

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSERVACION**



Efecto del manejo de 3 sistemas y profundidades sobre la materia orgánica y microbiología del suelo en fincas de la biosfera del río plátano.

**TESIS**

presentada como requisito parcial para obtener el título de  
**INGENIERO EN GESTION INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES**

Por:

**Gensy Anabela Gómez Maldonado**

Catacamas, Olancho

Noviembre, 2023

Efecto del manejo de 3 sistemas y profundidades sobre la materia orgánica y microbiología del suelo en fincas de la Biosfera del Rio Plátano.

POR

**Gensy Anabela Gomez Maldonado**

**WENDY LEONELA CASTELLANOS, M. Sc**

Director de Tesis

**TESIS**

Presentada como requisito para obtener el título de

**INGENIERO EN GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES**

**Catacamas, Olancho**

**Noviembre 2023**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA  
Catacamas, Olancho

ACTA DE SUSTENTACIÓN

Los suscritos miembros de la comisión evaluadora del Informe de Tesis certificamos que:

La estudiante GENSY ANABELA GOMEZ MALDONADO del IV Año de Ingeniería en Gestión Integral de los Recursos Naturales presentó su informe intitulado:

EFFECTO DEL MANEJO DE 3 SISTEMAS Y PROFUNDIDADES SOBRE LA MATERIA  
ORGÁNICA Y MICROBIOLOGÍA DEL SUELO EN FINCAS DE LA BIOSFERA DEL RIO  
PLÁTANO.

El cual, a criterio de los evaluadores, \_\_\_\_\_ el presente Informe Final de Tesis como requisito previo para optar al título de Ingeniero en Gestión Integral de los Recursos Naturales.

Dado en la ciudad de Catacamas, Olancho, a los \_\_\_\_\_ días del mes de noviembre de dos mil veintitrés.

\_\_\_\_\_  
M.Sc Wendy Leonela Castellanos  
Director de tesis

\_\_\_\_\_  
M. Sc Carlos Roberto Irías Zelaya  
Jurado de tesis

-----  
M.Sc. Josué David Matute  
Jurado de tesis

## DEDICATORIA

**A Dios todopoderoso:** por guiarme en mi vida y mi camino, por darme la sabiduría de afrontar los problemas adversos, quien ha sido mi fortaleza y con su amor ha estado conmigo hasta el día de hoy.

**A mi Madre:** Alba Isabel Maldonado, quien ha sido mi motor y apoyo incondicional en mis logros y fracasos, que con su amor y paciencia me ha permitido lograr un sueño más, gracias por inculcarme el ejemplo del esfuerzo y de valentía, de no temer a las adversidades porque Dios siempre está conmigo.

**A mi Padre:** José María Gomez, por ser ese padre que me enseñó el camino correcto con sus valores y que con su amor y trabajo me educo y me apoyo en toda mi formación académica y profesional.

**A mi Hermana:** Silvia Patricia Zelaya, por ser ese ejemplo de superación, por sus consejos y su apoyo en mi formación académica, en ella tengo el espejo en el cual me quiero reflejar pues sus virtudes infinitas y su gran corazón me llevan a admirarla cada día más, al saber que mis logros también son suyos.

**A mi Hermano:** Denis Joel, por ser ese motor de vida, por apoyarme y brindarme su apoyo en todo momento y nunca dejarme de la mano, por su amor hacia mí y ejemplo a seguir.

## **AGRADECIMIENTOS**

A DIOS, por permitirme llegar a este momento, por todo lo bueno y maravillo que es conmigo, por guiar mi camino por el bien hasta alcanzar mis metas.

A mis padres José María Gomez y Alba Isabel Maldonado por ser el pilar de mi vida, su apoyo incondicional hacia mí y sus esfuerzos en todas las decisiones y etapas de mi vida, a mis hermanos Denis Joel y Silvia Patricia por sus consejos en este camino de aprendizaje.

A mi alma mater (UNAG) Universidad Nacional de Agricultura, por formarme en todo este proceso he inculcarme valores que conllevan mi crecimiento personal y profesional.

A mis asesores: M Sc. Wendy Leonela Castellanos, M Sc. Carlos Roberto Irías, M Sc. Josué David Matute, por brindarme su apoyo, esfuerzo y paciencia hacia mí, Gracias por brindarme sus conocimientos.

A un gran hombre y ser humano, Heriberto, por acompañarme durante este proceso, ser mi amigo, apoyo y confidente, por cumplir su promesa y llegar juntos hasta el final del camino.

A mis compañeros: Xiomara Rivera, Orlin Rodas, Nipzon Portillo, los cual viví buenos y malos momentos y que más que compañeros somos hermanos.

