



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

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

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

MECANISMO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**EVALUACIÓN DEL MANEJO DEL CULTIVO DE CACAO
EN LA CAPTURA DE CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO**

AUTORAS:

**MARJORIE MAGDALENA MENDOZA CALDERÓN
DALINDA ALEJANDRA NAVARRETE MOLINA**

TUTOR:

LEONARDO XAVIER LEÓN CASTRO, PhD.

CALCETA, FEBRERO 2024

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Marjorie Magdalena Mendoza Calderón con cédula de ciudadanía 131225135-6 y Dalinda Alejandra Navarrete Molina con cédula de ciudadanía 131459018-1, declaramos bajo juramento que el Trabajo de Integración Curricular titulado: **EVALUACIÓN DEL MANEJO DEL CULTIVO DE CACAO EN LA CAPTURA DE CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO** es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

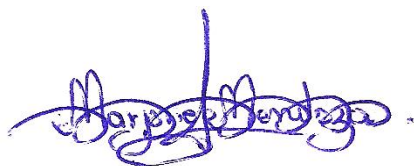
A través de la presente declaración, concedemos a favor de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso comercial de la obra con fines estrictamente académicos, conservando a nuestro favor todos los derechos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

**MARJORIE MAGDALENA
MENDOZA CALDERÓN
CC: 131225135-6**

**DALINDA ALEJANDRA
NAVARRETE MOLINA
CC:131459018-1**

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo Marjorie Magdalena Mendoza Calderón con cédula de ciudadanía 131225135-6 y Dalinda Alejandra Navarrete Molina con cédula de ciudadanía 131459018-1, autorizamos a la Escuela Superior Politécnica de Manabí Manuel Félix López, la publicación en la biblioteca de la institución de Trabajo de Integración Curricular titulado: **EVALUACIÓN DEL MANEJO DEL CULTIVO DE CACAO EN LA CAPTURA DE CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.



**MARJORIE MAGDALENA
MENDOZA CALDERÓN
CC: 131225135-6**



**DALINDA ALEJANDRA
NAVARRETE MOLINA
CC:131459018-1**

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

LEONARDO XAVIER LEÓN CASTRO, PhD. certifica haber tutelado el Trabajo de Integración Curricular titulado: **EVALUACIÓN DEL MANEJO DEL CULTIVO DE CACAO EN LA CAPTURA DE CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO**, que ha sido desarrollado por **MARJORIE MAGDALENA MENDOZA CALDERÓN** y **DALINDA ALEJANDRA NAVARRETE MOLINA**, previo a la obtención del título de **INGENIERA AGRÍCOLA**, de acuerdo con el **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

LEONARDO XAVIER LEÓN CASTRO, PhD.
CC: 091867676-8
TUTOR

CERTIFICACIÓN DEL COORDINADOR DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN

Yo, **CARLOS OSWALDO VALAREZO BELTRON, Ph.D**, Coordinador del Grupo de Investigación "MSSA", certifico que las estudiantes, **MARJORIE MAGDALENA MENDOZA CALDERÓN** y **DALINDA ALEJANDRA NAVARRETE MOLINA**, realizaron su Trabajo de Integración Curricular **CONCENTRACIÓN Y ACUMULACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO EN DIFERENTES FRACCIONES FÍSICAS DE SUELOS EN ÁREAS** previo a la obtención del título de **INGENIERA AGRÍCOLA**. Este trabajo se ejecutó como parte de una actividad del proyecto de investigación titulado **EVALUACIÓN DEL MANEJO DEL CULTIVO DE CACAO EN LA CAPTURA DE CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO** y registrado en la Secretaría Nacional de Planificación con CUP.

CARLOS OSWALDO VALAREZO BELTRON, Ph.D.
CC:1309540563
COORDINADOR DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el Trabajo de Integración Curricular titulado: **EVALUACIÓN DEL MANEJO DEL CULTIVO DE CACAO EN LA CAPTURA DE CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO**, que ha sido desarrollado por **MARJORIE MAGDALENA MENDOZA CALDERÓN** y **DALINDA ALEJANDRA NAVARRETE MOLINA**, previa la obtención del título de **INGENIERA AGRÍCOLA**, 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.

LENIN VERA MONTENEGRO, Ph. D.
CC: 1309126462
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ANGEL FROWEN
CEDEÑO SACON, MSc.
CC: 1310353121
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

JOSE LIZARDO
REYNA BOWEN, Ph.D.
CC: 1309899407
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que nos dio la oportunidad de crecer como seres humanos a través de una educación superior de calidad y en la cual hemos forjado nuestros conocimientos profesionales día a día.

Agradecemos a Dios por bendecirnos la vida y por darnos la fuerza y perseverancia día a día en nuestros estudios, por ser nuestro guía y protector, por haber alcanzado esta gran meta.

Gracias a nuestros padres por apoyarnos incondicionalmente por ser los principales promotores de nuestros sueños por darnos el ánimo a no desmayar en esta gran trayectoria, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron. Gracias por los consejos, valores y principios que nos han inculcado.

Agradecemos a nuestros docentes de la de la carrera de Ingeniería Agrícola, por haber compartido sus conocimientos en el transcurso de nuestra preparación profesional, de manera especial al Ingeniero Leonardo Xavier León Castro, PhD. por su apoyo como tutor quien de manera muy amable nos ha guiado y apoyado para la culminación con éxito de la Investigación y al coordinador del proyecto al Ingeniero Carlos Oswaldo Valarezo Beltron Ph.D.

De igual manera le agradecemos a nuestros amigos y compañeros que estuvieron pendiente cuando los necesitábamos de su ayuda en el laboratorio y en campo también de manera especial al Ingeniero Lizardo Reyna, Ingeniera Saskia Guillen, Ingeniera Geoconda López y a la Licenciada Katty Ormaza por la ayuda brindada, comprensión, amistad y amabilidad que siempre nos brindan.

**MARJORIE MAGDALENA MENDOZA CALDERÓN
DALINDA ALEJANDRA NAVARRETE MOLINA**

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios, por guiarme en toda esta trayectoria académica y ser mi guía espiritual y poder culminar mis estudios ante todas las adversidades que se me presentaron en el transcurso de mi vida universitaria.

A mi padre Manuel Mendoza y a mi madre Elsa Calderón, por ser unos padres ejemplares por todo su sacrificio, esfuerzo, por su apoyo incondicional, por estar siempre conmigo, por brindarme una profesión, todo lo que soy se lo debo a ellos.

A mis amigos de la Universidad con los cuales he compartido muchas anécdotas llenas de alegrías, tristezas, conocimientos y apoyo a lo largo de todo mi proceso formativo.

MARJORIE MAGDALENA MENDOZA CALDERÓN.

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico principalmente a Dios quien me guío y me dio la oportunidad de culminar esta carrera universitaria y a mi madre Celinda Asunción Molina Sánchez y a mi padre Ramón Aurelio Navarrete Zambrano, por ser los pilares del camino de mi vida, apoyándome y motivándome en mis estudios.

A mis hermanos, sobrinos por acompañarme siempre y brindarme sus palabras de motivación, ya que ellos fueron base fundamental para conseguir el objetivo planteado de mi vida.

Gracias a mis amigas que siempre me han dado consejos y muchas palabras de aliento y me han ayudado activamente a ser una mejor persona, y gracias por su apoyo incondicional durante todo el proceso.

DALINDA ALEJANDRA NAVARRETE MOLINA.

CONTENIDO GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN	iii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	iv
CERTIFICACIÓN DEL COORDINADOR DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN	v
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA	viii
CONTENIDO GENERAL	xii
CONTENIDO DE TABLAS.....	xii
CONTENIDO DE FIGURAS.....	xii
CONTENIDO DE GRÁFICOS	xiii
CONTENIDO DE FÓRMULAS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	3
1.3. OBJETIVOS	4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.4. HIPÓTESIS	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. CAMBIO CLIMÁTICO	5
2.1.1. ¿CÓMO EL CAMBIO CLIMÁTICO AFECTA A LA AGRÍCOLTURA?	6

2.1.2. IMPACTOS AMBIENTALES NEGATIVOS QUE AFECTAN AL CARBONO EN EL SUELO.....	6
2.1.3. PARÁMETROS FÍSICOS QUÍMICOS DEL SUELO	7
2.1.4. RELACIÓN MATERIA ORGÁNICA - CARBONO	7
2.2. MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LA CAPTURA DE CARBONO EN EL SUELO	9
2.2.1. MÉTODO DE WALKLEY Y BLACK.....	9
2.2.2. MÉTODO DE CALCINACIÓN	9
2.2.3. IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE CACAO.....	10
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO.....	12
3.1. UBICACIÓN.....	12
3.2. DURACIÓN	13
3.3. ÁREA DE ESTUDIO	13
3.4. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	14
3.5. MANEJO DE LA INVESTIGACIÓN.....	14
3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL	16
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
4.1. CONCENTRACIÓN DE CARBONO EN DIFERENTES PROFUNDIDADES DEL SUELO.....	20
4.1.1. Área de muestreo bajo el árbol	20
4.1.2. Área de muestreo calle.	22
4.2. ACUMULACIÓN DE CARBONO EN DIFERENTES PROFUNDIDADES DEL SUELO.....	24
4.2.1. Área de muestreo bajo el árbol	24
4.2.2. Área de muestreo calle.	25
4.3. Análisis del efecto del manejo del cultivo de cacao, sobre las concentraciones del carbono en el suelo.....	26
CAPÍTULO V. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN	28

5.1. CONCLUSIÓN.....	28
5.2. RECOMENDACIÓN	28
BIBLIOGRAFÍA.....	29
ANEXOS.....	37

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 3. 1. Promedio anual 2021 de las características climáticas en la Unidad de Investigación de Cacao (El Limón, Bolívar, Manabí).....	12
Tabla 3. 2. Esquema de ANOVA.....	17
Tabla 4. 1. Parámetros físicos-químicos del suelo en el cultivo de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.). Sitio el Limón, Bolívar, Manabí.	19

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 3. 1. Unidad de Investigación de Cacao (Sitio el Limón, Cantón Bolívar, Manabí) de la ESPAM MFL.....	12
Figura 3. 2. Área de estudio de la Unidad de Investigación de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.). De tres clones de cacao (1) EET-116, (2) EET-103, (3) ETT-95. Áreas de producción, bajo el árbol y calle, ensayo realizado de marzo a agosto 2022. (Sitio el Limón, Bolívar, Manabí.).....	14
Figura 4. 1. Residuos vegetales de hojarasca de la poda de cacao de la Unidad de Investigación de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.). De los tres clones de cacao (1) EET-116; (2) EET-103; (3) ETT-95. (Sitio el Limón, Bolívar, Manabí.).....	Error! Bookmark not defined.
Figura 4. 2. Presencia de (A) necromasa y (B) raíces gruesas y (C) finas a los 30 cm en el área de muestreo bajo el árbol en el cultivo de cacao de la Unidad de Investigación de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.). De los tres clones de cacao (1) EET-116; (2) EET-103; (3) ETT-95. (Sitio el Limón, Bolívar, Manabí.)	22

Figura 4. 3. Residuos de las hojarascas que son depositados en las calles en el cultivo de cacao de la Unidad de Investigación de cacao (*Theobroma cacao* L.). De los tres clones de cacao (1) EET-116; (2) EET-103; (3) EET-95. (Sitio el Limón, Bolívar, Manabí.)..... 23

Figura 4. 4. Relación del árbol de guachapele con el clon EET-116 y árbol de mango con el clon EET-95 en el cultivo de cacao de la Unidad de Investigación de cacao (*Theobroma cacao* L.). De los tres clones de cacao (1) EET-116; (2) EET-103; (3) EET-95;(Sitio el Limón, Bolívar, Manabí.)..... 25

CONTENIDO DE GRÁFICOS

Gráfico 4. 1. Cuantificación de la concentración de carbono en el suelo del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L) (a) área de muestreo bajo el árbol, (b) área de muestreo calle en cuatro profundidades (1) 0-5, (2) 5-10, (3) 10-20, (4) 20-30 cm, en tres clones de cacao 1) EET-116, 2) EET-103, y 3) EET-95. Sitio el Limón, Cantón Bolívar, Manabí. Media de n=10. *=diferencias estadísticas significativas($P<0.05$) 24

