tratamientos aplicados.

Tratamientos	Medias (ppm)	N	EE.	Rango
4	40,67	3	3,82	A
2	33,00	3	3,82	A
1	29,67	3	3,82	A
3	29,33	3	3,82	A
Probabilidad ANOVA (P-valor)			0,2307	
C.V. %			19,96	

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

E.E = Error Estándar

P-Valor = Valor de Probabilidad.

- **Potasio (K) (meq/100 ml)**

La adición de compost y biochar demostró ejercer una notable influencia en la disponibilidad de nutrientes en el suelo, observándose un aumento significativo en la disponibilidad de potasio en comparación con los análisis iniciales (figura

4.10). Los resultados revelaron que el primer tratamiento arrojó 1,89 meq/100 ml, el segundo 2,60 meq/100 ml, el tercero 1,60 meq/100 ml y el cuarto 3,07 meq/100 ml.

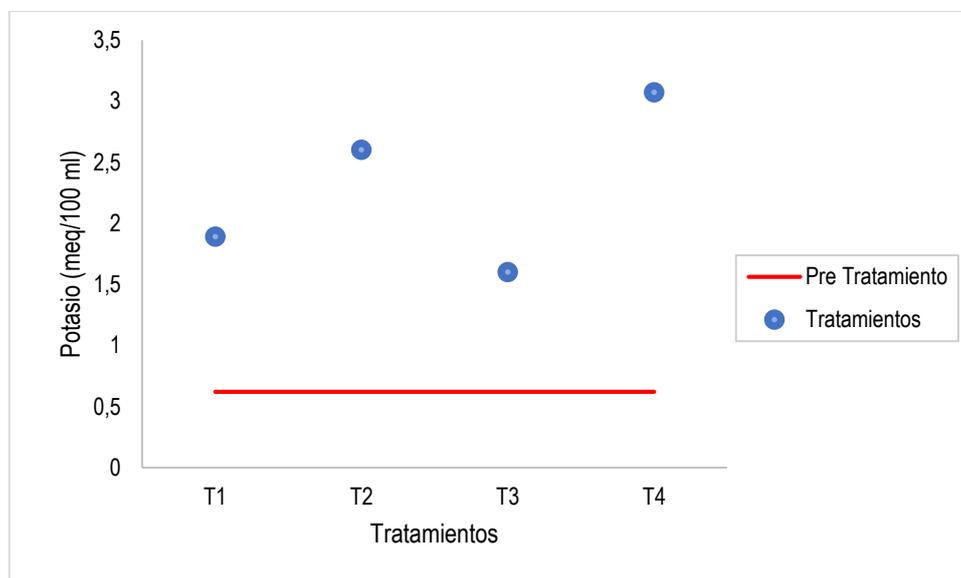


Figura 4.10. Interacción de la variable potasio del suelo entre los tratamientos aplicados.

Estos hallazgos respaldan las observaciones de Olmo (2016), quien sugiere que las enmiendas orgánicas como el biochar, pueden suministrar potasio en diversas cantidades, lo que puede reflejarse en las diferencias porcentuales entre los tratamientos. Además, investigaciones previas, como la realizada por Yang et al. (2021) respaldan la idea de que la aplicación de biochar puede aumentar el contenido de nutrientes en el suelo, lo que indica que el biochar posee un potencial significativo para mejorar la calidad de suelos degradados, independientemente de su textura. Estos resultados subrayan la importancia de considerar el papel de las enmiendas orgánicas en la mejora de la fertilidad del suelo y su implicación en la sostenibilidad agrícola a largo plazo.

En el análisis de varianza para el potasio, según se muestra en la tabla 4.15, se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos T₂, T₃ y T₄. Específicamente, los tratamientos T₃ y T₄ destacaron por sus concentraciones elevadas de compost y biochar, lo que generó un efecto más notable en la disponibilidad de potasio, similar a lo observado en relación con la conductividad eléctrica. Además, se registró un coeficiente de variación del

13,54%, lo que indica una moderada variabilidad en los niveles de potasio entre los tratamientos.

Tabla 4.15. Resultado de la variable potasio del suelo con respecto a los tratamientos aplicados.

Tratamientos	Medias (meq/100 ml)	N	EE.	Rango
4	3,07	3	0,18	C
2	2,60	3	0,18	A B
1	1,89	3	0,18	A
3	1,60	3	0,18	B C
Probabilidad ANOVA (P-valor)			0,0040	
C.V. %			13,54	

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

E.E = Error Estándar

P-Valor = Valor de Probabilidad.

La adición del compost y el biochar elaborado a partir de cáscara de cacao ha tenido un impacto significativo en los parámetros fisicoquímicos del suelo. Con base en los resultados obtenidos y las pruebas estadísticas realizadas, se confirma la validez de la hipótesis alternativa propuesta. Se observaron diferencias significativas en la calidad fisicoquímica del suelo en el sitio Olga Cobos de la parroquia Calceta para los tratamientos T₂ (10 g compost – 40 g biochar), T₃ (40 g compost – 10 g biochar) y T₄ (40 g compost – 40 g biochar), especialmente en los parámetros de pH, conductividad eléctrica y concentración de potasio.

Es importante destacar que el tratamiento T₄ demostró una influencia significativa en comparación con los otros tratamientos. Esta observación puede atribuirse al hecho de que, a mayor cantidad de enmienda orgánica aplicada, mayor es la presencia de estos elementos en el suelo. Los resultados de esta investigación señalan una alternativa eficaz para la restauración de suelos erosionados. Específicamente, las proporciones de compost y biochar a partir de la cáscara de cacao empleadas en los tratamientos T₃ y T₄, los cuales demostraron tener efectos positivos en la recuperación de la calidad del suelo.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Los análisis pre tratamiento de los parámetros fisicoquímicos del suelo en el sitio Olga Cobos de la parroquia Calceta revelaron una situación preocupante, presentando bajos niveles de nitrógeno y materia orgánica, mientras que los niveles de fósforo y potasio resultaron altos debido a la pérdida significativa de materia orgánica por erosión, lo que plantea desafíos cruciales para la fertilidad y la salud general del suelo en esta área.
- En relación a la elaboración de biochar a partir de cáscaras de cacao se obtuvo un rendimiento promedio del 9.4%. Además, se observó que este rendimiento puede variar significativamente dependiendo de factores como la temperatura y el tiempo de residencia en el reactor térmico.
- La aplicación de compost y biochar elaborado a partir de cáscara de cacao en proporciones altas demostraron tener efectos beneficiosos en las propiedades fisicoquímicas del suelo erosionado, especialmente en términos de pH, conductividad eléctrica, contenido de materia orgánica y disponibilidad de potasio. Estos hallazgos indicaron a través del ANOVA y prueba de Tukey que los tratamientos T₃ y T₄ mostraron diferencias significativas, demostrando ser una alternativa efectiva para la restauración de suelos erosionados y la mejora de la fertilidad del suelo a largo plazo.