## CONTENIDO

Lista de tablas .....	vii
LISTA DE ANEXOS .....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	xi
II. OBJETIVOS .....	xiii
2.1 . OBJETIVO GENERAL .....	xiii
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	xiii
2.3. Preguntas.....	xiv
III. REVISION LITERARIA.....	17
3.1. El suelo en los agroecosistemas .....	17
32.1 Microbiología del suelo .....	18
3.2.1. Importancia de los microorganismos del suelo .....	19
A. Biomasa microbiana .....	20
B. Respiración microbiana del suelo .....	21
3.2. Materia Orgánica en el suelo .....	21
3.3.Ciclo del carbono.....	24
3.3.1. Captura de carbono en los suelos .....	26
3.3.2 Prácticas agrícolas que afectan el carbono en el suelo .....	28
3.3.3. Agroecosistemas.....	29
3.4.1 Sistemas Agroforestales.....	30
3.4.2 Sistemas Ganaderos .....	31
3.4.3. Sistemas de Cultivos Anuales .....	32
3. IV MATERIALES Y MÉTODOS .....	33
4.1. Descripción del sitio.....	33

4.2.	Descripción de los sitios y sistemas evaluados .....	35
4.2.1.	Materiales y Equipos .....	36
4.2.2.	Recolección de muestras del suelo .....	36
4.3.	Medición de carbono orgánico del suelo.....	39
4.4.	Estimación de la Respiración microbiana .....	40
4.5.	Estimación de masa microbiana .....	41
5.	RESULTADOS Y DISCUSION.....	44
5.1.	Carbono Orgánico del Suelo .....	44
5.1.	Respiración Microbiana del Suelo .....	46
6.	CONCLUSIONES .....	53
7.	RECOMENDACIONES.....	54
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	55
9.	ANEXOS .....	64

## **Lista de tablas**

Tabla 1. Promedio de carbono orgánico del suelo fijado en toneladas por los sistemas de Agroforestal, Cultivos Anuales, Ganadero, 2023. ....	50
Tabla 2. Promedios de carbono orgánico, Respiración microbiana del suelo, Biomasa microbiana del suelo en sistemas y sitios de estudio.....	51



## Lista de figuras

<b>Figura 1</b> Mapa de ubicación del sitio El Zapote .....	33
<b>Figura 2</b> Mapa de ubicación de La Providencia, Dulce Nombre de Culmi .....	34
<b>Figura 3</b> Mapa de ubicación Rio Largo, Biosfera del Rio Plátano, Dulce Nombre de Culmi .....	34
<b>Figura 4</b> Mapa de croquis de puntos en Zig-Zag Rio Largo, Biosfera del Rio Plátano, Dulce Nombre de Culmi.....	37
<b>Figura 5</b> Mapa de puntos en Zig-Zag en la comunidad de La Providencia, Biosfera del Rio Plátano, Dulce Nombre de Culmi.....	37
<b>Figura 6</b> Mapa de puntos en Zig-Zag en la comunidad de La Providencia.....	38
<b>Figura 7</b> Mapa de puntos en Zig-Zag en la comunidad El Zapote, Biosfera del Rio Plátano, Dulce Nombre de Culmi.....	38
<b>Figura 8</b> Porcentajes de carbono orgánico en el suelo acumulado las diferentes profundidades en 3 sistemas de producción, en la Biosfera del Rio Plátano, Dulce Nombre de Culmí , Olancho. ..	44
<b>Figura 9</b> Tendencia de promedios de carbono orgánico acumulado en el suelo en los sitios y sistemas de la biosfera del Rio Plátano, Dulce Nombre de Culmi .....	45
<b>Figura 10</b> Representación de Respiración microbiana en profundidades y sistemas, ganadero, cultivos anuales, ganadero, en la biosfera del rio plátano, dulce nombre de Culmí, Olancho .....	47
<b>Figura 11</b> Representación de Biomasa microbiana en profundidades y sistemas, ganadero, cultivos anuales, ganadero, en la biosfera del rio plátano, dulce nombre de Culmí, Olancho .....	49
<b>Figura 12</b> Representación de topología en la vegetación de los sistemas de producción con relación al COS capturado.....	52

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Identificación del área de estudio y transeptos realizados .....	65
Anexo 2 Extracción de suelo con barrero .....	67
Anexo 3 Almacenado las muestras del suelo en baldes con la respectiva profundidad .....	68
Anexo 4 Preparado de las muestras secadas y cernidas .....	69
Anexo 5 Pesado de las muestras en balanza analítica y depositado en erlenmeyer de 250 ml .....	71
Anexo 6 Determinación de carbono orgánico del suelo en laboratorio .....	73
Anexo 7. Reacción de los reactivos agregados, ácido sulfúrico y dicromato de potasio .....	74
Anexo 8. Reacción de las muestras con el agua destilada.....	75
Anexo 9. Titulación de las muestras .....	76
Anexo 10. Cambio de colorimetría de la muestra durante la titulación.....	77
Anexo 11. Determinación de Respiración microbiana .....	79
Anexo 12. Incorporación del suelo activado a los frascos con NaOH y Agua destilada .....	80
Anexo 13. Sellado herméticamente y llevado a cámara de incubación por 24 horas .....	81
Anexo 14. Extracción del NaOH de las muestras.....	82
Anexo 15. Titulación de las muestras .....	83
Anexo 16. Determinación de Biomasa microbiana .....	84
Anexo 17. Incubación en cámara oscura por 24 horas.....	85
Anexo 18. Adición de 80 ml de sulfato de potasio y agitado por 30 minutos.....	86
Anexo 19. Decantación y filtración de las muestras.....	87
Anexo 20. Almacenamiento del extracto de las muestras decantadas .....	88
Anexo 21. Extracción de la muestra (8ml), adición de dicromato de potasio, 10 ml de ácido sulfúrico y agua destilada. ....	89
Anexo 22. Titulación de la muestra, 3 gotas de ferroina y la titulación con sulfato amoniacal ferroso .....	91
Anexo 23. Colorimetría de las muestras durante la titulación.....	92
Anexo 24. Preparación de soluciones para determinar Biomasa Microbiana .....	93