Gráfico 4. 2. Cuantificación de la acumulación de carbono en el suelo del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) (a) área de muestreo bajo el árbol, (b) área de muestreo calle en cuatro profundidades (1) 0-5; (2) 5-10;(3) 10-20; (4) 20-30 cm, tres clones de cacao 1) EET-116, 2) EET-103, y 3) EET-95. Sitio el Limón, Cantón Bolívar, Manabí. Media de n=10. *=diferencias estadísticas significativa ($P<0.05$)..... 26

Gráfico 4. 3. Concentración del carbono orgánico en el suelo de dos áreas de estudio (Bajo árbol y Calle) en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L) en tres clones EET-116; EET-103; EET-95. Sitio el Limón, Cantón Bolívar, Manabí. Media de n=120..... 27

CONTENIDO DE FÓRMULAS

Fórmula 1. Determinación de densidad aparente..... 15

Fórmula 2. Determinación de la concentración del carbono orgánico 16

Fórmula 3. Determinación de la acumulación de carbono orgánico en suelo..... 16

RESUMEN

La captura de carbono orgánico en el suelo es un proceso natural que ayuda a reducir los niveles de CO₂ en la atmósfera. Esta investigación tuvo como propósito evaluar la relación del manejo del cultivo de cacao y la captura de carbono orgánico en el suelo del valle del río Carrizal Chone. Se cuantificó la concentración y acumulación de carbono en el suelo, en tres clones de cacao 1) EET-116; 2) EET-103; EET-95 en cuatro profundidades 1) 0-5; 2) 5-10; 3) 10-20; 4) 20-30 cm. La unidad de estudio se dividió en dos áreas de muestreo: 1) bajo el árbol y 2) área de muestreo calle. Se realizaron 240 muestras (120 bajo árbol y 120 en calle), con un diseño DBCA. Se obtuvo la línea base lo cual nos permitió identificar los parámetros físicos-químicos para obtener una mejor relación entre la concentración y acumulación del carbono del cultivo de cacao. La mayor concentración de carbono en el suelo en el área de muestreo bajo árbol se reportó en la profundidad 0-5 cm, se relaciona esta respuesta a las características químicas de los residuos vegetales y actividad microbiana. De igual manera, la mayor acumulación de carbono se identificó en la profundidad de 0-5 cm. El efecto del manejo del cultivo de cacao sobre las concentraciones del C en el suelo mostró que existe 0.61% más carbono en las áreas de muestreo bajo árbol.

Palabras clave: concentración de carbono, profundidad del suelo, acumulación de carbono.

ABSTRACT

La captura de carbono orgánico en el suelo es un proceso natural que ayuda a reducir los niveles de CO₂ en la atmósfera. Esta investigación tuvo como propósito evaluar la relación del manejo del cultivo de cacao y la captura de carbono orgánico en el suelo del valle del río Carrizal Chone. Se cuantificó la concentración y acumulación de carbono en el suelo, en tres clones de cacao 1) EET-116; 2) EET-103; EET-95 en cuatro profundidades 1) 0-5; 2) 5-10; 3) 10-20; 4) 20-30 cm. La unidad de estudio se dividió en dos áreas de muestreo: 1) bajo el árbol y 2) área de muestreo calle. Se realizaron 240 muestras (120 bajo árbol y 120 en calle), con un diseño DBCA. Se obtuvo la línea base lo cual nos permitió identificar los parámetros físicos-químicos para obtener una mejor relación entre la concentración y acumulación del carbono del cultivo de cacao. La mayor concentración de carbono en el suelo en el área de muestreo bajo árbol se reportó en la profundidad 0-5 cm, se relaciona esta respuesta a las características químicas de los residuos vegetales y actividad microbiana. De igual manera, la mayor acumulación de carbono se identificó en la profundidad de 0-5 cm. El efecto del manejo del cultivo de cacao sobre las concentraciones del C en el suelo mostró que existe 0.61% más carbono en las áreas de muestreo bajo árbol.

Palabras clave: concentración de carbono, profundidad del suelo, acumulación de carbono.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El calentamiento global se ve afectado por la continua liberación de los gases de efecto invernadero (GEI), principalmente compuestos dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) óxido nitroso (N_2O). Actualmente las emisiones de GEI a nivel mundial para el año 2021 en la atmósfera fueron de 54.59 billones de toneladas mientras que en Ecuador fueron de 84.27 millones de toneladas. De esta manera las emisiones de GEI a nivel mundial fueron medidas en billones de toneladas por contaminante de los cuales el 75.32% CO_2 , 19.25% CH_4 , 5.44% N_2O . En Ecuador para el mismo año las emisiones de gases de efecto invernadero fueron medidas en millones de toneladas de las cuales el 64.10% CO_2 , 30.13% CH_4 , 5.77% N_2O . Estas emisiones de los gases del efecto invernadero fueron medidas por sectores, el sector agrícola en el 2020 a nivel mundial generó 5.87 billones de toneladas, mientras que para Ecuador fue de 13 millones de tonelada (Hannah *et al.*, 2020).

Una de las principales causas de liberación de CO_2 es la evapotranspiración de los animales y de las plantas que liberan CO_2 al momento de respirar, así mismo como la tala de bosques. Los bosques contienen una gran cantidad de biomasa, se ha reportado hasta 500 t ha^{-1} de materia seca, que equivale a 250 t C ha^{-1} (Blair, 2022). Así mismo, la agricultura intensiva es una de las actividades que contribuye a la liberación de GEI, los gases que se involucran en la agricultura intensiva son CO_2 , CH_4 y el N_2O la presencia de estos gases está relacionado al uso masivo de fertilizantes nitrogenados en la agricultura (Fundación AQUAE, 2022). El 18.4% de los gases liberados afecta directa o indirectamente el ecosistema, i.e. reduce la biodiversidad de los suelos, empobrece el funcionamiento ecosistémico, baja la productividad, e incrementa la resistencia de plagas, degradación del suelo, contaminación del agua, y además contribuye al cambio climático (Cherlinka Vasyl, 2021).

Los fertilizantes nitrogenados liberan alrededor de 2 t GEI, los plaguicidas liberan 1.8 millones de t GEI, de las cuales 14 t ha^{-1} son de CH_4 derivados de desechos de animales; para mitigar los niveles de contaminación existen prácticas como la no

utilización de labranza, reutilización de subproducto, desperdicios de cosechas. Entre estas prácticas la que ha dado resultados positivos es la captura de C que consiste en la remoción del C que se encuentra presente en la atmósfera (Pérez *et al.*, 2021). La manera en la que la naturaleza captura C es mediante el proceso de fotosíntesis, por el cual las plantas con clorofila (pigmento de color verde que se halla presente en las hojas y tallos), producen oxígeno y glucosa a partir del agua, sales minerales y CO₂ mediante la acción de la energía solar. Para que se lleve a cabo este proceso se necesitan los elementos del sol, CO₂ que entra por las estomas de las hojas y son absorbidas por las raíces (Ocampo,2014). De esta manera el C atmosférico es absorbido en forma de CO₂ y se utiliza de forma esencial en las plantas, el cual eventualmente formará parte de la biomasa vegetal i.e. hojas, ramas, raíz, cuando ocurre la senescencia de los órganos de plantas o árboles la biomasa vegetal almacena el C en el suelo por largos período de tiempo, en forma de materia orgánica (Pérez *et al.*, 2021).

Ecuador cuenta con una gran variedad de especies leñosas, café (*Coffea arabica*), Caucho (*Castilloa elástica*), Guaba (*Inga edulis*), Guanábana (*Annona muricata*), Guachapele (*Albizia guachapele*) que tienen la capacidad de capturar biomasa de C. e.g. se ha reportado que la especie Guaba (*Inga edulis*) puede capturar hasta 3.70 t C ha⁻¹. De esta manera, en los sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.), la captura de C es significativo cuando se planta a altas densidades (4m x 4m) (Goñas *et al.*, 2022). Así mismo, se ha reportado que la edad de los árboles influye en la captura de C, los árboles de cacao de 10-15 años almacenan de 690 a 970 t C ha⁻¹, mientras que los árboles de sombra de 20 a 25 años almacenan de 2,623 a 4,160 t C ha⁻¹ (Salvador *et al.*, 2019).

La exportación en el mercado mundial del cacao estimó un crecimiento anual de alrededor de 4.5%, en el 2022 se llegó a USD 21.1 billones (Ministerio de producción, Comercio Exterior Inversiones, 2022). Ecuador es el tercer mayor exportador de cacao orgánico del mundo en donde, la superficie de siembra se ha incrementado en los últimos 10 años, de 508,835 a 591,557 ha⁻¹ (Instituto Nacional de Estadística y Censos ,2022). Las principales provincias donde se cultiva el cacao son Guayas, Los Ríos, Manabí, Esmeraldas, El Oro y Santa Elena.

La provincia de Manabí se sitúa en el tercer lugar, la superficie de siembra en los últimos 10 años se incrementó de 97,799 a 122,664 ha sembradas (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2022). En la provincia de Manabí se proyecta que continúe incrementando la producción de cacao. De modo que, las plantaciones de cacao de 15,20 y 30 años registran altos promedios de biomasa $t\ ha^{-1}$ presente en tres componentes de 1) raíz, 2) hojarascas y 3) humus de los sistemas agroforestales. Es importante mencionar que en el Ecuador existe el programa Ecuador C Cero que tiene como objetivo promover e incentivar la implementación de medidas y acciones para la cuantificación, reducción y neutralización de las emisiones de GEI, producidas por sus diferentes procesos y actividades, por parte del sector productivo y servicios del país (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2021).

Lo cual lleva a realizar la siguiente interrogante ¿El manejo en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) impacta positivamente la captura en el suelo?

1.2. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo con la investigación de Reyna *et al.*, (2018) realizada en el Valle del Río Carrizal Chone, se identificó el uso del suelo y la proporción de C orgánico. Así mismo, los autores reportaron que no existieron diferencias significativas ($p>0.05$) entre los usos del suelo. Los suelos con cobertura vegetal tienden a capturar más C a diferencia de los suelos sin cobertura vegetal, de esta manera se obtuvo tendencias en materia orgánica, sin embargo, no se logró identificar la influencia de los diferentes tipos de manejo de los cultivos en la captura de C.

Los estudios hasta la actualidad sobre la captura de C en la cuenca del río Carrizal Chone se han llevado a cabo principalmente con la finalidad de implementar tecnologías adecuadas en países productores de cacao y de esta manera poder comparar los valores de la captura de C acumulado por ha. Sin embargo, en la literatura no se ha reportado el efecto del manejo del cultivo sobre la captura de C, y el impacto sobre las propiedades del suelo.

Esta investigación se alinea al objetivo número 13, "Acción por el clima" al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible planteados en la agenda 2030

de la Organización de las Naciones Unidas, el cual tiene la finalidad de adaptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la influencia del manejo del cultivo de cacao en la captura de carbono orgánico en el suelo del valle del río Carrizal Chone.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar los parámetros físico-químicos del suelo, para obtener una línea base.
- Cuantificar la concentración y acumulación de carbono orgánico, en diferentes profundidades del suelo.
- Analizar el efecto del manejo del cultivo de cacao, sobre las concentraciones del carbono orgánico en suelo.

1.4. HIPÓTESIS

El manejo del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) afecta la captura del carbono en el suelo.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático generalmente se define como una variación significativa de las condiciones climáticas, como el estado húmedo o seco. El cambio climático proporciona innumerables formas de emisiones de GEI que se originan en diversas actividades producidas por el humano, principalmente derivadas de la quema de combustibles fósiles (Denchak y Turrentine, 2021).

La agricultura, la silvicultura y el uso de la tierra representan directamente el 18.4% de las emisiones de GEI. Los pastizales (0.1%), tierras de cultivo (1.4%), deforestación (2.2%), quema de cultivos (3.5%), cultivo de arroz (1.3%), suelos agrícolas (4.1%), ganado y estiércol (58%) (Hannah *et al.*, 2020). La agricultura y la ganadería son uno de los sectores más afectados por el cambio climático, la agricultura se ve afectada en un 19.1% en la reducción de su productividad, en el incremento de las pérdidas de cosecha y la degradación de recursos naturales, provocando escasez de alimentos en toda la región. Además, la ganadería se ve afectada negativamente en un 16.5% de las emisiones globales de los GEI por la reducción de pasto y la disminución en su productividad y calidad de la carne y leche (Lefèvre *et al.*, 2017).