5.2. RECOMENDACIONES

- Realizar muestreos sistemáticos del suelo en diferentes puntos dentro de las zonas a estudiar, considerando diferentes profundidades para obtener una visión completa de las características del suelo y cómo varían con la profundidad.
- Promover el uso de técnicas de conservación del suelo, como la rotación de cultivos, así como también, fomentar la utilización de residuos agrícolas, como la cáscara de cacao, para la producción de compost y biochar como una forma de cerrar el ciclo de nutrientes y promover la sostenibilidad en la agricultura.
- Organizar talleres y programas de capacitación para agricultores en la gestión sostenible del suelo, donde se compartan los resultados de esta investigación y se brinde orientación sobre cómo aplicar compost y biochar de manera efectiva.

BIBLIOGRAFÍA

- Abad, E. (2022). Aplicación de Biochar a partir de biomasa residual de Bolaina blanca (*Guazuma Crinita C. martius*) en el suelo agrícola para mejorar la producción del tomate regional (Costoluto Fiorentino) distrito de Yarinacocha, Ucayali 2019–2020 [Universidad del Huanuco]. <http://repositorio.udh.edu.pe/handle/123456789/3375>
- Acevedo, Á. y Jiménez, N. (2018). Agroecología. Experiencias comunitarias para la agricultura familiar en Colombia [Universidad del Rosario]. In Agroecología. Experiencias comunitarias para la agricultura familiar en Colombia. <https://doi.org/10.12804/TP9789587842326>
- Acosta, Y., Prieto, A. y Rosales, Y. (2019). Dinámica de carbono y nitrógeno en suelos tratados con residuos orgánicos. *Revista Electrónica Multidisciplinaria de Ciencias Básicas, Ingeniería y Arquitectura*, 1(1), 4-22.
- Albarracín, S. (2019). Propuesta de manejo integral de la subcuenca hidrográfica del río Yanuncay, provincia del Azuay [Universidad Politécnica Salesiana de Quito]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17305>
- Arévalo, C. (2020). Valoración de la calidad del suelo mediante la aplicación de biochar de acícula de pino (*Pinus patula*) en la cuenca del Machángara-Saucay. (Trabajo de titulación para la obtención del título de Ingeniero Ambiental – Universidad Politécnica Salesiana).
- Arévalo, E., Sánchez, M. y Guillen, I. (2023). Estudio del contenido de materia orgánica por dos métodos analíticos en suelos de Honduras. *Revista de Ciencias Ambientales*, 57(1).
- Aróstegui, K. (2019). Evaluación del efecto de biochar de residuos de sachá inchi y cacao sobre suelos degradados de Campoverde, Ucayali, usando *Zea mays* con indicador. (Trabajo de titulación para la obtención del título de Ingeniero Ambiental – Universidad Científica del Sur).

- Baldoceda, Á., Maldonado, M. y Alcántara, F. (2021). Análisis del porcentaje de humedad, materia orgánica y porosidad del suelo de dos tipos de bofedales. *Ciencia & Desarrollo*, 20(2), 17-28.
- Barcos, K. (2023). Efectos de la desertificación como causa de la deforestación en suelos del Ecuador [Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/13975>
- Barman, U. y Choudhury, R. (2020). Soil texture classification using multi class support vector machine. *Information Processing in Agriculture*, 7(2), 318–332. <https://doi.org/10.1016/J.INPA.2019.08.001>
- Barragán, D. Centeno, A. y Guayara, M. (2018). Análisis de alta conductividad y dureza en agua dulce y su potencial incidencia en la salud humana caso aplicativo región de San Antonio, Municipio de Anapoima Cundinamarca. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/5810>
- Barrezueta, S., Bonilla, H. y Hidalgo, M. (2023). Características principales del biocarbón derivado de restos de *Theobroma cacao* L. para su uso en suelos agrícolas. *Revista Colombiana de Química*, 52(1), 19-24. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v52n1.110591>
- Bedoya, E. y Julca, A. (2021). Efecto de la materia orgánica en el cultivo de palto variedad Fuerte en Moquegua, Perú. *Idesia (Arica)*, 39(4), 111-119.
- Boafo, D., Kraisornpornson, B., Panphon, S., Owusu, B. y Amaniampong, P. (2020). Effect of organic soil amendments on soil quality in oil palm production. *Applied Soil Ecology*, 147: 103358.
- Borrelli, P., Robinson, D., Panagos, P., Lugato, E., Yang, J., Alewell, C., Wuepper, D., Montanarella, L. y Ballabio, C. (2020). Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117 (36), 21994-22001.
- Cabeza, I., Mosquera, J., Moscoso, M. y Muñoz, J. (2022). Análisis de tendencias en la recuperación de suelos empleando vigilancia tecnológica. *Iteckne*, 19(1), 39-45.

- Camacho, J. Chipana, O., Liñán, L. y Oscco, M. (2022). Business Consulting de la Compañía Nacional de Chocolates de Perú S.A [Universidad Católica de Perú].
<https://www.proquest.com/openview/26c688fa1829cf2a9f071e5bc2632363/1?p-q-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>
- Campos, J., Álvarez, M., Maldonado, R. y Almaguer, G. (2020). Aplicación de abonos orgánicos en el rendimiento y desarrollo radicular en el cultivo de aguacate. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(2), 263-274.
- Cano, R. y Tubay, V. (2020). La ganadería y su incidencia en la contaminación de fuentes de agua de la parroquia Sixto Duran Ballén [Universidad Estatal Del Sur de Manabí]. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/2383>
- Carrasco, J., Aguilera, C. y Silva, L. (2019). Propiedades físicas de los suelos y su relación con la producción de Maíz. *Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA)*, 385, p 2–9.
<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/6735/NR41431.pdf?sequence=7&isAllowed=y#:~:text=La condici3n f3sica de un,retenci3n del agua%2C entre otras.>
- Carrillo, R. (2021). Influencia del tipo de cultivo en algunas propiedades físicas y químicas de un Inceptisol de la provincia de El Oro. (trabajo de titulación). Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Machala, Ecuador.
- Castiblanco, M. y Zapata, G. (2020). Evaluación de la biodiversidad fúngica en suelos de la reserva natural banco totumo - Bijibana (municipio de Repelón) y el humedal el Limón (corregimiento de las Compuertas-municipio de Manatí) en el departamento del Atlántico. [Universidad de la Costa]. <https://hdl.handle.net/11323/6346>
- Castro, H., Contreras, E. y Rodríguez, J. (2020). Análisis ambiental: impactos generados por los residuos agrícolas en el municipio de El Dorado (Meta, Colombia). *Espacios*, 41(38).
<https://www.revistaespacios.com/a20v41n38/a20v41n38p05.pdf>