Gomez Maldonado. G. A. 2023. Efecto del manejo de 3 sistemas y profundidades sobre la materia orgánica y microbiología del suelo en fincas de la Biosfera del Rio Plátano., Informe final de investigación Ing. Catacamas Olancho, Honduras. Universidad Nacional de Agricultura.

## Resumen

Esta investigación se realizó con el fin de evaluar algunas características microbiológicas y bioquímicas, con el objetivo de determinar la capacidad de almacenamiento de carbono orgánico de suelo, la biomasa microbiana y respiración microbiana, densidad aparente del suelo, con diferentes sistemas en transición agroecológica como agroforestal (café, cacao, árboles maderables), cultivo anuales (maíz, frijol, chile tabasco, plátano) y ganaderos (pastos, árboles), en tres sitios, Providencia, Rio Largo, Zapote situadas en la Biosfera del Rio Plátano, el municipio Dulce Nombre de Culmí, Olancho, Honduras. Para tal fin, se recolectaron 2 muestras completas para cada profundidad y para cada sistema siendo un total de 90 muestras para cada análisis los cuales son los más predominantes en estos sitios, en suelos a nivel superficial (0-25 cm). Se analizó bajo la metodología de Walkley and Black para determinar carbono orgánico del suelo de igual forma la biomasa microbiana de análisis bajo metodologías de Nampieri y Glosan para la metodología de respiración microbiana. Los resultados se obtuvieron mediante el análisis estadístico de varianza de infoStat de Anidado y tukey. El sistema agroforestal que presentó la mayor cantidad de carbono orgánico almacenado en el suelo con  $2.18 \text{ mgCO}_2 \text{ g}^{-1}$ , seguido del sistema de cultivos anuales con valores de  $1.82 \text{ mgCO}_2 \text{ g}^{-1}$ , para el sistema ganadero  $0.62 \text{ mgCO}_2 \text{ g}^{-1}$  el cual presentó menor carbono orgánico en los suelos. En los suelos del sistema agroforestal la respiración microbiana fue estadísticamente superior de  $940 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1}$  a comparación de los sistemas de cultivos anuales y ganadero que presentaron datos similares para estos sistemas  $747.60 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1}$ ,  $782.50 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1}$ ,  $787.50 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1}$ ,  $729.17 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1}$ . También se determinó los resultados de biomasa microbiana donde los sistemas que predominaron fue el ganadero con  $145.13 \text{ mg de CO}_2 \text{ kg}^{-1}$ . Los resultados sugieren que las condiciones del suelo en los sistemas agroforestales favorecen una mayor concentración de COS, biomasa microbiana y mayor actividad de respiración, comparados con los sistemas de cultivos anuales y ganadero.

**Palabras claves:** Carbono orgánico del suelo, Biomasa microbiana, Respiración microbiana, sistemas de producción, ciclo del carbono, materia orgánica.

## I. INTRODUCCIÓN

El calentamiento global es uno de los problemas ambientales más graves de la humanidad en este momento, se manifiesta mediante variaciones en el clima(Andrade Castañeda et al., 2013). Las variaciones climáticas se ven reflejadas en las manifestaciones que presentan los ecosistemas terrestres en estos son más evidentes en la anticipación de la primavera, en emigraciones de especies, deforestación de los bosques, en la pérdida de flora y fauna, lo cual está vinculado fuertemente con el calentamiento global (Cordero, 2012)

El suelo se ha convertido en uno de los recursos más susceptibles frente al cambio climático, dando como resultado las consecuencias de degradación y pérdida de biodiversidad del suelo. De igual forma la actividad biológica es un reflejo directo de la degradación de materia orgánica del suelo. Esta degradación indica que están sucediendo dos procesos: pérdida de carbono del suelo. y, entrega de nutrientes

El carbono orgánico del suelo es dinámico y es afectado por los cambios antropogénicos que pueden convertirlo o en un sumidero, o en fuentes netas de gases de efecto invernadero(Hernández 2002).No obstante, este representa la mayor reserva de carbono que en la atmosfera y la vegetación del planeta (Lefèvre, Rekik, Alcantara, *et al.*, 2017). Los sistemas de producción pueden actuar como reservorios de carbono, ya que los árboles y los residuos vegetales contribuyen a la acumulación de carbono en el suelo

Una forma de mitigar los efectos con que el CO<sub>2</sub> atmosférico participa en el cambio climático es a través de la captura del carbono, mediante la fotosíntesis, y mantenerlo el mayor tiempo posible secuestrado, ya sea en el suelo o en forma de biomasa, la cual incluye todo tipo de vegetación y organismos animales. Espinoza-Domínguez *et al.*, (2012). De igual manera las prácticas de manejo que aumentan el carbono orgánico del suelo también pueden reducir la erosión, mejorar la producción y beneficiar los recursos naturales. Esto destaca la importancia de implementar

prácticas agrícolas sostenibles que promuevan el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo (Muschler, 2008)