La agricultura tiene impactos diversos, que están relacionados con los niveles de C en la atmósfera, que pueden clasificarse como directos, indirectos y socioeconómicos. Se considera a los impactos directos a la deforestación para establecer nuevos cultivos; mientras que los impactos indirectos e.g. los árboles de cacao envejecen y su productividad desciende y se hacen más vulnerables a enfermedades, que pueden generarse por factores como temperatura, precipitaciones, emisiones de CO₂. Los impactos socioeconómicos son los que se encuentran relacionados con los impactos anteriores, lo cual incluyen escasez en la oferta de alimentos, incremento de enfermedades agrícolas, de esta manera se ve afectada la económica en los precios de los productos, y en algunos casos el uso y el valor del suelo (Forero *et al.* 2017).

2.1.1. ¿CÓMO EL CAMBIO CLIMÁTICO AFECTA A LA AGRÍCULTURA?

La producción agrícola mundial se ve afectada por el cambio climático. Desde el crecimiento y rendimiento de los cultivos, la seguridad alimentaria está siendo desafiada por varios factores, como las sequías, altas temperaturas, e inundaciones, Por lo tanto, el rendimiento de los cultivos puede variar hasta en un 25% de un año a otro, la producción mundial en su conjunto fluctúa menos del 3% cada año (Wilks, 2022).

2.1.2. IMPACTOS AMBIENTALES NEGATIVOS QUE AFECTAN AL CARBONO EN EL SUELO

La captura de C en el suelo, es la eliminación del C de la atmósfera mediante la fotosíntesis de las plantas, y su almacenamiento como formas de materia orgánica estables y de larga vida en el suelo, de esta manera la acumulación de carbono orgánico significa mejorar las propiedades de los suelos y su capacidad para poder producir biomasa y disminuir la contaminación en la atmósfera y la hidrósfera compuestos de C (Pérez *et al.*, 2021).

Según la Agencia Europea del Medio Ambiente (2020). Indica que el cambio climático afecta al suelo y al cambio del ciclo del C de manera perjudicial, presentándose grandes impactos que se llega a ser visibles. El impacto que tiene la erosión, se da por los acelerados acontecimientos del clima que muchas veces pueden llegar a ser extremos, como el exceso de lluvia, las sequías, el intenso calor y tormentas.

Es visible que el suelo es un gran reservorio de C en la naturaleza, mediante el ingreso del C de manera vegetal, y animal mediante el CO₂ liberado durante la respiración microbiana. Los cambios que generan los patrones regionales de temperatura, como la precipitación y otros eventos extremos por lo que se considera al cambio climático como un elemento perjudicial, sin embargo, la proporción de dicho C llega al suelo y se estabiliza por periodos tan amplios (Burbano, 2018).

Otro de los impactos que se presenta en el ambiente son los plaguicidas ya que estos presentan una alta resistencia a la degradación del suelo, por lo que las propiedades permanecen activas por mucho tiempo. El uso inadecuado, puede causar daños a

otras especies vegetales, además pueden contaminar los suelos de los cultivos de forma directa, al aplicarse sobre el suelo, y de forma indirecta, a la planta por medio de la lluvia o el riego con aguas contaminadas (Acosta, 2022).

2.1.3. PARÁMETROS FÍSICOS QUÍMICOS DEL SUELO

Los parámetros físicos-químicos del suelo es una parte fundamental en la valoración de la calidad del suelo en las propiedades físicas tenemos a la textura, estructura, color, Densidad, consistencia y en las propiedades químicas la Capacidad de intercambio catiónico, pH.

La textura: es una de las principales propiedades físicas que está determinada por el tamaño de las partículas que conforman el suelo y la proporción en que se distribuyen, y se dividen en arena, limo, arcilla, la estructura: Es una de la partícula del suelo que se unen con diferentes formas geométricas, así tenemos de manera columnar, sub-angular, angular, prismática, laminar, el color: depende de la composición de la parte mineral y del contenido de materia orgánica presente en el suelo el color también depende de la composición de los horizontes, la densidad: es la relación entre la masa del material sólido seco y el volumen real ocupado por las partículas es la separación estructural del contenido de partículas y su consistencia de suelto, friable, compacto. Entre los parámetros químicos tenemos a la capacidad de intercambio catiónico: que es la cantidad de cargas negativas presentes en la superficie de los minerales y componentes orgánicos que representa la cantidad que la superficie que puede retener, el pH del suelo: indica si el suelo es ácido o alcalino está determinado por el grado de absorción de iones (Altamirano, 2019).

2.1.4. RELACIÓN MATERIA ORGÁNICA - CARBONO

La materia orgánica en el suelo (MOS) juegan un papel relevante la mayor parte de la materia orgánica se encuentra en la superficie del suelo, las partes aéreas de las plantas (hojas) que no se podan quedan en la superficie del suelo formando materia orgánica, para luego ser absorbida por las raíces, en el suelo se encuentran (lombrices, insectos) que incorporan los residuos más profundamente en el suelo por lo que la mayor concentración de MOS se da en los primeros perfiles del suelo. La materia orgánica

incluye vegetales y animales en varios estados de descomposición. Los animales muertos y los restos vegetales comienzan a descomponerse tan pronto caen al suelo y son adicionados. Los microorganismos consumen los restos de animales y vegetales, luego mueren y pasan a formar parte de la MOS. Una parte de la materia orgánica se descompone más rápidamente que otras, el producto final de la descomposición es el humus; materia orgánica negra o marrón oscuro (Docampo, 2014).

La manera de obtener mayor contenido de C en el suelo depende de las características de la entrada de la materia orgánica mediante los restos de (animales, vegetales, raíces) y la tasa de salida CO_2 desprendido por el metabolismo microbiano). De esta manera afectan la cantidad de C en el suelo total en un perfil, así como su distribución en sus profundidades. Algunos de estos factores están determinados por el clima, material que cae al suelo. La cantidad total de C depende de los factores tales como el contenido de arcilla, la profundidad y densidad del suelo y la vegetación. El contenido de C en gran medida está determinado por el tipo de material que compone la entrada del C al suelo, no toda la materia orgánica que ingresa es igual y por lo tanto varían los niveles de descomposición. e.g. los residuos de frutas, verduras y restos vegetales frescos se degradan fácilmente pues contienen mayor cantidad de carbohidratos. Por el contrario, las hojas secas, tallos, cortezas y ramas que se descomponen lentamente es debido a que contienen altas proporciones de lignina, celulosa y hemicelulosa (Docampo, 2014). Las principales características que se dan al disminuir el contenido de C en el suelo se deben a: la erosión hídrica, eólica, exceso de labranza del suelo, deforestación, quema de rastrojos, fertilización inadecuada, y sobrepastoreo (Méjia, 2023).

El C en el suelo es el principal elemento de la materia orgánica, considerando que contiene 58% de C por el CO_2 que se libera en la atmósfera, durante la oxidación de residuos orgánicos en el suelo, por la fauna y las raíces subterráneas. La respiración del suelo representa el segundo mayor flujo de C terrestre, porque está regulada por factores ambientales como la temperatura, la humedad, el contenido de nutrientes del suelo y el contenido de oxígeno (Lefèvre *et al.*, 2017).

De esta manera la concentración de C en el suelo se refiere a la cantidad de C presente en una unidad de volumen o peso de suelo la cual se mide en términos de masa de C por unidad de área la unidad de medida es en % (Castillo *et al.*, 2016). Por lo tanto, la acumulación de C en el suelo se entiende como el proceso de aumentar la cantidad total de C almacenado en un área de suelo específica a lo largo del tiempo, unidad de medida kg m^2 (Bernardus *et al.*, 2014).

2.2. MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LA CAPTURA DE CARBONO EN EL SUELO

2.2.1. MÉTODO DE WALKLEY Y BLACK

El método de Walkley y Black es utilizado en los laboratorios de suelos. Este método implica la oxidación del C presente en la muestra CO_2 mediante un agente oxidante fuerte, generalmente un reactivo de dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) en un medio ácido (Ruíz, 2017). Es empleado en estudios de la agricultura para determinar el contenido de C en el suelo, lo cual brinda información sobre la cantidad de la materia orgánica en el suelo, debido a sus métodos de simplicidad y rapidez, esto se debe a que en el procedimiento del análisis no intervienen equipos complejos o reactivos costosos. Además, puede adaptarse para la manipulación de gran número de muestras (Guamán, 2018).

2.2.2. MÉTODO DE CALCINACIÓN

El método de calcinación o muflación determina directamente el contenido de materia orgánica y se basa en la determinación de la pérdida de masa de la muestra de suelo, cuando se expone a altas temperaturas entre 300 y 1100°C los métodos de calcinación a alta temperatura i.e. compuestos orgánicos volátiles como la arcilla y el agua. La función del método de calcinación es la; preparación de la muestra, calcinar la muestra, pesado antes y después de la calcinación, cálculo del contenido de la materia orgánica (Guamán, 2018).

2.2.3. IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE CACAO

El cacao es una especie que pertenece al género *Theobroma*, es originaria de Sudamérica y domesticada en Mesoamérica. Se cultiva en regiones cálidas y húmedas en cuatro continentes (África, América, Asia y Oceanía) en más de 50 países, y en cuatro continentes. Además 23 países pertenecen al continente americano, por lo que el cacao tiene una gran importancia económica, social, ambiental y sobre todo cultural en sus zonas de producción (Arvelo *et al.*, 2017).

El cultivo de cacao tiene un impacto significativo en los principales países productores en exportación Costa de Marfil 43%, Ghana 16%, Ecuador 7%, Camerún 6% estos representan el ingreso económico de 150,000 agricultores y generan aproximadamente 1,500,000 empleos directos en las etapas de producción, procesamiento y comercialización (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2021). En Ecuador el cacao se cultiva principalmente en las regiones costeras y la Amazonía, y en menores cantidades en la cordillera de los Andes, por lo que llega a convertirse en un cultivo representativo de gran importancia para las diferentes zonas agroecológicas de adaptación (Paredes *et al.*, 2022).

De acuerdo con la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos en el 2022 la superficie plantada de cacao a nivel nacional fue de 591,557 ha⁻¹, mientras que la superficie cosechada fue de 509,179 ha⁻¹, y la producción de cacao total es de 337,149 t ha⁻¹ y su rendimiento fue de 0.48 t ha⁻¹ (Instituto Nacional de Estadísticas Censos, 2022).

Para alcanzar una producción óptima el cacao requiere de unas buenas prácticas de manejo del cacao (*Theobroma cacao* L.), en este sentido es importante tener en consideración un buen manejo de suelos, e.g. para conservar la materia orgánica es recomendable la aplicación de fertilizantes orgánicos (estiércol), asimismo, se debe realizar prácticas que minimicen las pérdidas de los nutrientes en el suelo. Por otro lado, es recomendable utilizar densidades óptimas de siembra, comúnmente el cacao se siembra a 3x3 m entre plantas e hileras.

El riego por aspersión es el más común debido a que minimizan el desperdicio de agua. Finalmente, las labores culturales más importantes son el control de la maleza

y las podas que se las realiza para dar formación al árbol para permitir que la luz llegue de forma homogénea, de igual manera se estimula la floración, el material de residuos de esta práctica contribuye a la concentración y acumulación de material vegetal sobre el suelo (Commerce, 2023).

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN

La investigación se desarrolló en la Unidad de Investigación de Cacao y en el laboratorio de Agua, Suelo y Planta de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López" (ESPAM MFL) ubicada en el sitio Limón perteneciente al cantón Bolívar ($0^{\circ} 49' 23''$ S; $80^{\circ} 11' 01''$ O; 15 msnm) **Tabla 3.1.** (Estación meteorológica de la ESPAM-MFL, 2022¹) (**Figura 2.1**).