- Science for humanity's greatest challenges [CGIAR]. (2023). Bosques, Árboles y Agroforestería: Medios de Subsistencia, Paisajes y Gobernanza. https://www.cifor.org/publications/pdf_files/brochures/BCIFOR1101S.pdf
- Chamba, J., Bermeo, L. y Sarango, Y. (2020). Producción ganadera: la deforestación y degradación del suelo, una estrategia para el desarrollo sostenible. *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(1), 77–82. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/389/368>
- Chaparro, J. y Najera, H. (2022). Caracterización de las propiedades físicas, químicas y rango de NPK para establecer el nivel de fertilidad de los suelos agrícolas de la Comunidad Campesina de Chacayan – Provincia Daniel Alcides Carrión – Región [Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. <http://45.177.23.200/handle/undac/3070>
- Chará, P., Gómez, M., Holguín, V. y Mora, J. (2019). Macroinvertebrados del mantillo en sistemas silvopastoriles del bosque húmedo premontano en Colombia. *Revista de La Red Agroforestal de Universidades de Colombia*, 9.
- Chavarin, Y. (2021). Calidad de suelos y servicios ambientales en el Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Cierto, L., Guerrero, C. y Aliaga, W. (2022). Producción de biocarbón a partir de la cáscara de *Theobroma cacao* L., cascarilla de *Oryza sativa* y *Coffea arabica*. *Qantu Yachay*, 2(2). <https://doi.org/10.54942/qantuyachay.v2i2.31>
- Código Orgánico del Ambiente. (2017). Registro Oficial Suplemento 983. Obtenido de https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf
- Constante, Y. y Machado, A. (2020). Estudio de biochar a partir de cáscara de cacao, como mejorador del suelo en un cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*). Obtenido de Universidad Central del Ecuador:

<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/22332/1/T-UCE-0017-IQU-103.pdf>

Constitución de la República del Ecuador. (2008). Título VII. Régimen del Buen Vivir. Capítulo segundo. Sección quinta: Suelo. Obtenido de https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf

Contreras, S., Pérez, A., Montoya, G. y Chávez, B. (2021). Estimación de la erosión hídrica para el uso actual y erosión potencial del suelo en la finca agrícola experimental UNI, municipio “Las Flores”, departamento de Masaya. *Revista Ciencia y Tecnología El Higo*, 11(2), 28-47.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. (2021). Instructivo: generación de las capas temáticas de uso potencial-zonificación forestal y conflicto por uso del suelo. https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/2021-08/IN.0130.51_Generación_capas_temáticas_uso_potencial_-_zonificación_forestal_y_conflicto_por_uso_del_suelo%2C_V02.pdf

Coronel, P. y Cayo, L. (2022). Dramatización de cuentos ecológicos como estrategia en el desarrollo de la conciencia ambiental en los niños y niñas de la Institución Educativa N° 50102 Juan Velazco Alvarado de Conchacalla año 2020 [Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. <http://200.48.82.27/handle/20.500.12918/6761>

Cortés, L. Cucunubo, J. y Ariel, R. (2022). Identificación de zonas geoeconómicas mediante un diagnóstico actual de la cuenca del Río Tona, 2022. [Unidades Tecnológicas de Santander]. <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/11314>

Cosme, J. (2022). Manejo de Egeria densa mediante el proceso de compostaje en el parque estatal urbano barranca de Chapultepec [El autor]. <http://riaa.uaem.mx/xmlui/handle/20.500.12055/3475>

Cotler, H. (2020). Manual para evaluar la erosión de los suelos en zonas

forestales. Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza.

- Cotrina, V. (2019). Efecto de abonos orgánicos en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo agrícola en Purupampa Panao [Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. In Universidad Nacional Hermilio Valdizán. <http://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/5399>
- Cruz, A., Barra, J., Castillo, R. y Gutiérrez, C. (2021). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13(2). <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/572>
- Damian, M. (2018). Plan de enmiendas, yeso agrícola, compost mejorado y enriquecido con EM y humus de lombriz, para mejorar el suelo. *Arnaldoa*, 25(1), 141–158. <https://doi.org/10.22497/ARNALDOA.251.25109>
- Dayanara, I., Espinoza, N., Danilo, M., Zenteno, C., Cargua, J., Moreira, V, Estefania, K., Solarte, A., Fátima, L. y Morales, I. (2018). Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Temas Agrarios*, ISSN-e 0122-7610, Vol. 23, No. 2, 2018 (Ejemplar Dedicado a: Julio-diciembre 2018), Págs. 177-187, 23(2), 177–187. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6587923&info=resumen&idioma=SPA>
- de la Portilla, N., Paulín, R., del Águila, P., Alcántara, L., Ocampo, G. y de la Fuente, J. (2021). Carbono de la biomasa microbiana, respiración basal y cinética del carbono de dos suelos erosionados enmendados con biosólidos. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 37, 443-453.
- Delgado, I., Israel, H., Iglesias, P., Miguel, R. y Batista, G. (2021). Degradación del suelo en sistemas agrícolas de la granja Santa Inés, provincia de El Oro, Ecuador. *Universidad y Sociedad*, 13(S2), 557–564. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2349>

- Echavarría, F., Medina, G. y Ruiz, J. (2020). Efecto en la erosión hídrica del suelo en pastizales y otros tipos de vegetación por cambios en el patrón de lluvias por el calentamiento global en Zacatecas, México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 11, 63-74.
- Elejalde, C. y Daza, M. (2021). Efecto de las enmiendas órgano minerales en la lixiviación de nitrógeno en dos inceptisoles. *Acta Agronómica*, 70(4), 338-344.
- Escalante, A., Pérez, G., Hidalgo, C., López, J., Campos, J., Valtierra, E. y Etchevers, J. (2016). Biocarbon (biochar) I: Nature, history, manufacture and use in soil. *Terra Latinoamericana*, 34, 367-382. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n3/2395-8030-tl-34-03-00367.pdf>
- Escalona, A., Gavilánez, T., Francisco, A. y Ramírez, H. (2021). Uso de enmiendas en la producción de maíz para ensilaje con riego orgánico mineral. *Agronomía Costarricense*, 45(1), 177-192.
- Farinango, D. (2021). Propuesta para implementación de sistemas agroforestales como opción de restauración de paisajes en una finca familiar en el cantón El Chaco, provincia de Napo. [Escuela superior politécnica del Chimborazo]. <http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/15936/1/33T00317.pdf>
- Ferry, Y., Herman, M., Tarigan, E. y Pranowo, D. (2022). Improvements of soil quality and cocoa productivity with agricultural waste biochar. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 974 (1), 012045.
- Flores, D. (2023). Respuesta de alelí *Matthiola incana* (L.) W. T. Aiton, a la aplicación de compost y biochar en Cotopaxi. [Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/30445>
- Florez, Y. (2018). Desarrollo de una película comestible empleando como componente base la pectina de subproductos del cacao. [Universidad de Pamplona]. <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/>