Los sistemas agroforestales, ganaderos y de cultivos anuales pueden tener un impacto en la respiración microbiana, la biomasa microbiana y el carbono orgánico del suelo. La adición de residuos orgánicos, la diversidad de pastos y forrajes, y la combinación de árboles y cultivos agrícolas en los sistemas agroforestales son factores que pueden influir en estos aspectos del suelo (Sanchez, 2016)

Por lo anterior el presente estudio tuvo como objetivo de este estudio fue estimar el almacenamiento de carbono orgánico de suelos en los sistemas de producción comparar los efectos de los sistemas estudiados y determinar la cantidad de carbono orgánico en el suelo, respiración microbiana y biomasa microbiana, en la zona de amortiguamiento de la biosfera del río plátano en el municipio de Dulce Nombre de Culmí situado en el departamento de Olancho.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

- ❖ Analizar los efectos del tipo de manejo sobre el carbono orgánico, respiración microbiana y masa microbiana del suelo en fincas en transición agroecológica en la biosfera del río plátano.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- ❖ Determinar el carbono orgánico acumulado en diferentes tipos de uso del suelo en 3 fincas en transición agroecológica.
- ❖ Estimar la biomasa y respiración microbiana del suelo de acuerdo al tipo de uso del suelo en las fincas de estudio.
- ❖ Identificar cuál de los tipos de uso de suelo presentan mayores índices de acumulación promedios de carbonó orgánico.

### 2.3. Preguntas de Investigación

<b>Objetivo</b>	<b>Preguntas de Investigación</b>
OE. 1 <u>Determinar</u> la cantidad de carbono orgánico acumulado en los diferentes subsistemas de las fincas a estudiar.	¿ De qué manera se determinara la captura de carbono orgánico en los diferentes subsistemas de las fincas en transición agroecológicas?
OE. 2 <u>Estimar</u> la microbiología y respiración microbiana de acuerdo a los subsistemas que se encuentren en las fincas de estudio.	¿Cómo se estimará la microbiología y respiración en los diferentes subsistemas de las fincas?
OE. 3 <u>Identificar</u> cuál de los tipos de subsistemas presentan índices de mayor acumulación promedios de carbonó orgánico.	¿Cuál de los subsistemas presentan mayores índices de carbono orgánico?

### **III. REVISION LITERARIA**

#### **3.1. El suelo en los agroecosistemas**

El suelo es un organismo viviente fundamental, complejo y activo, es considerable como la capa viviente de la tierra (David 2019). Por consiguiente, el suelo está formado por tres capas: la capa superior, subsuelo y la roca madre que se origina que en conjunto constituyen la capa superficial de la tierra y sucede gracias a cuatro factores: la temperatura, el agua, el viento, los animales y las plantas que viven en y sobre él. Estos factores descomponen las rocas en partículas muy finas que son las que forman al suelo (Van Konijnenburg, 2006)

Un suelo ideal según Acosta (2007) contiene cuatro componentes en proporciones bien definidas: material mineral (45%), materia orgánica (5%), aire (25%) y agua (25%). Por una parte, las prácticas agrícolas ocasionan impactos fundamentales en la biota del suelo, afecta su biodiversidad, la deforestación para la agricultura afectan de manera significativa el ambiente del suelo llevando a cabo y la disminución de poblaciones microbianas y microorganismos, además de la disminución de la materia orgánica por la reducción de la cantidad y calidad de residuos vegetales incorporados al suelo y todo gracias al mal manejo de los agroecosistemas (FAO, 2020)

La materia orgánica es un indicador clave de la calidad del suelo, tanto en sus funciones agrícolas como en sus funciones ambientales entre ellas captura de carbono y calidad del aire. Las existencias de carbono orgánico presente en los suelos naturales representan un balance dinámico entre la absorción de material vegetal muerto y la pérdida por descomposición (mineralización). Por otra parte, la agregación y la estabilidad de la estructura del suelo aumentan con el contenido de materia orgánica (Robert, 2002)

El humus o materia orgánica tiene efecto sobre las propiedades físicas del suelo, formando agregados y dando estabilidad estructural, uniéndose a las arcillas y formando el complejo de



cambio, favoreciendo la penetración del agua y su retención, disminuyendo la erosión y favoreciendo el intercambio gaseoso. Cuando se refiere al efecto sobre las propiedades químicas del suelo, se habla que aumenta la capacidad de cambio del suelo, la reserva de nutrientes para la vida vegetal y la capacidad tampón del suelo favorece la acción de los abonos minerales y facilita su absorción a través de la membrana celular de las raicillas (Eduardo Martínez *et al.*, 2008)

### **32.1 Microbiología del suelo**

Los microorganismos, por su gran versatilidad bioquímica, son los intermediarios entre el mundo mineral y el mundo vivo. Torsvik *et al.* (1990) indicaron que un gramo de suelo se puede encontrar 10.000 especies diferentes de microorganismos, muchos de los cuales son desconocidos porque no se puede cultivar. Dentro de las poblaciones microbianas incluyen bacterias, actinomicetos, cianobacterias, hongos, algas, protozoos y virus Esta diversidad se complementa en gran medida con densidad microbiana (Osorio-Vega, 2009)