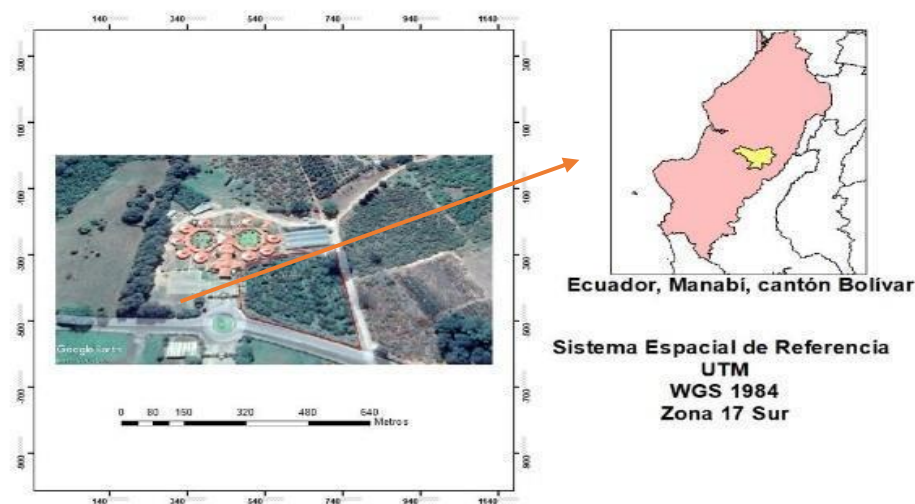


Figura 3. 1. Unidad de Investigación de Cacao (Sitio el Limón, Cantón Bolívar, Manabí) de la ESPAM MFL.

Tabla 3. 1. Promedio anual 2021 de las características climáticas en la Unidad de Investigación de Cacao (El Limón, Bolívar, Manabí)

Precipitación anual	946 mm
Temperatura máxima	30.7 °C
Temperatura mínima	18.4 °C
Humedad relativa	82.50%
Heliofanía	1008,8 h sol ⁻¹ año ¹

Fuente. Estación meteorológica de la ESPAM MFL (2022).

3.2. DURACIÓN

La investigación tuvo una duración de seis meses.

3.3. ÁREA DE ESTUDIO

El cultivo de cacao fue sembrado en el mes de marzo de 1990 con los siguientes clones de cacao EET-116, EET-103, EET-95. El área sembrada fue de 0.84 ha a una distancia 4x4 m entre plantas y entre callejones con un total de 205 plantas. En el área de estudio existe un árbol de guachapele (*Albizia guachapele*) y un árbol de mango (*Mangifera indica*).

Las principales prácticas que se realizaron fueron el control de malezas que se realiza de forma mecánica con la guadaña cada 8 y 15 días. Por otro lado, el control fitosanitario se lo realizó mediante podas, lo cual consiste en la eliminación de frutos enfermos, brotes de los chupones y ramas, de igual manera se realizan dos podas al (1) inicio de época lluviosa (diciembre) y (2) al final de época lluviosa (abril).

La fertilización edáfica consiste en una fertilización NPK que es una mezcla de tres nutrientes esenciales para las plantas, el N, P y potasio (K). El fertilizante YaraMila Complex es una combinación de N (nitrógeno y amoniacal), P, K, azufre, magnesio y microelementos como (boro, hierro, manganeso (Mn) y zinc (Zn)), se basa en la aplicación del fertilizante de manera radicular (directa en la base de la planta) las aplicaciones se las da a inicio de época lluviosa (diciembre) y al final la época lluviosa (abril).

El riego se realizó mediante el método de aspersión, con una frecuencia de dos veces por semana, dos horas y una lámina de riego de 17.6 mm. En los meses de enero, febrero y marzo no se regó debido a que la precipitación de estos meses cumplió con las necesidades hídricas del cultivo.

El manejo de la cosecha se realizó de manera manual, la cáscara de la mazorca se las dejó en el mismo cultivo o se las donó al ganado y los residuos de las podas se las repicó. La cobertura de los restos vegetales (la cáscara de la mazorca y hojas) fue de 0.48 m en el área de las calles, mientras que los residuos de hojarascas en el área bajo el árbol son de 0.20 m.

3.4. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se realizó en dos fases:

- La primera fase fue no experimental, es decir que se basó sin manipular las variables, en ella se describió las características físicas y químicas del suelo en estudio.
- La segunda fase fue experimental, se denominó "fase de laboratorio" donde se extrajeron los datos y comparación de las muestras de suelo.

3.5. MANEJO DE LA INVESTIGACIÓN

En la primera fase se utilizó el suelo para la elaboración de una calicata general en toda el área de muestreo de 2 m x 1 m y 1.50 cm para la caracterización de los parámetros físicos y químicos en una parcela de cacao con tres clones EET-116, EET-103, EET-95. La unidad de estudio se dividió en dos secciones 1) área de muestreo bajo el árbol y 2) área de muestreo calle. Se realizó 240 muestras (120 bajo árbol y 120 en calle de 0.30 x 0.30 cm) (**Figura 3.2**).

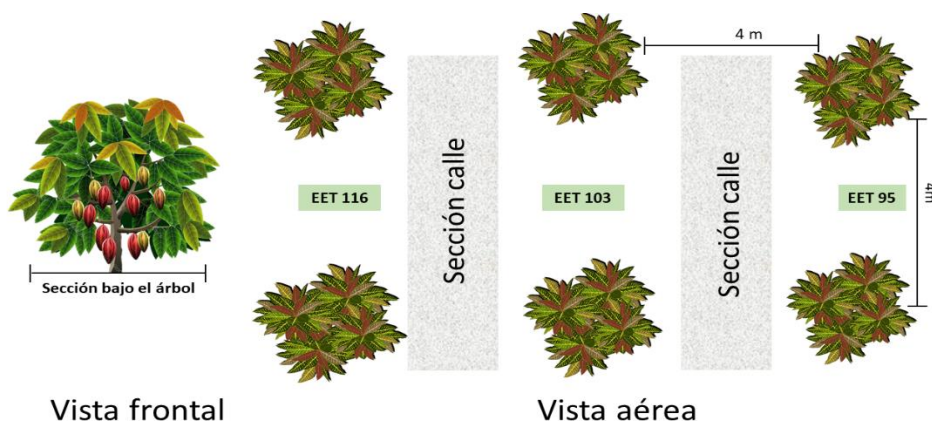


Figura 3. 2. Área de estudio de la Unidad de Investigación de cacao (*Theobroma cacao* L.). De tres clones de cacao (1) EET-116, (2) EET-103, (3) EET-95. Áreas de producción, bajo el árbol y calle, ensayo realizado de marzo a agosto 2022. (Sitio el Limón, Bolívar, Manabí.)

Así mismo, se realizó la excavación de una calicata de 2 m x 1 m y 1.50 cm de profundidad, donde se determinó los diferentes horizontes, perfiles, textura, estructura, consistencia, morfología de las raíces, presencia de lumbrídeos, pH, conductividad

(ms/cm), densidad aparente (gr cm^3), densidad real (gr cm^3), compactación del suelo, actividad biológica (**Tabla 4.1**). Por otro lado, para evaluar la acumulación de C se realizaron 240 muestras (120 bajo el árbol y 120 en las calles de 0.30×0.30 cm). De cada área de muestreo se tomó 1 kg de suelo por cada profundidad i.e. (1) 0-5; (2) 5-10; (3) 10-20; (4) 20-30 cm. Se determinó el color de los horizontes utilizando la tabla de Munsell (Munsell, 2009) y la textura por medio del método del tacto (Nadal, 1978). La estructura se definió por el manual de la ESPAM MFL (Vera *et al.*, 2017). Mientras que la consistencia se midió por las muestras húmedas (Mauritz, 1900). La morfología de las raíces se determinó de manera visual, la presencia de lumbrícosos se estableció por medio de la observación de los perfiles (Ibañez, 2006), y el pH se identificó por el conductímetro (OAKLON modelo 700, USA, Vernon Hills). La conductividad (ms/cm) se obtuvo por medio de muestras cilíndricas, determinación de la densidad del suelo por el método de los cilindros en el campo. La determinación de la humedad del suelo se realizará con la ayuda de la balanza de infrarrojos (Universidad Nacional de la Plata, 2019). Para la determinación de la densidad aparente se utilizó la **Fórmula 1**:

$$Da = \frac{\text{Peso de la muestra}}{\text{Volumen del cilindro}} \left(\frac{g}{\text{cm}^3} \right) \quad [1]$$

En la segunda fase se determinó la concentración de C la cual se realizó por el método de Walkley & Black (Walkley, 1947). Se pesó 1.0 gr de suelo seco al aire en un Erlenmeyer de 500 ml, luego se adicionó 10 ml de dicromato de potasio 0.167 M y se movió por un minuto para dispersar el suelo en la solución. Posteriormente se añadió 20 ml de ácido sulfúrico concentrado y se dejó reposar por 30 minutos, luego se añadió 200 ml de agua destilada, se adicionó tres a cuatro gotas de indicador ortofenantrolina, se tituló con sulfato de hierro 0.5 M hasta observar el cambio de color de verde a rojo marrón. Se realizó de acuerdo a la metodología descrita por Nilo (2019). Para la determinación de la concentración del carbono orgánico se utilizó la **Fórmula 2**:

$$C_{\text{orgánico}}, \% = \frac{(V_{\text{blanco}} - V_{\text{muestra}} \times M_{\text{Fe}^{2+}} \times 0.003 \times 100 \times f \times mcf)}{W} \quad [2]$$

DONDE:

V_{blanco}: Volumen de titulante utilizado en el blanco, ml

V_{muestra}: Volumen de titulante utilizado en la muestra, ml

M_{Fe²⁺}: Concentración de solución estandarizada de FeSO₄, molaridad

0,003: Carbono oxidado

f: Factor de corrección, 1.3

mcf: Factor de corrección por la humedad

W: Peso de suelo, gr

Para obtener la acumulación del carbono orgánico por cada profundidad se aplicó la siguiente fórmula (Mehler *et al.*, 2014). Para la determinación de la acumulación de carbono orgánico en suelo se utilizó la **Fórmula 3**:

$$SOC (Kg m^2) = OC \times BD \times LT \times 10^{-2} \quad [3]$$

DONDE:

SOC: Concentración de carbono orgánico de la fracción fina del suelo <2 mm g kg.

BD: es la densidad aparente del suelo de la fracción fina

LT: es el espesor de la capa del suelo cm

3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

El análisis de datos se realizó por medio de ANOVA donde se determinó las diferencias estadísticas entre los factores de estudio, adicionalmente se realizó el procedimiento de separación de medias Tukey $p < 0.05$ para separar las medias de los factores de estudio.

Se utilizó un diseño DBCA con dos factores, el factor A (superficie de cobertura vegetal/residuos) con dos áreas (bajo el árbol y en las calles) y el factor B que corresponde a cuatro profundidades (1) 0-5; (2) 5-10; (3) 10-20; (4) 20-30 cm. Las

variables respuestas analizadas fueron acumulación y concentración de C en el suelo (**Tabla 3.2**). Los análisis estadísticos se realizaron con el software InfoStat versión 2018 (Balzarini *et al.*, 2008).

Tabla 3. 2. Esquema de ANOVA

Fuentes de variación	Grado de libertad
Total	239
Tratamientos	7
A. Muestreo (bajo el árbol y calle)	1
B. Profundidad (4)	3
axb	3
Repeticiones	29
Error experimental	196

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caracterización de las propiedades físicas y químicas de una calicata general de 2 m x 1 m y 1.50 cm en la parcela de estudio de tres clones de cacao 1) EET-116; 2) EET-103; y 3) EET-95 (**Tabla 4.1**) muestra la línea base previo al inicio de este ensayo y, las características de los parámetros físicos y químicos del suelo, en diferentes perfiles (1.50 cm).

Tabla 4. 1. Parámetros físicos-químicos del suelo en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). Sitio el Limón, Bolívar, Manabí.