4743

- Flores, D. y Velásquez, Y. (2021). Efecto de la harina de cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L) sobre el desempeño productivo de pollo de engorde. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 165-174.
- Flores, B., Staal, A., Jakovac, C., Hirota, M., Holmgren, M. y Oliveira, R. (2020). Soil erosion as a resilience drain in disturbed tropical forests. *Plant and Soil*, 450(1– 2), 11–25. <https://doi.org/10.1007/S11104-019-04097-8/METRICS>
- Forero, A., Gambasica, P. y Cruz, K. (2022). Relación entre nutrientes con carbono, nitrógeno y materia orgánica en suelos de la zona bananera de Colombia. *RIAA*, 13(2), 7.
- Ganchozo, M. y Galarza, S. (2019). Análisis de la fertilidad del suelo del jardín universitario de la Universidad Estatal del Sur Manabí [Universidad Estatal del Sur de Manabí]. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/1915>
- Gamboa, J. (2021). Producción y aplicación de biocarbón a partir de biomasa residual para mejorar la calidad de suelos agrícolas. Revisión Sistemática 2020. Obtenido de Universidad César Vallejo: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/60501/Gamboa_R_JL-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- García, J., Castillo, A., Ramírez, M., Rendón, G. y Larqué, M. (2001). Comparación de los procedimientos de Tukey, Duncan, Dunnett, HSU, y Bechhofer para selección de medias. *Revista Agrociencia*, 79-86.
- García, E. y López, M. (2018). Efectos de la erosión del suelo en la distribución de potasio. *Journal of Science*, 10(4).
- García, M. (2018). Erosión y pérdida de suelo en la pedriza de manzanares (parque nacional sierra de Guadarrama). *Vida Científica*, 11. http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:revista100cias-2018-11-7200/n23_-_Erosion_y_perdida_en_la_Pedriza.pdf

- Gatica, B. y Carrillo, R. (2020). Sorción de elementos potencialmente tóxicos con la aplicación de enmiendas. [Colegio de Posgraduados Montecillo]. <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/4360>
- González, D. (2019). Diversidad y estructura de bosques contrastantes en la región del Chocó-Darién, Colombia [Universidad Nacional Abierta y a distancia]. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/25559>
- Gortari, R. y Santos, M. (2019). Educación para la conservación de suelos entre los pequeños productores agrícolas. Educación Para La Conservación de Suelos Entre Los Pequeños Productores Agrícolas, 57–83. https://www.researchgate.net/profile/Gladys-Gomez/publication/352261297_Educacion_para_la_Conseervacion_de_Suelos_entre_los_Pequeños_Productores_Agrícolas/links/60c11337a6fdcc2e612bf350/Educacion-para-la-Conservacion-de-Suelos-entre-los-Pequeños-Productores-Agrícolas.pdf
- Guanotasig, G. (2021). Indicadores de sostenibilidad institucional en la gestión de suelos, hábitat y biodiversidad en el Centro Experimental, académico Salache, Universidad Técnica de Cotopaxi, período 2020 – 2021. [Ecuador, Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)]. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/7823>
- Guevara, L. (2020). Análisis del potencial que presentan los residuos de poda del árbol neem (*azadirachta indica*) en el casco urbano de GIRARDOT (Cundinamarca) para la producción de biochar y su aplicación en el tratamiento de aguas [Universidad de Cundinamarca]. <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/handle/20.500.12558/4806>
- Hagemann, N., Joseph, S., Schmidt, H., Kammann, C., Harter, J., Borch, T., Young, R., Varga, K., Taherymoosavi, S., Elliott, K., McKenna, A., Albu, M., Mayrhofer, C., Obst, M., Conte, P., Dieguez, A., Orsetti, S., Subdiaga, E., Behrens, S. y Kappler, A. (2017). Organic coating on biochar explains its nutrient retention and stimulation of soil fertility. *Nat. Commun.* 8(1):1089-1099.

- Hernández, A., Macías, L., Naveda, C., Véliz, F., Guzmán, Á., Vivar, M. y León, R. (2012). Tipos de suelos y sus características de las partes medias y bajas de la microcuenca Membrillo, Manabí, Ecuador. *ESPAMCIENCIA*, 87-97.
- Hernández, O. (2019). Efecto del biochar y el compost en algunos indicadores del crecimiento de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). [Universidad de Matanzas. Facultad de Ciencias Agropecuarias]. <http://rein.umcc.cu/handle/123456789/758>
- Herrera, J., Villa, L., Olaya, A., García, L. y Herrera, J. (2020). Extracción de almidón de cáscara de cacao *Theobroma cacao* L. como alternativa de bioprospección. *Revista ION*, 33(2), 25–34. <https://doi.org/10.18273/REVISION.V33N2-2020002>
- Herrera, M. (2023). Caracterización físico química de los suelos del distrito de Montero Ayabaca [Universidad Nacional de Piura]. In Universidad Nacional de Piura. <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/4466>
- Hou, X., Shao, J., Chen, X., Li, J. y Lu, J. (2019). Changes in the soil erosion status in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin from 2001 to 2014 and the impacts of erosion on the water quality of lakes and reservoirs. <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1699974>, 41(8), 3175–3196. <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1699974>
- Huchani, N. (2018). Interacción de factores agroambientales en 55 plantas promisorios de cacao (*Theobroma cacao* L.) con diferentes grados de tolerancia a moniliasis (*Moniliophthora roreri* Cif & Par. Evans et al.) en Alto Beni Bolivia [Universidad Mayor de San Andrés]. <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/18349>
- Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. (2019). Muestreo para análisis de la fertilidad del suelo. (INTA), *Instituto Nacional de Innovación y Transferencia En Tecnología Agropecuaria*, 1–6. <http://difundecr.org/handle/123456789/354>

- James, A., Ramírez, J., Cedeño, M., Marín, N., Serrano, E. y Álvarez, H. (2021). Avances de Proyecto Carbonización de Biomasa| Aprovechamiento de residuos agrícolas para el mejoramiento de las propiedades físico-químicas del suelo en áreas de cultivo. *Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología* – APANAC, 300– 308. <https://doi.org/10.33412/APANAC.2021.3199>
- Jiménez, A., Carvajal, R. y Ponce, J. (2023). Caracterización de dos sistemas agroforestales del recinto San Francisco de la parroquia *El Anegado* [Jipijapa- Unesum]. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/4816>
- Laban, P., Metternicht, G. y Davies, J. (2018). Biodiversidad de suelos y carbono orgánico en suelos: cómo mantener vivas las tierras áridas. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2018.03.es>
- Larbodière, L., Schmidt, R., Magero, C., Vidal, A., Schnell, A., Bucher, P., Maginnis, S., Cox, N., Hasinger, O. y Abhilash, P., Nicholas, C., Vanja, L. (2020). Punto de encuentro. UICN. https://web.archive.org/web/20201106113545id_/https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2020-023-Es.pdf
- Larios, R., Salmerón, F. y García, L. (2014). Fertilidad del suelo con prácticas agroecológicas y manejo convencional en el cultivo de café. *La Calera*, 14(23), 67-75.
- Leonhart, E. (2019). Análisis Multi-temporal de Uso del suelo en la cuenca del Río Quinto Provincia de San Luis Argentina en los años 2009 y 2019 [Universidad Nacional de Nujal]. https://ri.unlu.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/rediunlu/832/LEONHART_ELINA-convertido.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Llanga, L. (2023). Evaluación de indicadores de calidad en un suelo agrícola bajo el efecto de la labranza, fertilización nitrogenada y rotación de cultivos. [Quito : UCE]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/29182>
- López, M. (2018). Análisis de la influencia de la capacidad de uso del suelo en la pobreza y desnutrición de la población de las parroquias rurales de la

provincia Bolívar [Pontificia Universidad Católica del Ecuador].
<http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/15489>