Con sus innumerables reacciones metabólicas permiten incorporar los materiales del suelo en el mundo viviente y están en la base de toda productividad, por lo que debe darse a los microorganismos el papel fundamental que les corresponde en la fertilidad de los suelos (Montse & Escutia., 2012)

Mariel (2018) Expone el rol de los microorganismos del suelo, como la función de la biota del suelo es fundamental para los procesos de descomposición y procesamiento de nutrientes, del mismo modo Álvarez y Anzueto (2004) afirman que los microorganismos del suelo guían la biodegradación de la materia orgánica y establecen un reservorio de nutrientes como N, C y P y que la actividad microbiana es regulada por características químicas y físicas del suelo por la estructura de la materia orgánica y por la naturaleza de la población microbiana del suelo.

La degradación de la materia orgánica del suelo es un proceso inherente a todos los microorganismos heterotróficos y generalmente su tasa o velocidad de descomposición indica el nivel de la actividad microbiana de un suelo (Paolini Gomez, 2018)

### **3.2.1. Importancia de los microorganismos del suelo**

En el suelo existen variedad de organismos y llevan un importante papel en el ciclaje de los nutrientes y a la contribución de fertilidad y estabilidad de los suelos, los organismos se dividen de acuerdo a su tamaño, como ser microfauna, macrofauna, mesofauna, también los microorganismos del suelo se distribuyen en cinco grupos: virus, bacterias, actinobacterias, hongos y algas (García *et al.*, 2021)

Según lo menciona Durango *et al.*, (2015) los microorganismos del suelo llevan a cabo diversidad de funciones, las cuales son necesarias para la salud del mismo, estos ayudan a degradar las sustancias orgánicas a través de diversas actividades metabólicas que determinan el almacenamiento y reciclaje de los nutrientes en el suelo, estas actividades resultan severamente afectada por varios factores, entre ellos la variabilidad climática Además, la variabilidad climática puede tener efectos significativos en los microorganismos del suelo, incluyendo cambios en las condiciones ambientales, alteración de la disponibilidad de nutrientes, cambios en la composición de la comunidad microbiana y alteración de las interacciones con otros organismos del suelo. Estos efectos pueden tener implicaciones para la salud y el funcionamiento de los ecosistemas del suelo (Turbay *et al.*, 2014)

La actividad microbial del suelo es diversa y hace parte de los ciclos biogeoquímicos de varios elementos. Como actividades especificadas en el suelo se incluyen la descomposición de la materia orgánica y de materiales orgánicos adicionados a éste, la fijación de N<sub>2</sub> atmosférico, la descomposición de minerales primarios, la mineralización del N-orgánico , la solubilización de P, la oxidación de S, la producción de antibióticos, la formación de asociaciones simbióticas para

mejorar la captación de nutrientes por parte de las plantas, la protección de plantas contra patógenos, la descomposición de contaminantes , etc.(Osorio-Vega, 2009)

## **A. Biomasa microbiana**

El carbono de la biomasa microbiana del suelo (SMB-C) se refiere a una fracción del C del suelo "vivo" derivado de las células microbianas. Conocer los niveles de C-BMS en el suelo se vuelve importante para la conservación de la materia orgánica del suelo y el monitoreo de áreas bajo influencia antrópica, sirviendo como un indicador sensible de los cambios causados en el medio ambiente.

La biomasa microbiana se define el componente funcional de la microbiota del suelo, que es la responsable principalmente de la descomposición y reconversión de la materia orgánica y la transformación de nutrientes, además, se ha considerado que puede ser usado como un indicador ecológico sensible a los cambios ambientales (Acosta y Paolini, 2006). La biomasa microbiana se compone principalmente de bacterias y hongos, que descomponen los residuos de cultivos y la materia orgánica del suelo. Este proceso libera nutrientes, como nitrógeno (N), azufre (S) y, en menor medida, fósforo (P) en el suelo que están disponibles para la absorción de las plantas (Chon, 2018)

La biomasa microbiana es considerada como una fracción lábil de la materia orgánica del suelo y es un reservorio importante de nutrientes para los vegetales, como N y P (Marumoto *et al.*, 1982) Se considera el principal agente para la descomposición de la materia orgánica del suelo, las transformaciones de nutrimentos, la estabilidad estructural y, como indicador de contaminación y calidad del suelo (WingChing-Jones y Uribe, 2016)

## **B. Respiración microbiana del suelo**

De acuerdo con Toledo *et al.* (2020) la respiración del suelo es el proceso por el cual la materia orgánica se oxida a CO<sub>2</sub>, ese el papel de los microbios del suelo. La respiración del suelo se define como la producción total de CO<sub>2</sub>, por unidad de área y de tiempo, en suelos intactos debido a la respiración de organismos edáficos, raíces, hifas micorrícicas y, en menor extensión, por la oxidación química de los compuestos de carbono.(Toledo *et al.*, 2020) En suelos intactos (sin añadir nutrientes) existe un equilibrio ecológico entre microorganismos y su actividad, la respiración, en este caso se denomina respiración basal. Controvertidamente implicada en el calentamiento global, la respiración del suelo es un evento clave en el cambio ecológico global porque puede determinar si un ecosistema determinado actúa como fuente o sumidero de CO<sub>2</sub>.