Horizontes	Perfiles (cm)	Color	Textura	Estructura	Consistencia τ	Morfología de raíces	Presencia lumbrícos ψ	de pH \underline{L}	Conductividad (ms/cm)	Densidad aparente (gr cm ³)	Densidad Real (gr cm ³)
Horizonte A	0-20	10 Yr 6-1 Café Gris	Franco	Subangular	Compacto	Raíces gruesas y finas	Notable	7.14	0.11	1.20	2.36
Horizonte B	20-45	Yr 5-6 Café amarillento	Franco	Granular	Semicompacto	Raicillas	Notable	6.97	0.07	1.11	2.39
Horizonte A2	45-61	10 Yr 6-3 Café pardo	Franco arenoso	Migajosa	Fiable	Raicillas Finas	Notable	6.88	0.06	1.15	2.44
Horizonte CS	61-70	10 Yr 6-3 Café pardo	Franco arenoso	Sin estructura	Suelto	Raicillas Finas	Sin presencia	6.94	0.05	1.13	2.92
Horizonte A3	70-80	10 Yr 5-1 Gris	Franco arenoso	Granular Migajosa	Fiable	Raicillas Finas	Notable	6.85	0.06	1.03	2.51
Horizonte CS2	80-130	10 Yr 7-6 Amarillo	Arena franca	Sin estructura	Suelto	Raicillas y raices finas	Sin presencia	7.16	0.07	1.19	2.66
Horizonte A4	130-150	10 Yr 3-2 Gris muy oscuro	Arena franca	Granular migajosa	Fiable	Raicillas	Sin presencia	7.6	0.07	1.19	2.35

\mathbf{t} = Colores determinados de acuerdo a la tabla de Munsell. **Estructura**= Definido por el manual de la ESPAM.

τ = Consistencia se mide por muestras húmedas.

Morfología de raíces= Se determina visualmente la presencia de raíz.

ψ = Presencia de lumbrícos se determina mediante la observación de los perfiles por sus lombrices.

\underline{L} = Ph identificado por el conductímetro.

Conductividad (ds m) = Se determina mediante muestras cilíndricas.

Densidad aparente (gr cm³) = Densidad del suelo por el método de los cilindros en el campo.

Densidad real (gr cm³) = En el laboratorio por el método de la probeta

4.1. CONCENTRACIÓN DE CARBONO EN DIFERENTES PROFUNDIDADES DEL SUELO.

4.1.1. Área de muestreo bajo el árbol

La concentración de C en el suelo, en el área de muestreo bajo el árbol de los clones EET-116; EET-103; EET-95. No mostraron diferencias significativas ($p=0.6001$). Sin embargo, en el área de muestreo bajo el árbol del clon EET-95, se observó la concentración más alta de C en la profundidad de 0-5 cm con una media de 6.86%. Por otro lado, el clon EET-103 en el área de muestreo bajo el árbol muestra la concentración más baja en la profundidad de 20-30 cm, con una media de 0.79% (**Gráfico (a). 4.1**). Información similar se ha encontrado en Ghana, por Tennyson *et al.*, (2020), en un cultivo de cacao donde se tomaron muestras en las profundidades de (1) 0-20; (2) 20-40 y (3) 40-60 cm, los resultados mostraron que la concentración de C disminuyó a mayor profundidad del suelo. En las áreas de muestreo bajo el árbol la concentración en las primeras profundidades de 0-20 cm estuvo el rango de 3.00 a 6.10% estos valores tienen similitud con nuestros resultados, por lo tanto, se asume que la concentración de C en el suelo está relacionada con el área de muestreo y la profundidad. (Villaseñor *et al.*, 2020).

Se evidenció en el presente estudio que los árboles que se encuentran en el área de muestreo bajo el árbol concentran C con un 4.5% en comparación con el área de muestreo en la calle 3.5%. La diferencia de concentración de C entre las dos áreas de muestreo podría radicar en la presencia de los árboles los cuales capturan C en su biomasa. Poveda, (2013) reportó en un estudio que en los sistemas agroforestales de cacao que los principales depósitos de C se distribuyeron en 52.61% del C en el suelo, 35.86% en plantas de cacao y árboles forestales de sombra, 7.52% las raíces gruesas, 4.15% las raíces finas, y 0.32% la necromasa (**figura 4.2**).

Por otro lado, es importante destacar que la mayor concentración de C en los primeros cm de profundidad del suelo se atribuye a diversos factores como la descomposición de material orgánico, hojas caídas, ramas y raíces, los cuales influyen en la distribución

y almacenamiento de materia orgánica, en la primera capa (Ibrahim *et al.*, 2013). En la capa superficial se concentran los residuos vegetales principalmente hojarasca (**figura 4.1**), en árboles de 20 años concentran 20-30% (Félix *et al.*, 2016) este material se descompone a través de un proceso biótico, la velocidad de descomposición depende de varios factores, como las condiciones climáticas, la composición química de los materiales que lo componen sus estructuras como almidones, celulosa, hemicelulosa y proteínas sencillas que son degradados por microorganismos.



Figura 4. 1. Residuos vegetales de hojarasca de la poda de cacao de la Unidad de Investigación de cacao (*Theobroma cacao* L.). De los tres clones de cacao (1) EET-116; (2) EET-103; (3) ETT-95. (Sitio el Limón, Bolívar, Manabí.)



Figura 4. 2. Presencia de (A) necromasa y (B) raíces gruesas y (C) finas a los 30 cm en el área de muestreo bajo el árbol en el cultivo de cacao de la Unidad de Investigación de cacao (*Theobroma cacao* L.). De los tres clones de cacao (1) EET-116; (2) EET-103; (3) ETT-95. (Sitio el Limón, Bolívar, Manabí.)

4.1.2. Área de muestreo calle.

La concentración de C en el área de muestreo de las calles en el cultivo de cacao que tuvieron los tres clones x profundidad mostró que el clon EET-103 alcanzó la media más alta de 3.47% en la profundidad de 0-5 cm a diferencia, del clon EET-95 que mostró la menor concentración en la profundidad de 20-30 cm, con una media de 0.72% (**Gráfico (b). 4.1**). Resultados similares se han reportado en la provincia de El Oro, en el área de muestreo de la calle mostró el mayor registro de C almacenado en el perfil de 0-15 cm con 3.77%, seguido de la profundidad de 30-40 cm con 1.98% (Sanmarthin *et al.*, 2017).

Se ha evidenciado que la mayor concentración de C en las primeras profundidades de 0-5 cm, esta alta concentración se las relaciona a los residuos de las podas que son depositados en las calles (**figura 4.3**). La biomasa de residuos es mayor que en el área de muestreo bajo el árbol debido a que los restos de materiales vegetales poseen características bioquímicas complejas de descomponer (e.g. lignina 33.90%), su degradación se puede dar en períodos extensos de tiempo (>1 año) (Burbano, 2016).



Figura 4. 3. Residuos de las hojarasca que son depositados en las calles en el cultivo de cacao de la Unidad de Investigación de cacao (*Theobroma cacao* L.). De los tres clones de cacao (1) EET-116; (2) EET-103; (3) ETT-95. (Sitio el Limón, Bolívar, Manabí.).

Se conoce que existe una relación directa entre la concentración de C en el suelo y el rendimiento del cultivo de cacao, debido a que es un componente esencial de la materia orgánica e influye en la fertilidad, la estructura, la capacidad de retención de agua y la actividad biológica del suelo (Robert, 2002). A pesar de que nuestro estudio no evaluó el rendimiento del cultivo se ha reportado que los tres clones tienen un rendimiento similar en términos de producción de frutos, hojas y contenido de materia orgánica en el suelo (Ramos *et al.*, 2023), en este sentido consideramos importante indicar que en este estudio el rendimiento del cultivo podría no tener influencia sobre la concentración de C.

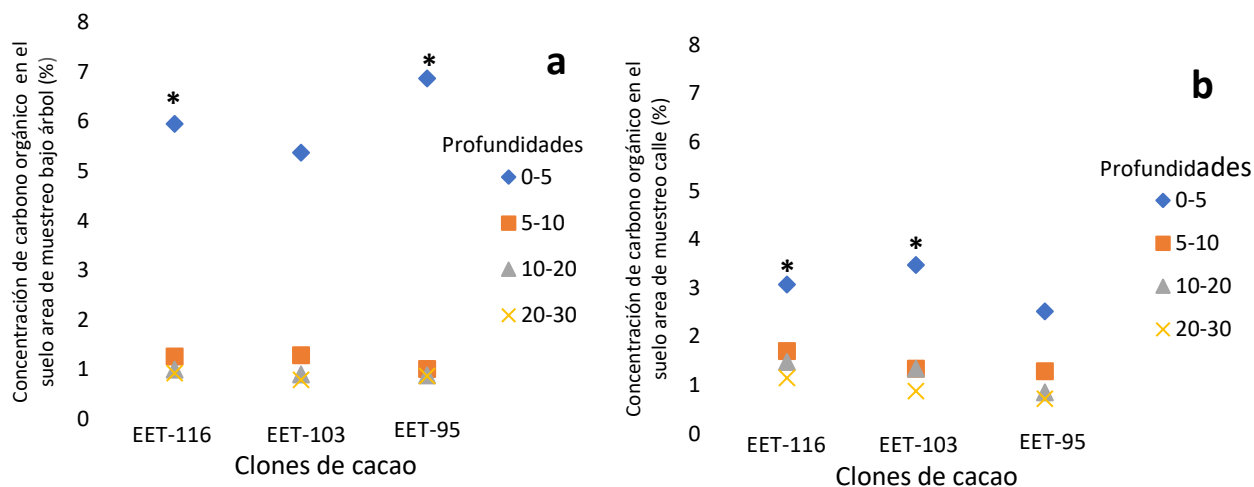


Gráfico 4. 1. Cuantificación de la concentración de carbono en el suelo del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L) (a) área de muestreo bajo el árbol, (b) área de muestreo calle en cuatro profundidades (1) 0-5, (2) 5-10, (3) 10-20, (4) 20-30 cm, en tres clones de cacao 1) EET-116, 2) EET-103, y 3) EET-95. Sitio el Limón, Cantón Bolívar, Manabí. Media de n=10. *=diferencias estadísticas significativas(P<0.05)

4.2. ACUMULACIÓN DE CARBONO EN DIFERENTES PROFUNDIDADES DEL SUELO.

4.2.1. Área de muestreo bajo el árbol

La acumulación de C presentó que no existe diferencias significativas ($p=0.7736$) en el área de muestreo bajo el árbol x clones EET-95; EET-103; EET-116 x profundidad. Sin embargo, si demostró diferencias numéricas, la media más alta se registró en la profundidad de 0-5 cm en el clon EET-95 con 3.77 kg m^2 , mientras que en el mismo clon se mostró la menor acumulación de 0.55 kg m^2 en la profundidad de 5-10 cm (**Gráfico (a). 4.2**). Previamente, Umrani y Acquaye (2010), reportaron que en el cultivo de cacao de 30 años la acumulación de COS en el área de muestreo bajo el árbol varió significativamente en la profundidad de 0-10 cm con la media más alta de 9.8 kg m^2 , mientras que la media más baja fue en la profundidad de 20-40 cm con 0.50 kg m^2 . Esta acumulación puede estar relacionada a la actividad biológica que se lleva a cabo a través de la descomposición de la materia orgánica. Los microorganismos saprofitos como bacterias y hongos se encuentran principalmente entre 0-30 cm de profundidad del suelo, y su rol es descomponer las hojas caídas, residuos vegetales y raíces

muertas (Cruz, 2019). Los microorganismos del suelo pueden llegar a acumular 2.40 kg m² de C en los cultivos de cacao (Curtis 2018).

En este sistema los niveles de acumulación de C en el suelo están íntimamente relacionados con el contenido de C en las raíces de árboles de cacao que puede llegar a 2-3.5 kg m² (Paredes et al., 2022). Las raíces actúan como reservorios de C, ya que almacenan materia orgánica que eventualmente se descompone, liberando C al suelo. Por otro lado, las raicillas finas, al estar más cerca de la superficie 15-30 cm se descomponen de manera más rápida. Adicionalmente, la contribución de acumulación de C en capas más superficiales del suelo se relaciona con la edad del cultivo, condiciones climáticas (precipitación, humedad relativa y radiación solar), y pH del suelo. Finalmente, la relación entre el clon EET-95 y el árbol de mango, (**figura 4.4**) también contribuye a la acumulación de C mediante la fotosíntesis y la presencia de residuos vegetales generados por ambas especies (Cerón *et al.*, 2020).