Luo, Y., Liang, J., Zeng, G., Chen, M., Mo, D., Li, G. y Zhang, D. (2018). Seed germination test for toxicity evaluation of compost: Its roles, problems and prospects. *Waste Management*, 71, 109–114.
<https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2017.09.023>

Macías, G. (2021). Aprovechamiento de residuos de cáscara de cacao en la obtención de carbón activado para ser usado como medio filtrante.
<https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6208>

Martínez, A., Villanueva, J., Estrada, J., Vázquez, C. y Orona, I. (2020). Pérdida de suelo y modificación de escurrimientos causados por el cambio de uso de la tierra en la cuenca del río Conchos, Chihuahua. *Nova Scientia*, 12(25). <https://doi.org/10.21640/NS.V12I25.2321>

Martínez, F. (2021). Encapsulación de Fisherella: TB22 con polímeros biodegradables para mejorar su aplicación como biofertilizante [El Autor].
<http://localhost:8383/jspui/handle/123456789/272>

Martínez, K. (2020). Eficiencia agronómica de cinco programas de fertilización combinados con materia orgánica, sobre el rendimiento del cultivo de maíz, en la zona de Milagro [Universidad Técnica de Babahoyo].
<http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/7263>

Massone, D., Martucci, A., Askenazi, J., Pastorino, M. y Bartoli, C. (2023). Colonización micorrícica de los plantines de ciprés de la cordillera en relación con la disponibilidad de fósforo y agua en vivero. *Bosque (Valdivia)*, 44(1), 191-200.

Matías, M., Gómez, J., Monterroso, A., Uribe, M., Villar, B., Ruiz, P. y Asencio, C. (2020). Factores que influyen en la erosión hídrica del suelo en un bosque templado. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 11(59), 51-71.

Medina, R. (2022). Distribución y variabilidad espacial del pH y materia orgánica de los suelos de Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, México [Tecnológico

Nacional de Mexico]. <https://rinacional.tecnm.mx/handle/TecNM/4640>

- Medina, E., Raúl, O., Villa, M., Larios, M., Darío Guevara Gutiérrez, R., López, O. y Barreto, O. A. (2016). Calidad del agua para riego y suelos agrícolas en Tuxcacuesco, Jalisco. *Idesia (Arica)*, 34(6), 51–59. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292016005000035>
- Medina, L. y Medina, I. (2018). Mobile autothermic prototype for biochar production using biomass of avocado crop byproducts. *Terra Latinoamericana*, 36, 121-129. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v36n2/2395-8030-tl-36-02-121.pdf>
- Mendoza, F., Arteaga, G. y Delgado, D. (2023). La erosividad de la lluvia como factor condicionante de la erosión hídrica en Manabí. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 8(2), 68-81.
- Montatixe, C. y Eche, M. (2021). Degradación del suelo y desarrollo económico en la agricultura familiar de la parroquia Emilio María Terán, Píllaro. *Siembra*, 8(1). <https://doi.org/10.29166/SIEMBRA.V8I1.1735>
- Montoya, A., Mora, A. y Vásquez, C. (2020). La importancia de las enmiendas orgánicas en la conservación del suelo y la producción agrícola. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 7(1), 58-68.
- Morales, P., de la Cruz, Y., Monjardin, R. y Fontalvo, C. (2021). Evaluación de la calidad del suelo en agroecosistemas tropicales de Xalapa y Emiliano Zapata en el estado de Veracruz, México. *Suelos Ecuatoriales*, 51(1y2), 25-36.
- Morales, P., Estrada, L., JAlor, M., Méndez, C. y Morales, C. (2022). Condiciones de fertilidad de un suelo en Comalcalco, Tabasco, México. *Journal of Basic Sciences*, 8(23), 85–95. <https://doi.org/10.19136/JOBS.A8N23.5347>
- Morel, A. y Acosta, O. (2022). Calidad del suelo en diferentes usos y manejo por medio de la macrofauna como indicador biológico / Quality of the soil in the different uses and managements through macrofauna as a biological

indicator. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5(1), 996–1006. <https://doi.org/10.34188/BJAERV5N1-074>

Muñoz, V. (2019). Rol de la materia orgánica en la calidad del suelo [BABAHOYO; UTB, 2019]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/6908>

Murillo, S., Ponce, F. y Huamán, M. (2020). Características fisicoquímicas, compuestos bioactivos y contenido de minerales en la harina de cáscara del fruto de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Manglar*, 17(1), 67–73. <https://doi.org/10.17268/MANGLAR.2020.011>

Narváez, K. (2019). Disponibilidad de metales pesados en suelos ácidos de La Frailesca, Chiapas y su acumulación en maíz. [Colegio de postgraduados]. <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/3918>

Nicholls, C. y Altieri, M. A. A. M. A. (2020). Suelos saludables, plantas saludables: la evidencia agroecológica. *LEISA revista de agroecología*, 36(4), 13-15.

Olmo, M. (2016). Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal. (Trabajo Doctoral - Universidad de Córdoba).

Ordoñez, A. (2022). Aprovechamiento de cáscaras de cacao y de plátano como materia prima para la obtención de carbón activado. Guayaquil, Ecuador.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2023a). Conservación del Suelo- Portal de Suelos de la FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. *Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura*. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-management/conservacion-del-suelo/es/>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2023). Degradación/restauración | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. *Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura*. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation->

restoration/es/

- Organización Posada. (2023). Técnicas de recuperación de suelos contaminados, degradados o empobrecidos. Posada. <https://www.posada.org/tecnicas-de-recuperación-de-suelos-contaminados-degradados-o-empobrecidos/>
- Orgiazzi, A. y Panagos, P. (2018). Soil biodiversity and soil erosion: It is time to get married. *Global Ecology and Biogeography*, 27(10), 1155–1167. <https://doi.org/10.1111/GEB.12782>
- Ospina, M. (2022). Interacción del Biochar y los microorganismos del suelo. [Universidad de Cundinamarca]. <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/handle/20.500.12558/4794>
- Peña, L., Gómez, R., Murrieta, M., Cejudo, A., Olave, T., Olivas, G. y Hernández, H. (2020). Cambios del uso del suelo e impactos en la escorrentía potencial de la cuenca Chuviscar-Sacramento (Chihuahua, México). *GeoFocus. International Review of Geographical Information Science and Technology*, (26), 69-91.
- Pinto, K. y Cubas, E. (2021). Evaluación geotécnica para mejorar el diseño de la cimentación de terraplenes en la carretera Yurimaguas – Munichis, distrito de Yurimaguas, provincia de alto amazonas, departamento de loreto - 2019 [Universidad Científica del Perú]. <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/1194>
- Quito, J. (2020). Biochar como enmienda edáfica para bajar los niveles de absorción de cadmio en cacao (*Theobroma cacao L*), cultivar CCN-51. Obtenido de Universidad Técnica de Machala: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/16145/1/TTUACA-2020-IA- DE00028.pdf>
- Ramírez, C. (2022). Electro fitorremediación de suelo contaminado con cobre mediante el uso de *spinacia oleracea* [Tecnológico Nacional de México]. <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/5065>