La respiración microbiana está determinada por factores ambientales como la humedad del suelo disponible y que por ende la respiración aumenta en la época lluviosa que en comparación a la época seca (Fang y Moncrief, 2001; Hamel *et al.*, 2006 como se cito en (Toledo *et al.*, 2020). De igual manera la respiración basal del suelo es conformada por los cambios ecológicos globales debido a su papel controversial en los procesos de calentamiento global ya que puede determinar si un ecosistema dado se comporta como fuente o sumidero de CO<sub>2</sub> (Vásquez *et al.*, 2013)

### **3.2. Materia Orgánica en el suelo**

Por materia orgánica del suelo se entiende por el conjunto de restos vegetales y restos de animales, este es el producto de la transformación para la constitución del humus (Sánchez & Matin, 1997). La materia orgánica está conformada por compuestos químicos que contienen átomos de carbono, por lo que está vinculada con la vida: la que conforma los cuerpos de los seres vivos, así como la mayoría de sus sustancias y materiales de desecho. Es el resultado de los diversos ciclos de vida de los seres vivientes, cuyos cuerpos liberan residuos y sustancias que, al descomponerse, conforman una masa diversa, rica en nutrientes y altamente aprovechable por los organismos autótrofos como las plantas como lo plantea (Rodríguez, 2011)

De modo que, en la descomposición de los residuos hay un almacenamiento del carbono dentro de la propia biomasa o mediante la reconstrucción de nuevas estructuras de carbono, la biota del suelo tiene una función muy importante en los procesos de reciclaje de nutrientes y, por lo tanto, en la capacidad de un suelo para proveer al cultivo con suficientes nutrientes para cosechar un buen producto. La constante incorporación de material vegetal y animal proporciona capacidad de mantener en un ciclo continuo de materia orgánica y brinda capacidad de recuperarse al suelo dañado (Rodríguez, 2011)

Según Raudes, M., Sagastume, (2009) la materia orgánica tiene beneficios los cuales son; aumenta la capacidad de retener agua. aumenta la aireación en el suelo (mayor espacio poroso), aumenta la agregación de las partículas del suelo (mayor estabilidad), almacena y proporciona nutrientes a las plantas, evita la pérdida de nutrientes por lixiviación o precipitación, estimula la presencia biológica en el suelo, lombrices, insectos.

“La materia orgánica está compuesta de carbohidratos, ligninas y proteínas”. Los carbohidratos como los azúcares simples, la celulosa, la hemicelulosa y otros constituyen del 5 al 25 por ciento de la materia orgánica de los suelos húmedos (Cabrera, 2007). De igual manera los polisacáridos promueven una mejor estructura del suelo a través de su habilidad para aglutinar partículas orgánicas de suelo en agregados estables. Las moléculas más complejas de polisacáridos son más importantes en la promoción de la estabilidad de los agregados e infiltración del agua que las moléculas simples.

Por otra parte, los lípidos constituyen un grupo muy diverso de materiales, las grasas, las ceras y las resinas constituyen del dos al seis por ciento de la materia orgánica. La importancia de los lípidos obedece a la habilidad de algunos compuestos de actuar como hormonas del crecimiento de las plantas. Otros pueden tener un efecto depresivo en el crecimiento vegetal ( Rodríguez, 2011)

La cantidad de materia orgánica viva existente en los suelos (incluidas las raíces de las plantas) es suficiente para desempeñar y crear una influencia en los cambios físicos y químicos que tienen lugar en el suelo (Cabrera, 2007). Los microorganismos descomponen la materia orgánica en dióxido de carbono y el residuo de humos es más duradero, en el proceso de descomposición, los microbios son capaces de capturar nitrógeno del suelo (Raquel y Sara, 2014). La materia orgánica del suelo es una fuente de energía para los microorganismos, la disponibilidad y calidad del sustrato, así como la biodiversidad, necesaria para el mantenimiento de muchas funciones del suelo (Toledo *et al.*, 2020)

El humus o materia orgánica tiene efecto sobre las propiedades físicas del suelo, formando agregados y dando estabilidad estructural, uniéndose a las arcillas y formando el complejo de cambio, favoreciendo la penetración del agua y su retención, disminuyendo la erosión y favoreciendo el intercambio gaseoso. Cuando se refiere al efecto sobre las propiedades químicas del suelo, se habla que aumenta la capacidad de cambio del suelo, la reserva de nutrientes para la vida vegetal y la capacidad tampón del suelo favorece la acción de los abonos minerales y facilita su absorción a través de la membrana celular de las raicillas (Eduardo Martínez *et al.*, 2008)

La cantidad de humus que se encuentran en el suelo, dependerá de diferentes factores los cuales son la integración de nuevos restos orgánicos al suelo y su rapidez de oxidación química y biológica (Garro, 2016). Los residuos vegetales contienen principalmente compuestos de carbono que se originan de la pared celular. Estas cadenas de carbono que contienen diferentes cantidades de oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, fósforo y azufre unidos son los componentes básicos de los monosacáridos y aminoácidos.