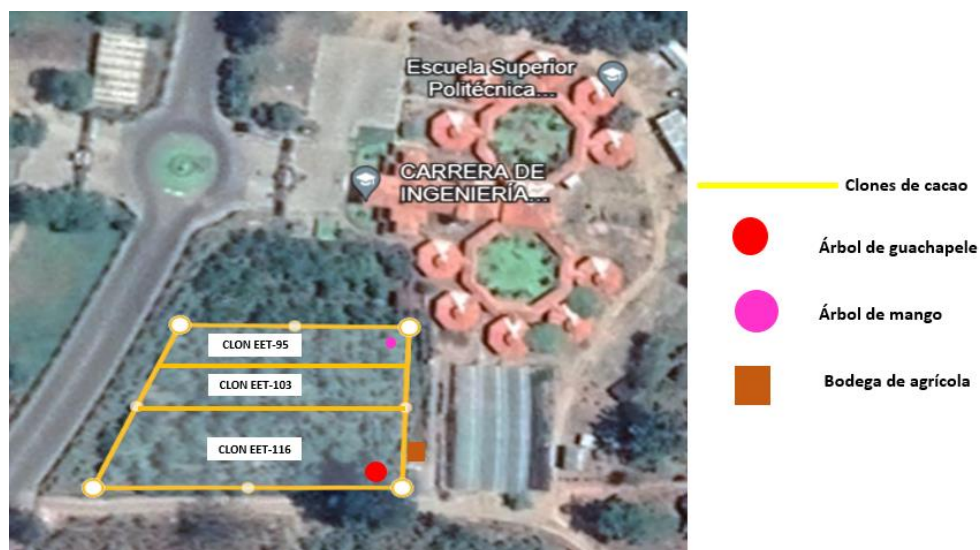


Figura 4. 4. Relación del árbol de guachapele con el clon EET-116 y árbol de mango con el clon EET-95 en el cultivo de cacao de la Unidad de Investigación de cacao (*Theobroma cacao* L.). De los tres clones de cacao (1) EET-116; (2) EET-103; (3) EET-95; (Sitio el Limón, Bolívar, Manabí.)

4.2.2. Área de muestreo calle.

En el área de muestreo de las calles se observó que, entre todos los clones, el clon EET-103 mostró la mayor acumulación de C, con una media de 1.92 kg m² en la profundidad de 0-5 cm, mientras que se encontró la acumulación más baja en el clon

EET-95 a una profundidad de 5-10 cm, con una media de 0.73 kg m^{-2} (**Gráfico (b). 4.2**). Valores similares se han reportado por Sanmartín y Barrezueta (2017), en la provincia de El Oro, Ecuador, en las primeras profundidades del suelo de 0-10 cm con una media de 1.81 kg m^{-2} , se observó una disminución de la acumulación en los tratamientos de calle en las profundidades de 20-40 cm, con una media de 0.47 kg m^{-2} . Suponemos que la baja acumulación de C a la profundidad de 5-10 cm está relacionada al proceso de escorrentía subsuperficial que puede acontecer en el cultivo de cacao (Vidal, 2003). En estudios previos se ha encontrado que los niveles bajos de acumulación de C se presentan en época lluviosa ya que se intensifica la erosión del suelo y hacen que se degraden los recursos edáficos (Burbano,2016).

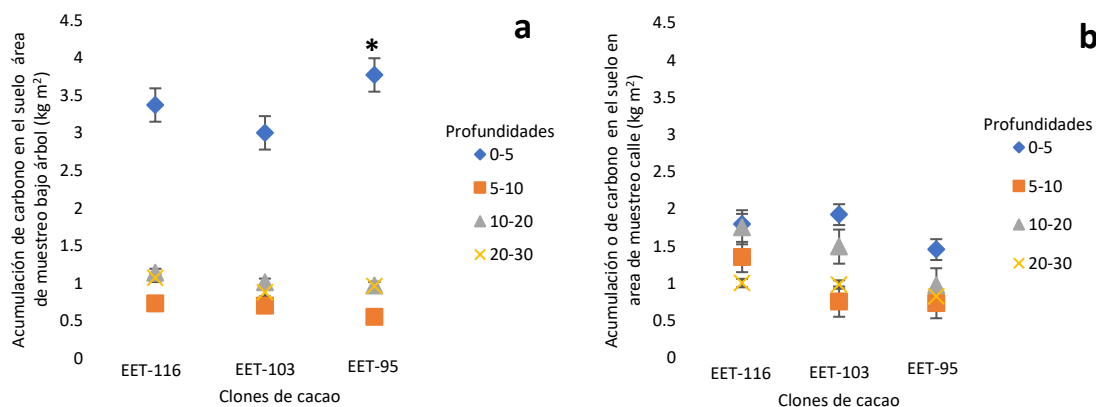


Gráfico 4. 2. Cuantificación de la acumulación de carbono en el suelo del cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*) (a) área de muestreo bajo el árbol, (b) área de muestreo calle en cuatro profundidades (1) 0-5; (2) 5-10; (3) 10-20; (4) 20-30 cm, tres clones de cacao 1) EET-116, 2) EET-103, y 3) EET-95. Sitio el Limón, Cantón Bolívar, Manabí. Media de n=10. *=diferencias estadísticas significativa ($P < 0.05$).

4.3. Análisis del efecto del manejo del cultivo de cacao, sobre las concentraciones del carbono en el suelo

La concentración del C en el suelo de las áreas de muestreo bajo el árbol y calle presentó diferencias significativas ($p=0.0020$), los resultados indican que la media más alta fue en el área de muestreo bajo el árbol con 2.26% mientras que en el área de muestreo de calle fue de 1.65%. Sin embargo, se observan valores superiores en el área de muestreo bajo el árbol en las profundidades $> 5 \text{ cm}$ (**Gráfico 4.3**).

La mayor concentración de C en el suelo en áreas bajo el árbol en el cultivo de cacao puede estar relacionada a diferentes factores, e.g. mayor descomposición por la concentración de humedad debido al poco ingreso de luz solar, fertilización en el área edáfica y ser absorbido por las raíces (1) La mayor exposición solar en áreas de calle en donde el suelo está más expuesto a la radiación solar directa, por lo tanto, experimenta temperaturas más altas. Esto puede acelerar la descomposición de la materia orgánica y aumenta su concentración. En un estudio desarrollado por Molina *et al.*, (2021) en una finca cacaotera demostró que la descomposición de las ramas primarias y secundarias en áreas de calle fue de 23, 84 y 113 días en comparación al área bajo el árbol fue de 150-210 días.

La falta de sombra puede provocar una mayor evaporación del agua del suelo, lo que resulta en una menor retención de humedad. La falta de humedad 20% puede limitar la actividad de los microorganismos responsables de la descomposición de la materia orgánica, lo que lleva a una mayor concentración de C en el suelo (Bayadares y Calero (2005).

En nuestro estudio no se ha analizado actividad microbiana. Finalmente, existió una diferencia de concentración de C de 0.61% entre las dos áreas de muestreo, esta diferencia puede estar relacionada a los procesos explicados anteriormente.

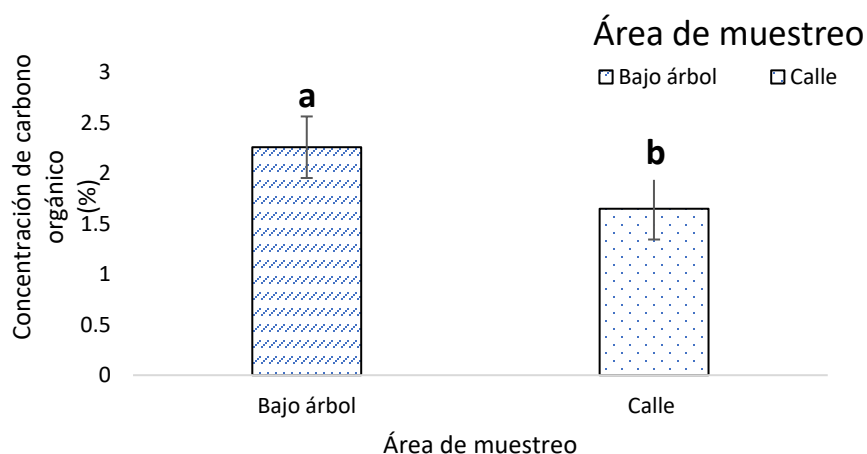


Gráfico 4. 3. Concentración del carbono orgánico en el suelo de dos áreas de estudio (Bajo árbol y Calle) en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L) en tres clones EET-116; EET-103; EET-95. Sitio el Limón, Cantón Bolívar, Manabí. Media de n=120

CAPÍTULO V. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN

5.1. CONCLUSIÓN

A partir de los parámetros físico-químicos analizados, la línea base ha permitido establecer una clara correlación entre la concentración y acumulación de C en el cultivo de cacao.

Los resultados revelan que la concentración de C en el área de muestreo bajo el árbol es significativamente mayor, presentando un aumento 1.92%, mientras que la acumulación de C en dicha área es ligeramente superior, con un incremento del 0.8 kg m² en comparación con las áreas de muestreo en la calle.

El impacto del manejo del cultivo de cacao en las concentraciones de C en el suelo es evidente, con un aumento del 0.61% en la presencia del área de muestreo bajo el árbol. Estos hallazgos subrayan la influencia positiva de la sombra en la retención y acumulación de C en el suelo, destacando la importancia de considerar estrategias de manejo que fomenten este beneficio para la sostenibilidad del cultivo de cacao.

5.2. RECOMENDACIÓN

El enfoque de manejo del cultivo de cacao en áreas bajo el árbol y en calle puede tener un impacto en la actividad microbiana. Sugerimos incluir un estudio de microbioma del suelo para complementar el entendimiento sobre los procesos de concentración y acumulación en la captura de C en un sistema de producción perenne.

Realizar un estudio de sombras en el cultivo de cacao, evaluando los porcentajes de sombra generados por la presencia de árboles maderables. Recomendamos analizar si existe algún impacto significativo en la concentración y acumulación de C en el suelo, comparando las áreas de muestreo bajo los árboles y calle en zonas sin sombra.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, A. C. D. (2022). La huella del abuso de los plaguicidas permanece en el suelo durante décadas. *Retama Revista Técnica de Medio Ambiente*.
<https://www.retema.es/noticia/la-huella-del-abuso-de-los-plaguicidas-permanece-en-el-suelo-durante-decadas-NNQ2Q>
- Agencia Europea de Medio Ambiente. (2020). El suelo, la tierra y el cambio climático. 1–9. <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2019/articulos/el-suelo-la-tierra-y#:~:text=El cambio climático afecta al suelo&text=Los descensos continuos de la, sobre la producción de>
- Arvelo, M. A., González León, D., Maroto Arce, S., Delgado López, T., y Montoya López, P. (2017). Manual técnico del cultivo de cacao. Prácticas Latinoamericanas. In Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura (IICA). <https://repositorio.iica.int/handle/11324/6181>}
- Altamirano, 2019. Propiedades físicas y químicas del suelo.
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/30131/1/Tesis-238%20%20Ingenier%c3%ada%20Agron%c3%b3mica%20-CD%20641.pdf>
- Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, J., y Robledo, C. (2008). Manual del Usuario InfoStat Software Estadístico. Balzarini, Mónica Tablada, Margot Gonzalez, Laura Casanoves, Fernando, 53(January), 336.
https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/10346/Manual_INFOSTAT_2008.pdf?sequence=1
- Barrezueta, U., Luna, R., y Barrera, L. (2018). Almacenamiento de carbono en varios suelos con cacao en la provincia del Oro-Ecuador.
<https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/177>
- Barrezueta-Unda, S., Velepucha-Cuenca, K., Solano, M., y Hurtado-Flores, L. (2020). Secuestro de carbono orgánico del suelo en pastizales de la provincia El Oro, Ecuador. *Ciencia Unemi*, 13(32), 14–26. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol13iss32.2020pp14-26p>
- Baumgartner, L. Rebeca, C. (2022). Latin America and the Caribbean the State of Climate Ambition. June.