- Ramos, J., Bertol, I., Bandeira, D., Barbosa, F. y Zangiski, F. (2019). Path coefficient analysis, a different approach to identify soil quality indicators. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23(7), 545-551
- Remolina, C. (2019). Mejora en la producción y exportación de cacao colombiano mediante la aplicación de las políticas públicas utilizadas en Ecuador y Perú. *Universidad Del Bosque*, 7(1).
<https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/4192>
- Revista de la Red Agroforestal de Universidades de Colombia. (2019). Agroforestería. *Universidad de Tolima*, 9.
https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/64847048/RevistaAFNT_9-libre.pdf?1604459699=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DRevistaAFNT.pdf&Expires=1686865695&Signature=ligBzqwoY5kOLJGGzdNxnNHhZpBsS242MWSQWfIEEKQG8HYJGMohUrYHiFVzr77W8-FqF6t~T2BNI
- Riaño, E. (2020). Impacto de la producción orgánica de Eucalyptus greens vc. silver dollar en las características fisicoquímicas del suelo. - 10596/38213 [Universidad Nacional Abierta y a distancia].
<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/38213>
- Rivas, M. y Silva, R. (2020). Calidad física y química de tres compost, elaborados con residuos de jardinería, pergamino de café y bora (*Eichhornia Crassipes*). *Ciencia Unemi*, 13(32), 87-100.
- Rivera, E., Sánchez, M. y Domínguez, H. (2018). PH como factor de crecimiento en plantas. *Universidad Tecnológica de Panamá*, 4.
<https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/1829/2639>
- Rodríguez, E. (2020). Análisis multicriterio en la cuantificación de riesgos para la salud humana en suelos contaminados [Universidad de Oviedo].
<https://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/57724>
- Rodríguez, E., Colazo, J., Vanzolini, J. y Zubiaga, L. (2021). Susceptibilidad a la erosión eólica y su relación con parámetros edáficos en Patagones. In

Actas del XXVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 1322-1327.

- Rodríguez, I., Pérez, H., García, R. y Quezada, A. (2020). Efecto del manejo agrícola en propiedades físicas y químicas del suelo en diferentes agroecosistemas. *Revista Universidad y Sociedad*, 12(5), 389–398. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202020000500389&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Rojas, L. (2019). Aprovechamiento de la cáscara de cacao para la elaboración de un biocomposito con aplicación en la construcción sostenible. Obtenido de Universidad El Bosque: https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/2817/Rojas_Gonz%C3%A1lez_Lina_Manuela_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Romero, J. (2021). Evaluación del potencial del carbón para su uso como fertilizante con micronutrientes para el suelo [Universidad Zaragoza]. <https://zaguan.unizar.es/record/101128/files/TESIS-2021-115.pdf?version=1>
- Rosero, C., Beltrán, A., Santillán, L. y Rosero, G. (2019). Actualización de la cobertura de suelo mediante teledetección para la estimación del umbral de escorrentía en la Cuenca del Río Chimborazo. *Ciencia Digital*, 3(2.6), 39–59. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i2.6.517>
- Sánchez, A. (2023). Erosión una catástrofe silenciosa [Universidad de Jaen]. <https://crea.ujaen.es/handle/10953.1/19439>
- Sánchez, M., Cayuela, M., Sánchez, M., Vandecasteele, B., D'Hose, T., López, G., Martínez, C., Kuikman, P., Sinicco, T. y Mondini, C. (2019). Agronomic Evaluation of Biochar, Compost and Biochar-Blended Compost across Different Cropping Systems: Perspective from the European Project FERTIPLUS. *Agronomy*, 9(5). <https://www.mdpi.com/2073-4395/9/5/225/htm%0Ahttps://www.mdpi.com/2073-4395/9/5/225>
- Sánchez, M., Alburquerque, J., Sánchez, M., Roig, A. y Cayuela, M. (2015). Biochar accelerates organic matter degradation and enhances N

mineralisation during composting of poultry manure without a relevant impact on gas emissions. *Bioresource Technology*, 192, 272–279.
<https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2015.05.003>

Sayara, T., Basheer-Salimia, R., Hawamde, F. y Sánchez, A. (2020). Recycling of Organic Wastes through Composting: Process Performance and Compost Application in Agriculture. *Agronomy*, 10(11), 1838.
<https://doi.org/10.3390/AGRONOMY10111838>

Schmidt, H. P., Pandit, B., Cornelissen, G. y Kammann, C. (2017). Biochar-based fertilization with liquid nutrient enrichment: 21 field trials covering 13 crop species in Nepal. *Land Degradation Development*. 28(8): 2324-2342.

Segura, B. y Fonseca, R. da. (2020). Aprovechamiento de los sedimentos de los embalses como nutrientes para la fertilización de suelos agrícolas en la República Dominicana. *Aqua-LAC*, 12(2), 15–36.
<https://doi.org/10.29104/PHI-AQUALAC/2020-V12-2-02>

Shah, T., Khan, S. y Shah, Z. (2017). Soil respiration, pH and EC as influenced by biochar. *Soil & Environment*, 36(01), pp.77-83.

Siebe C. y Stahr J. (2006). Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. *Instituto de Geología. Universidad Nacional Autónoma de México.*

Singaña, D. y Satama, M. (2021). Los factores que favorecen la adopción de prácticas de conservación de suelos: evidencia de los pequeños agricultores ecuatorianos. *Cuestiones Económicas*, 31(3).
<https://doi.org/10.47550/RCE/MEM/31.25>

Smebye, A., Alling, V., Vogt, R., Gadmar, T., Mulder, J., Cornelissen, G. y Hale, S. (2016). Biochar amendment to soil changes dissolved organic matter content and composition. *Chemosphere*, 142, pp.100-105.

Smith, J., Johnson, R. y Brown, K. (2019). Impacto de las prácticas de manejo del suelo en las fracciones de potasio. *Revista de Agricultura Sostenible*, 15(3).

- Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. (2018). Técnicas biológicas de recuperación de suelos. <https://www.secs.com.es/calendario/2018.pdf>
- Stoeff, I. y Marino, D. (2021). Estudio de la influencia de la aplicación de enmiendas orgánicas en la degradación de plaguicidas en suelos hortícolas como estrategia para su recuperación. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/137105>
- Suárez, D. (2019). Evaluación de la adsorción del carbón del mesocarpio del cacao (*Theobroma cacao* L.) modificado por ultrasonido. Universidad Nacional Agraria La Molina. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3950>
- Tesen, V. (2018). El hábitat de los animales y las plantas [Universidad Nacional de Trujillo]. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/16683>
- Trujillo, J., Mahecha, J. y Torres, M. (2018). El recurso suelo; un análisis de las funciones, capacidad de uso e indicadores de calidad. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 9(2), 31–38. <https://doi.org/10.22490/21456453.2095>
- Ullon, M. (2022). Análisis multitemporal de cambios de uso del suelo en la isla santa cruz-galápagos de 1991, 1993, 2009, 2010, 2017, 2019 y 2020 mediante sistemas de información geográfica [Universidad Agraria del Ecuador]. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ULLÓN QUIROZ DANNY MIGUEL.pdf>
- Valladares, J., Zárate, A., Cruz, R., Gaspar, G. y Mendoza, C. (2020). La aplicación combinada de abonos orgánicos mejora las propiedades físicas del suelo asociado al cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 401-408.
- Vallejo, V., Afanador, L., Hernández, M. y Parra, D. (2018). Efecto de la implementación de diferentes sistemas agrícolas sobre la calidad del suelo en el municipio de Cachipay, Cundinamarca, Colombia. *Bioagro*, 30(1), 27–38. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-

33612018000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=es

- Vargas-Pineda, O., Trujillo-González, J., Torres-Mora, M., Vargas-Pineda, O., Trujillo- González, J. y Torres-Mora, 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. y Loli, O. (2018). Compost y vermicompost como enmiendas en la recuperación de un suelo degradado por el manejo de *Gypsophila paniculata*. *Scientia Agropecuaria*. 9(1): 43-52.
- Vega, L. (2022). Libro Objetivos del Desarrollo Sostenible: Esfuerzos en América Latina y el Caribe. Universidad de Sonora.
- Velásquez, J., Juárez, P., Hernández, J., Santiago, G., Valdez, L., Tejacal, I. y Guillén, D. (2019). Nutrient concentration of rice husk biochar. *Revista fitotecnía mexicana*,42(2). Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802019000200129#B1
- Victoria, E. (2019). Capacidad de uso del suelo y usos recomendados en la Sierra de Espadán (Castellón). *Cuadernos de Geografía de La Universitat de València*, 51. <https://doi.org/10.7203/CGUV..14888>
- Volverás, B., Merchancano, J., Campo, J. M. y Fernando, J. (2020). Propiedades físicas del suelo en el sistema de siembra en wachado en Nariño, Colombia. *Universidad de Costa Rica*, 31, 1–18. <https://doi.org/10.15517/am.v31i3.39233>
- Wladimir, G. y Naranjo, A. (2020). Problemática de la Erosión de suelos en sistemas de producción agrícola, en la provincia de Los Ríos [BABAHOYO:UTB,2020]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/8462>
- Yang, S., Taylor, D., Yang, D., He, M., Liu, X. y Xu, J. (2021). A synthesis framework using machine learning and spatial bivariate analysis to identify drivers and hotspots of heavy metal pollution of agricultural soils.

Environmental Pollution. 287, 117611.

Zorzoli, F. (2021). From soybean fever to soil degradation. Economy, ecology and politics in middle-western *Dry Chaco agriculture, Argentina* (1960-1990). *Quinto Sol*, 25(1). <https://doi.org/10.19137/QS.V25I1.4355>

Zulaica, L., Vazquez, P. y Daga, D. (2019). Estimación de la erosión actual y potencial de suelos destinados a actividades hortícolas en el periurbano de Mar del Plata. *SEDICI*. <https://host170.sedici.unlp.edu.ar/server/api/core/bitstreams/210f953f-d7c3-4208-b1d3-e1e68a0485f6/content>

Zhikun, Z., Zonguyan, Z., Boxiong, S. y Lina, L. (2019). Insights into biochar and hydrochar production and applications: A review. *Science Direct*, 171, 581-598. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544219300374?via%3Dihub>

ANEXOS

Anexo 1. Delimitación de las zonas a muestreadas



Anexo 2. Resultado de análisis fisicoquímicos pre tratamiento

N° Muest.		meq/100ml			dS/m	(%)	Ca	Mg	Ca+Mg	meq/100ml	(meq/l)/s	ppm	Textura (%)			Clase Textural
Laborat.	Al+H	Al	Na	C.E.	M.O.	Mg	K	K	Σ Bases	RAS	Cl	Arena	Limo	Arcilla		
111779					2,8	B	3,7	7,79	37,21	25,98						
111780					2,1	B	3,9	9,27	45,64	25,65						
111781					2,1	B	4,6	7,26	41,13	26,12						

INTERPRETACION					
Al+H, Al y Na		C.E.		M.O. y Cl	
B = Bajo	NS = No Salino	S = Salino	B = Bajo	M = Medio	A = Alto
M = Medio	LS = Lig. Salino	MS = Moy Salino			
T = Tóxico					

ABREVIATURAS		
C.E.	=	Conductividad Eléctrica
M.O.	=	Materia Orgánica
RAS	=	Relación de Adsorción de Sodio

METODOLOGIA USADA		
C.E.	=	Conductimetro
M.O.	=	Titración de Walkley Black
Al+H	=	Titración con NaOH

RESPONSABLE DPTO. SUELOS Y AGUAS

RESPONSABLE LABORATORIO

La muestra será guardada en el laboratorio por un máximo de 30 días. No se aceptarán reclamos en los resultados.



ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE"
LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS
 Km. 5 Carretera Quevedo - El Empalme, Apartado 24
 Quevedo - Ecuador Telef: 052 783044 suelos.ctp@iniap.gob.ec

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO			DATOS DE LA PROPIEDAD			PARA USO DEL LABORATORIO			
Nombre	: SOLORZANO ZAMBRANO MILENA		Nombre	: S/N		Cultivo Actual	:		
Dirección	: MANABÍ / BOLÍVAR		Provincia	: Manabí		N° Reporte	: 11640		
Ciudad	: BOLÍVAR		Cantón	: Bolívar		Fecha de Muestreo	: 7/11/2023		
Teléfono	: 0967975991		Parroquia	: Calcuta		Fecha de Ingreso	: 23/1/2024		
Fax	:		Ubicación	: Olga Cobos		Fecha de Salida	: 29/1/2024		

N° Muest. Laborat.	Datos del Lote		pH	ppm			meq/100ml			ppm					
	Identificación	Area		NH4	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B	
111779	Muestra de Suelo Lote 1		7,0 N	23 M	49 A	0,68 A	20 A	5,3 A							
111780	Muestra de Suelo Lote 2		6,5 LAc	20 M	56 A	0,55 A	20 A	5,1 A							
111781	Muestra de Suelo Lote 3		6,8 FN	21 M	65 A	0,62 A	21 A	4,5 A							

INTERPRETACION				METODOLOGIA USADA		EXTRACTANTES	
pH				Elementos: de N a B		pH	
MAc = Muy Acido	LAc = Liger. Acido	LI = Lige. Alcalino	RC = Requiere Cal	B = Bajo	N,P,B = Suelo: agua (1:2,5)	Otten Modificado	
Ac = Acido	FN = Frac. Neutro	Me-ll = Media Alcalino		M = Medio	S = Turbidimetría	N,P,K,Ca,Mg,Cu,Fe,Mn,Zn	
MeAc = Media Acido	N = Neutro	Al = Alcalino		>A = Alto	K,Ca,Mg,Cu,Fe,Mn,Zn = Absorción atómica	Fosforo de Calcio Monobásico	
						B.S	



RESPONSABLE DPTO. SUELOS Y AGUAS





RESPONSABLE LABORATORIO

La muestra será guardada en el laboratorio por un periodo de 15 días hábiles para la recepción de los resultados.