Por consiguiente, Rodríguez (2011) menciona que a la descomposición continua de materia orgánica muerta y modificada lo que forma una sustancia orgánica más compleja llamada humus. responsable de la transformación de la materia orgánica, de igual forma la transformación de la MO puede ser química y mecánica, donde hay una alteración de que sufren los restos vegetales antes de caer al suelo, se produce la ruptura de los polímeros en sus componentes individuales mediante procesos de hidrólisis y oxidación (el almidón pasa a glucosa, las proteínas a aminoácidos) Se trata en definitiva de un envejecimiento y consiste en pérdida de sustancias orgánicas y elementos

minerales P, N, K, Na que pueden ser arrastrados o entrar en el sistema edáfico como nutrientes (González-Vila *et al.*, 2009)

La degradación de la materia orgánica del suelo produce como primera etapa de mineralización productos simples, pero al continuar el proceso, más la acción continuada de microorganismos se produce la formación de complejos orgánicos llamadas sustancias húmicas. Estas sustancias que son las que forman el humus, son de composición compleja (Raquel & Sara, 2014). Las sustancias húmicas (SH) se componen de ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y huminas residuales (HR), definidas como macromoléculas orgánicas, con una estructura química compleja, distinta y estable que provienen de la degradación de plantas y animales, por la actividad enzimática de microorganismos y metamorfismo orgánico (López *et al.* 2018)

### **3.3. Ciclo del carbono**

El ciclo del carbono se da inicio con la fijación del dióxido de carbono que está atrapado en la atmósfera, por medio de procesos de fotosíntesis que realizan las plantas y microorganismos, durante el día las plantas utilizan la energía del sol para transformarlo en  $\text{CO}_2$  y durante la noche ocurre lo contrario, cual se le conoce como respiración ya que usan el carbohidrato más el oxígeno para poder procesar energía cuando no hay presencia de sol (Gregory-Wodzicki 2001). Los gases de efecto invernadero de larga vida (GEILV), por ejemplo, el  $\text{CO}_2$ , el metano ( $\text{CH}_4$ ) y el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), son químicamente estables y persisten en la atmósfera durante escalas de tiempo desde décadas hasta siglos o más, de modo que sus emisiones ejercen su influencia en el clima a largo plazo (Solomon *et al.*, 2018). Todos estos son considerados Gases del Efecto de Invernadero (GEI), que contribuyen con el equilibrio térmico de la Tierra (Rügnitz *et al.*, 2008)

El índice de producción de  $\text{CO}_2$  es importante porque nos da referencia de la tasa de descomposición de la materia orgánica y por consiguiente de la cantidad que se pierde de carbono del suelo, las medidas de respiración del suelo nos ayudan a determinar la medida del suelo al balance del  $\text{CO}_2$  en la atmósfera (Lessard *et al.*, 2005). La importancia del ciclo del carbono es que

nos permite un intercambio entre la materia y los seres vivos, es un elemento esencial para los seres vivos (Zita 2022)

La producción de azúcares a partir de la energía solar y del dióxido de carbono (fotosíntesis) y del metabolismo (respiración) de esos azúcares para producir la energía química que facilita el crecimiento y la reproducción. Durante la fotosíntesis, las plantas absorben dióxido de carbono y luz solar para crear combustible (glucosa y otros azúcares) para construir estructuras vegetales.

Este proceso constituye la base del ciclo biológico del carbono. El carbono del suelo está muy relacionado con el proceso de descomposición de la biomasa por la acción microbiana, gracias a la actividad microbiana el carbono puede movilizarse fácil por el suelo, por procesos bioquímicos y físicos que posibilitan la presencia de biomasa aérea y subterránea, que también actúa como reservorio de carbono en los ecosistemas terrestres (Riebeek, 2011)

La reserva de carbono en los ecosistemas y en los agroecosistemas se puede entender por los cambios en la biomasa vegetal o “variable rápida” aunque después de algunos años la reserva de carbono en el suelo o “variable lenta” resulta ser un indicador más importante acerca del funcionamiento del sistema, ligado a su capacidad de adaptación y resiliencia frente a efectos perturbadores y en consecuencia, a su capacidad a largo plazo para abastecer con bienes y servicios al ecosistema (Orjuela 2018)

Se estima que la reserva de COS almacena 1 500 P<sub>g</sub>C en el primer metro de suelo, lo cual supone más carbono que el contenido en la atmósfera (aproximadamente 800 P<sub>g</sub>C) y la vegetación terrestre (500 P<sub>g</sub>C) combinados (Lefèvre, Rekik, & Wiese, 2017). Es por ello que el sistema suelo-vegetación desempeñan una labor importante en aumentar o disminuirlas concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, todo esto dependiendo de tasa de formación y degradación carbono orgánico del suelo (COS), por tal razón es que el recurso suelo es una de las mayores reservas de carbono terrestre (Segura-Castruita *et al.*, 2005)