<https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2022-07/UNDP-The-State-of-Climate-Ambition-LAC.pdf>

- Bayadares, D. Calero, J. (2005). Efecto de la sombra y fertilización sobre El crecimiento, estructura productiva, rendimiento y calidad del café (*coffea arabica*). Vr. Costa Rica 95. <https://repositorio.una.edu.ni/1969/1/tnf04b188.pdf>
- Bernal, T. (2021). Revalorización de residuos de la Industria de Chocolate para la obtención de biomoléculas de interés industrial a partir de la cascarilla de cacao. [Tesis de grado, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/36135/1/Trabajo%20de%20Titulacion.pdf>.
- Bernardus, H. y Ochoa, S. y Ezparza, L. y Mendoza, J. (2014). Reservas de carbono y cambios en los bosques secundarios tropicales del sur de México. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880914003259> .
- Blair, J. (2022). The Greenhouse Effect And Our Planet. National Geographic Society, National Geographic Society. <https://education.nationalgeographic.org/resource/greenhouse-effect-our-planet>
- Burbano, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-01352018000100082
- Burbano, O. H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 82. <https://doi.org/10.22267/rcia.183501.85>
- Castillo, L. y Bojórquez, J. y Hernández, J. y García, D. (2016). Contenidos de carbono orgánico en suelos bajo diferentes coberturas vegetales y de cultivo. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362016000300008#:~:text=El%20carbono%20org%C3%A1nico%20del%20suelo,procesos%20del%20cambio%20clim%C3%A1tico%20global,.](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362016000300008#:~:text=El%20carbono%20org%C3%A1nico%20del%20suelo,procesos%20del%20cambio%20clim%C3%A1tico%20global,)
- Cerón, I. García, M. Rodríguez, E. Cubillos, A. Polanco, E. (2020). Estrategias tecnológicas para el manejo del cultivo y el beneficio del cacao. <https://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/book/121>

- Cherlinka Vasyli. (2021). Agricultura Intensiva: Propiedades E Impacto Ambiental. Eos Data Analytics. <https://eos.com/es/blog/agricultura-intensiva/>
- Commerce., F. (2023). Agricultural practices good agricultural practices in cocoa production see links below for information on good agricultural practices. <https://www.cocoaederation.com/education/agricultural-practices>
- Cruz, F. (2019). Identificación de microorganismos del suelo. <https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/bitstream/123456789/26189/1/cbsCD110422184513igcd.pdf>
- Curtis, B. (12 de septiembre 2018). La acumulación de carbono en suelo depende del poder de los microbios. <https://www.europapress.es/ciencia/cambio-climatico/noticia-acumulacion-carbono-suelo-depende-energia-microbios-20180912132047.html>
- Curtis, J. (2018). La acumulación de carbono en el suelo depende del poder de los microbios. <https://www.europapress.es/ciencia/cambio-climatico/noticia-acumulacion-carbono-suelo-depende-energia-microbios-20180912132047.html>
- Denchak, M., y Turrentine, J. (2021). What is climate change? Energy and environment, 15(3), 515–520. <https://doi.org/10.1260/0958305041494576>
- Docampo, R. (2014). La importancia de la materia orgánica del suelo y su manejo en producción frutícola. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1199/1/128221131113111309.pdf>
- Durán. C. (7 de marzo 2022). Degradación de materiales por actividad microbiana. <https://www.studocu.com/es-mx/document/instituto-politecnico-nacional/biologia/practica-11-degradacion-de-materiales-por-actividad-microbiana/24185612>
- Felix, w. Sol, A. Galindo, A. (2016). Evaluación de la rentabilidad económica y captura de carbono en plantaciones de cacao en el plan Chontalpa, Tabasco. <http://portal.amelica.org/ameli/journal/394/3941750001/>
- Forero, C., Augusto, G., Saldarriaga Muñoz, J. P., y Vargas Romero, M. (2017). Cambio climático: impactos y perspectivas de investigación desde una visión

- multidisciplinar. *Tendencias*, 18(2), 122.
<https://doi.org/10.22267/rtend.171802.80>
- Fundación, A. (2022). Los gases de efecto invernadero, muy peligrosos para nuestro planeta. <https://www.fundacionaquae.org/wiki/los-gases-de-efecto-invernadero/>
- Goñas, M., Rojas-Briceño, N. B., Culqui-Gaslac, C., Arce-Inga, M., Marlo, G., Pariente-Mondragón, E., y Oliva-Cruz, M. (2022). Carbon sequestration in fine aroma cocoa agroforestry systems in amazonas, Perú. *Sustainability (Switzerland)*, 14(15), 1–12. <https://doi.org/10.3390/su14159739>
- Guamán, C. (2018). Validación del método para determinar materia orgánica en el suelo por la técnica de Walkley and Black. *Red de repositorios de acceso abierto del Ecuador*, 1–82.
[http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/31352/1/trabajo de titulacion.pdf](http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/31352/1/trabajo_de_titulacion.pdf)
- Hannah, R., Roser, M., y Rosado, P. (2020). All our related research and data who emits the most CO2 today? <https://ourworldindata.org/greenhouse-gas-emissions>
- Ibañez, J. (2006). Figuras Legendarias de la Ciencia por los Suelos: 1. Darwin y sus Lombrices Pisoteando a Aristóteles.
<https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/04/12/18252#:~:text=Darwin%20emple%C3%B3%20m%C3%A1s%20de%2040,en%201838%20y%20en%201840>
- Ibrahim, M. y Chacón, M. y Cuartas, C. y Naranjo, J. y Ponce, G. y Vega, P. y Casasola, F. y Rojas, J. (2013). Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua.
<https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/7934> .
- Instituto Nacional De Estadísticas Y Censos. (2022). Estadísticas Agropecuarias.
<http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>
- Lefèvre, C., Rekik, F., Alcántara, V., y Wiese, L. (2017). Carbono orgánico del suelo, potencial oculto. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/29070>

- Mauritz, A. (1900). Consistencia del suelo.
[https://www.cuevadelcivil.com/2014/04/consistencia-del-suelo.html#:~:text=La consistencia se define como,del suelo forman entre si](https://www.cuevadelcivil.com/2014/04/consistencia-del-suelo.html#:~:text=La%20consistencia%20se%20define%20como,del%20suelo%20forman%20entre%20si)
- Méjia, M. (2023). Interacciones ecológicas en el Sistema silvopastoril.
<https://www.studocu.com/es-mx/document/instituto-tecnologico-superior-de-jesus-carranza/sistemas-de-produccion-agricola/unidad-2-captura-de-carbono/61266436>
- Ministerio de Agricultura Y Ganadería. (2021). Boletín situacional cultivo de cacao.
http://sipa.agricultura.gob.ec/boletines/situacionales/2021/boletin_situacional_cacao_2021.pdf
- Ministerio De Producción, Comercio Exterior Inversiones, y P. (2022). Productivo.
<https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2022/11/Boletin-Productivo-Zona-6.pdf>
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (2021). Ecuador lanza innovador programa para reducir emisiones y combatir el cambio climático.
<https://www.ambiente.gob.ec/ecuador-lanza-innovador-programa-para-reducir-emisiones-y-combatir-el-cambio-climatico/>
- Munsell, A. (2009). The Munsell color sistem. <https://munsell.com/>
- Naciones Unidas. (2022). It' s Climate week for Latin America and the Caribbean. July. <https://www.un.org/en/climatechange/latin-america-and-caribbean-climate-week>
- Nadal, Escurero, Del Carmen, Hereter. (1978). Método de la determinación al tacto.
- Nilo, F. (27 octubre 2019). Procesamiento operativo estándar para el análisis de carbono orgánico del suelo.
<https://www.fao.org/documents/card/ru/c/CA7471ES>
- Ocampo, N. (2014). Fotosíntesis. <https://www.uaeh.edu.mx/discover/>
- Paredes, N., Monteros Altamirano, Á., Lima Tandazo, L., Caicedo Vargas, C., Tinoco Jaramillo, L., Fernández Anchundia, F., Vargas Tierras, Y., Pico Rosado, J., Subía García, C., Burbano Cachiguango, A., Chanaluz Choloquina, A., Sotomayor Akopyan, D., Díaz Martínez, A., Intriago Intriago, J., Chancosa, C., Andrade, A., y Enríquez, G. (2022). Manual del cultivo de cacao sostenible

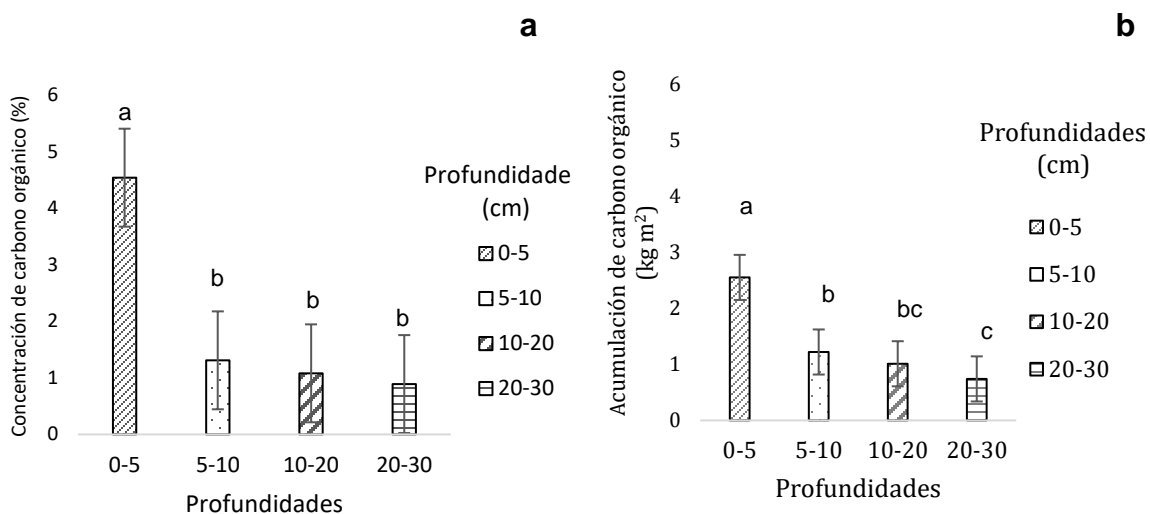
- para la Amazonía Ecuatoriana. N°125. In Repositorio Digital INIAP (Vol. 125, Issue 1). <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5833>
- Paredes, N., Monteros, A., Lima, L., Caicedo, C., Tinoco, L., Fernández, F., Vargas, Y., Pico, J., Subía, C., Burbano, A., Chanaluiza, A., Sotomayor, D., Díaz, A., Intriago, J., Chancosa, C., Andrade, A., Enríquez, Geovanny. (2022). Manual del cultivo de cacao sostenible para la amazonia ecuatoria. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5833>
- Parlamento Europeo. (2021). Emisiones de gases de efecto invernadero por país y sector (infografía) | Noticias | Parlamento Europeo. Noticias Parlamento Europeo. <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20180301STO98928/emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-por-pais-y-sector-infografia>
- Pérez, I. H. I., Rodríguez, D. I., y García, B. R. M. (2021). Secuestro de carbono por el suelo y sus fracciones en agroecosistemas tropicales de la región costa ecuatoriana. Carbon Sequestration By Soil and Its Fractions In, 141–149. <https://orcid.org/0000-0003-2403-0135>
- Plata, U. N. de la. (2019). Porosidad y aireación densidad real y aparente da fología. Suelos, 1(1), 9. https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/42969/mod_resource/content/1/POROSIDAD_Y_AIREACION_26-3-19.pdf
- Poveda, V., Orozco, L., Medina, C., Cerda, R., López, A. (2013). Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de cacao en Waslala, Nicaragua <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/36135/1/Trabajo%20de%20Titulacion.pdf>
- Rahim, I., Suherman, J., Nasruddin, A. (2019). Biodegradation of Cocoa Pod Husk Waste used Rot Fungi Consortium at Various Storage Times. <https://eudl.eu/pdf/10.4108/eai.2-5-2019.2284691>
- Ramos, R., Sotomayor, K., Amores, F., Rhón, F. (2023). Adaptación de clones de cacao (theobroma cacao l.) tipo nacional en el piedemonte de Guasaganda, Cotopaxi,