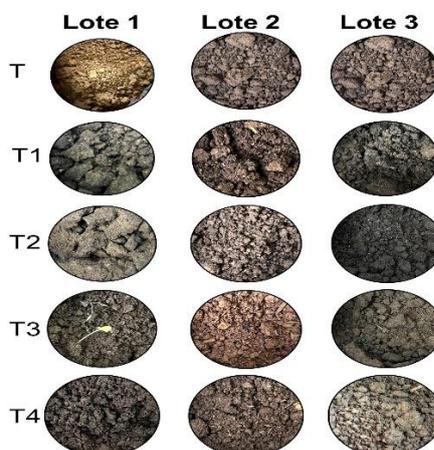
Anexo 3. Elaboración de biochar



Anexo 3-A. Cáscara seca de cacao

Anexo 3-B. Pirolisis

Anexo 4. Distribución de enmiendas orgánicas a los tratamientos



Anexo 5. Resultados de análisis fisicoquímicos

 ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE" LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS Km. 5 Carretera Quevedo - El Empalme, Apartado 24 Quevedo - Ecuador Telef. 052 783044 suelos.etp@iniap.gob.ec														
DATOS DEL PROPIETARIO				DATOS DE LA PROPIEDAD				PARA USO DEL LABORATORIO						
Nombre : MARCILLO VÉLEZ ANA PATRICIA Dirección : MANABI / BOLIVAR Ciudad : BOLIVAR Teléfono : 0991067869 Fax :				Nombre : Finca Olga Cobos Provincia : Manabi Cantón : Bolivar Parroquia : Calceta Ubicación : Olga Cobos				Cultivo Actual : N° Reporte : 11847 Fecha de Muestreo : 7/11/2023 Fecha de Ingreso : 28/3/2024 Fecha de Salida : 10/4/2024						
N° Muest. Laborat.	Datos del Lote		pH	ppm					ppm					
	Identificación	Area		NH4	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B
112078	Lote 1 T1-R1		6,8	10	29	1,80	17	5,7						
112079	Lote 1 T2-R1		7,4	17	28	2,54	18	7,0						
112080	Lote 1 T3-R1		6,9	14	42	1,97	16	4,1						
112081	Lote 1 T4-R1		7,4	12	42	3,01	17	5,7						
112082	Lote 2 T1-R2		7,0	15	26	1,36	18	6,1						
112083	Lote 2 T2-R2		7,4	9	31	2,26	18	5,7						
112084	Lote 2 T3-R2		6,8	9	21	1,37	18	4,9						
112085	Lote 2 T4-R2		7,3	10	36	2,98	16	5,2						
112086	Lote 3 T1-R3		7,5	11	34	2,51	17	5,6						
112087	Lote 3 T2-R3		7,5	11	40	3,90	17	6,3						
112088	Lote 3 T3-R3		6,9	9	25	1,45	19	6,3						
112089	Lote 3 T4-R3		7,4	10	44	3,23	17	6,3						

INTERPRETACION				METODOLOGIA USADA		EXTRACTANTES	
pH = pH MA = Muy Acido LA = Liger. Acido SA = Lige. Alcalino RC = Requiere Cal B = Bajo A = Acido PN = Prac. Neutro MA = Media. Alcalino M = Medio A = Alto MeA = Media. Acido N = Neutro Al = Alcalino				pH = Suelo: agua (1:2,5) N,P,K = Colorimetria S = Turbidimetria K,Ca,Mg,Cu,Fe,Mn,Zn = Absorción atómica		Olsen Modificado N,P,K,Ca,Mg,Cu,Fe,Mn,Zn Fósforo de Calcio Monobásico BS	

 ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE" LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS Km. 5 Carretera Quevedo - El Empalme, Apartado 24 Quevedo - Ecuador Telef. 052 783044 suelos.etp@iniap.gob.ec																	
DATOS DEL PROPIETARIO				DATOS DE LA PROPIEDAD				PARA USO DEL LABORATORIO									
Nombre : MARCILLO VÉLEZ ANA PATRICIA Dirección : MANABI / BOLIVAR Ciudad : BOLIVAR Teléfono : 0991067869 Fax :				Nombre : Finca Olga Cobos Provincia : Manabi Cantón : Bolivar Parroquia : Calceta Ubicación : Olga Cobos				Cultivo Actual : N° de Reporte : 11847 Fecha de Muestreo : 7/11/2023 Fecha de Ingreso : 28/3/2024 Fecha de Salida : 10/4/2024									
N° Muest. Laborat.	meq/100ml			dS/m	C.E.	(%)	M.O.	meq/100ml				(meq/l)/5	ppm	Textura (%)			Clase Textural
	Al+H	Al	Na					Ca	Mg	K	Ca+Mg			Σ Bases	RAS	Cl	
112078					2,8	B	2,9	3,17	12,61	24,50							
112079					3,4	M	2,5	2,76	9,84	27,54							
112080					3,4	M	3,9	2,08	10,20	22,07							
112081					4,0	M	2,9	1,89	7,54	25,71							
112082					2,9	B	2,9	4,49	17,72	23,46							
112083					3,5	M	3,1	2,52	10,49	25,96							
112084					2,5	B	3,6	3,58	16,72	24,27							
112085					4,1	M	3,0	1,74	7,11	24,18							
112086					3,1	M	3,0	2,23	9,00	25,11							
112087					2,6	B	2,7	2,10	7,77	26,30							
112088					4,5	M	3,0	4,34	17,45	26,75							
112089					4,3	M	2,7	1,95	7,21	26,53							

INTERPRETACION						ABREVIATURAS		METODOLOGIA USADA	
Al+H, Al, Na C.E. M.O. y ET B = Bajo NS = No Salino S = Salino B = Bajo M = Medio IS = Lig. Salino MS = Muy Salino M = Medio T = Tóxico A = Alto						C.E. = Conductividad Eléctrica M.O. = Materia Orgánica RAS = Relación de Adherción de Sodio		C.E. = Conductímetro M.O. = Titulación de Welkley Blac APH = Titulación con NaOH	