- Ecuador. https://sga.uteq.edu.ec/media/evidenciasiv/2023/08/14/evidencia_articulo_202381402623.pdf
- Reyna, L., Vera, L., y Reyna, L. (2018). Soil-organic-carbon concentration and storage under different land uses in the Carrizal-Chone Valle in Ecuador. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/app9010045>
- Robert, (2002). Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra.
- Rojas, J. Ortiz, L. Escobar, L. Rojas, M. Jaimes, Y. (2021). Descomposición y liberación de nutrientes en biomasa por poda de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Rionegro, Santander, Colombia. https://www.mag.go.cr/rev_meso/v32n03_888.pdf
- Ruíz, B. (2017). Efecto de diferentes usos del suelo sobre la materia orgánica en la microcuenca La Danta, Somotillo, 2016. <https://repositorio.una.edu.ni/3520/1/tnp33r934.pdf>
- Salvador, P. Camará, L. Martínez, J. Hernandez, R. Valdés, E. Diversidad, (2019). Estructura y carbono de la vegetación arbórea en sistemas agroforestales de cacao. <https://myb.ojs.inecol.mx/index.php/myb/article/view/e2511638/1926>
- Sanmarthin, S. Unda, S. (2017). Secuestro de Carbono en suelos cultivados con cacao nacional en la parroquia Progreso. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/18072/1/335-Texto%20del%20art%C3%ADculo-525-1-10-20180718.pdf>
- Statista, R. (2023). Volumen de carbón producido a nivel mundial 2000-2022. <https://es.statista.com/estadisticas/635488/volumen-de-carbon-producido-a-nivel-mundial/>
- Tennyson, J. Dawoe, E. Abunyewa, A. y Sefa, V. y Asares, R. (2020). Carbon Storage in Cocoa Growing Systems Across Different Agroecological Zones in Ghana. <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/114166/U21ArtAfeleCarbonNothomDev.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Results%20show%20that%20soil%20organic,5.98%C2%B11.56%20Mg%20C.>
- Umrani, R. (2010). Sistemas y Prácticas agroforestales. https://scholar.google.com/scholar_lookup?hl=es-

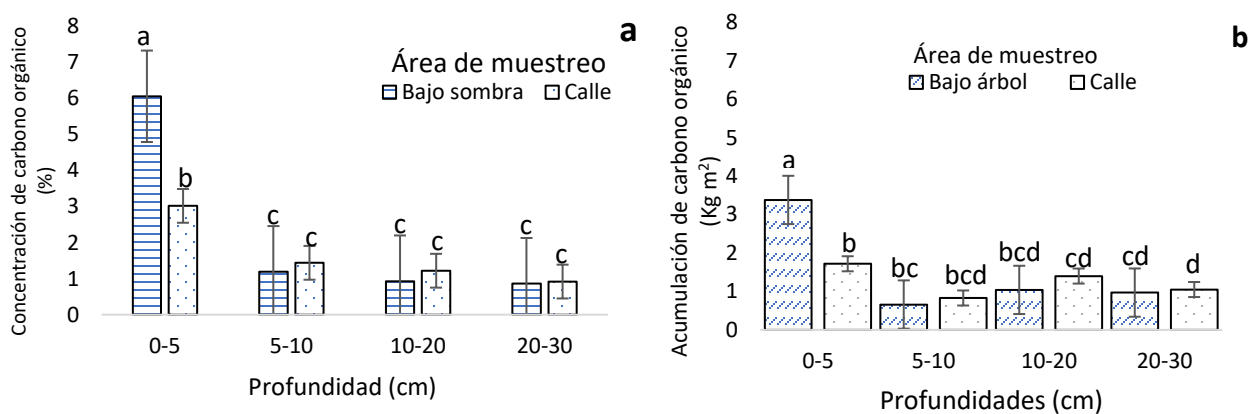
ES&publication_year=2010&author=R.+Umrani&author=C.+K.+Jain&title=Agro forestry%3A+Systems+and+Practices#d=gs_qabs&t=1694396595235&u=%23 p%3DKlgMKC2wl40J

- Vera, L. y Hernandez, A. y Mesías, F. y Guzmán, A. Cedeño, A. (2017). Manual para la cartografía de suelos y la descripción de perfiles de suelo. (1a ed.). Ediciones Abya-Yala
- Vidal, P. (2003). Cero labranza y propiedades de un suelo aluvial de Chile central. <https://repositorio.anid.cl/entities/articulo/ea24b9a8-c301-40f7-9ec1-8ad082ef63b4>
- Villaseñor, H. Huerta, J. Hortelano, R. Rene, C. Rodriguez, M. Solís, E. Alvarado, J. Borbón, A. Chavéz, G. Cortinas, H. Osario, L. Espitia, E. Martínez, J. Ireta, J. (2020). Investigación Científica y social. <https://biblat.unam.mx/es/revista/revista-fitotecnica-mexicana>
- Walkley, A. (1947). A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Science*, 63(4), 251–264. <https://doi.org/10.1097/00010694-194704000-00001>
- Wilks, J. (2022). Agriculture vs. climate change: Can we feed the world with a warmer planet? <https://www.euronews.com/green/2022/07/01/agriculture-vs-climate-change-can-we-feed-the-world-with-a-warmer-planet>

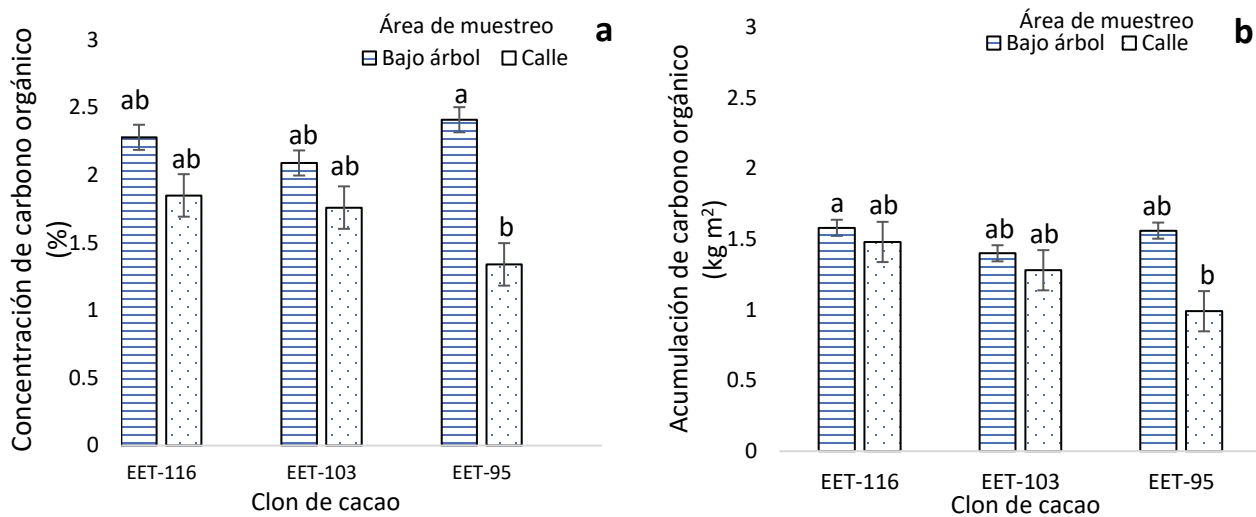
ANEXOS



ANEXO 1. Concentración y acumulación de carbono orgánico, en cuatro profundidades del suelo (1) 0-5; (2) 5-10; (3) 10-20; (4) 20-30cm, en el cultivo de cacao de tres variedades (*Theobroma cacao* L) EET-116; EET-103; EET-95; Muestras tomadas en área bajo el árbol y en la calle. Sitio el Limón, Cantón Bolívar, Manabí. Media de n=30



ANEXO 2. Concentración y acumulación del carbono orgánico en el suelo, en cuatro profundidades del suelo (1) 0-5; (2) 5-10; (3) 10-20 en áreas de muestreo bajo el árbol y en la calle del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L), Sitio el Limón, Cantón Bolívar, Manabí. Media de n=15



ANEXO 3. Concentración y acumulación del carbono orgánico en el suelo, en el área de muestreo bajo el árbol y calle del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L) EET-116; EET-103; EET-95 Sitio el Limón, Cantón Bolívar, Manabí. Media de n=20

FASE UNO DE CAMPO.



Anexo 4. Elaboración de la calicata general



Anexo 5. Perfeccionamiento de la calicata general



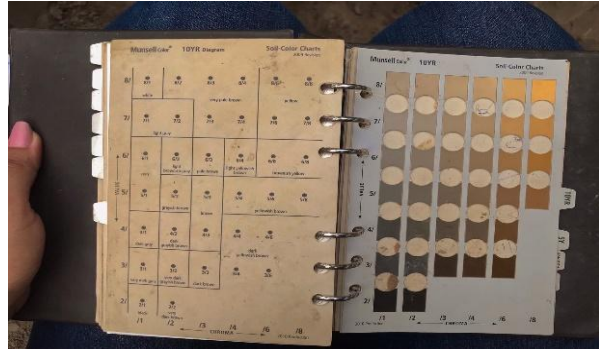
Anexo 6. Toma de datos de la calicata general



Anexo 7. Los siete perfiles de la calicata general



Anexo 8. Toma de muestras de las 240 áreas de muestreo bajo el árbol y en calles



Anexo 9. Libro de Munsell donde se determinó los colores de los siete perfiles

FASE DOS DE LABORATORIO.



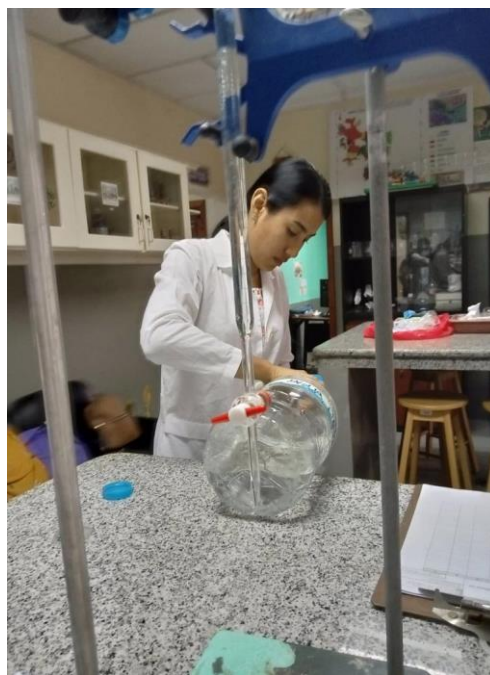
ANEXO 10. Peso de 1gr de suelo



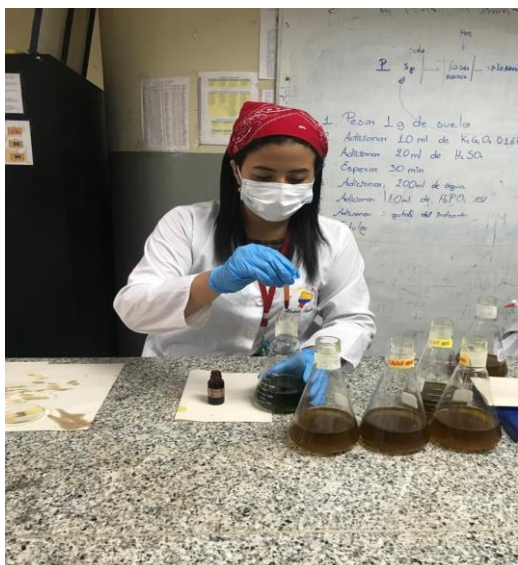
ANEXO 11. Adicionar 10 ml de dicromato de potasio



ANEXO 12. Adicionar 20 ml de ácido sulfúrico concentrado



ANEXO 13. Añadir 200 ml de agua destilada



ANEXO 14. Añadir 2-3 gotas ortofenantrolina



ANEXO 15. Titular con sulfato de hierro



ANEXO 16. Leer consumo de la titulación