### 3.3.1. Captura de carbono en los suelos

El secuestro de carbono en los suelos es el procesamiento de transformación de carbono del aire al orgánico, que está almacenado en el suelo. Por medio del secuestro de carbono en la atmósfera el nivel de dióxido de carbono puede disminuir a medida que aumenta el nivel de carbono orgánico en el suelo. El carbono orgánico del suelo es uno de los indicadores más importantes de la calidad de este mismo, que está directamente relacionado con mantenimiento de su estructura, infiltración, suministro y almacenamiento de agua, presencia de microflora diversa, mineralización de materia orgánica y nutrientes (Pardo *et al.* 2019)

El carbono recién agregado puede estabilizarse al suelo por una serie de mecanismos, por lo tanto el suelo puede establecerse físicamente a través de una separación dentro los micro y macro agregados del suelo donde no es accesible a los organismos del mismo suelo, pero químicamente el carbono puede adsorberse en las arcillas por enlaces químicos que impiden el consumo del carbono de los organismos del suelo y bioquímicamente el carbono se puede producir en estructuras de moléculas que impiden la descomposición, estos tres mecanismos dependen de factores abióticos, bióticos que estabilizan el carbono del suelo (Lefevre, 2017)

Los residuos vegetales y los exudados de raíces son las principales fuentes de carbono orgánico en el suelo, el estiércol y los microbios también contribuyen al COS, pero en menor medida, como resultado de la mineralización, el carbono vuelve a la atmósfera principalmente en forma de dióxido de carbono, pero una parte se almacena en los tejidos microbianos (biomasa del suelo) y otra parte se convierte en una forma estable durante la hidratación, la síntesis o la formación de agregados, que también pueden mineralizarse, pero más lentamente (Hernández *et al.*, 2014)

Microorganismos que aportan nutrientes a las plantas es debido al contenido de sustancias orgánicas, el suelo tiene una estructura estable y capacidad de infiltración, y planta de agua. Los microorganismos en el suelo, son responsables de la descomposición de la materia orgánica, lo que libera dióxido de carbono a la atmósfera. Sin embargo, también pueden fijar el carbono en el

suelo a través de procesos como la formación de agregados, la síntesis de materia orgánica y la retención de nutrientes. Por último, la adopción de prácticas agrícolas que fomenten la actividad microbiana en el suelo, como la rotación de cultivos, la utilización de abonos orgánicos y la reducción del labrado, puede ayudar a aumentar la captura de carbono en el suelo (Panichini, 2017)

### **3.3.2 Carbono orgánico en bosques primarios**

Los bosques desempeñan un papel importante en el ciclo global del carbono (C), poseen la capacidad para almacenar C en la vegetación y en el suelo, incorporándolo a su estructura por largos periodos (Rodríguez, 2016). De esta manera, es relevante entender que el carbono es un elemento que se encuentra contenido en los diversos tipos de biomasa y es expresado como toda materia orgánica viva o muerta generada a partir de un proceso biológico (IPCC, 2001)

La vegetación juega un papel importante en la regulación del ciclo global del carbono, del carbono contenido en los bosques aproximadamente dos terceras partes se encuentran en la materia orgánica del suelo y una tercera parte en la vegetación, los bosques tienen la capacidad de acumular carbono en cantidades suficientemente grandes como para afectar el contenido de este en la atmosfera (LLAMUCA, 2015)

Los bosques del mundo almacenan 861 Pg C, de los cuales 383 Pg se encuentran en el suelo (44%), 363 Pg en los árboles (42%), 73 g en la madera muerta (8%) y 43 Pg C se encuentran el mantillo (5%); lo cual implica que casi la mitad del C de los ecosistemas forestales se encuentra en el piso forestal y el suelo, aunque depende del tipo de biomasa; así, estimaron que los bosques tropicales almacenan el 56% del C en su biomasa y el 32% en el suelo, mientras que los bosques templados y boreales almacenan sólo el 20% del C en su biomasa y el 60% se encuentra en el suelo (Pan *et al.*, 2011)

### 3.3.3 Prácticas agrícolas que afectan el carbono en el suelo

La materia orgánica es parte de los componentes que determinan la calidad y productividad del suelo, de ella dependen la fertilidad, disponibilidad de agua, compactación e incluso la resistencia de las plantas a plagas y enfermedades. esta actúa como un elemento de enlace de las propiedades biológicas, químicas y físicas de un suelo, se asocia y cumple roles esenciales en numerosas funciones del mismo, como el ciclo de los nutrientes, la retención de agua y el drenaje, el control de la erosión, la supresión de enfermedades y la remediación de la contaminación (Docampo, 2014)

El uso de prácticas agrícolas convencionales son las principales causas de erosión, sedimentación de ríos, pérdida de fuentes de agua, de cobertura vegetal y pérdida de biodiversidad (microorgánicos y organismo benéficos de suelo), de igual forma el uso inadecuado de productos sintéticos provocan la salinización del suelo y el exceso de estos mismos provoca la degradación y deterioro del suelo como lo destaca Montiel & Ibrahim, (2016). El suelo tropical también necesita atención y acción de conservación ya que a menudo son talados del bosque para explotar sus recursos debido a su abundancia de biomasa (Hernández *et al.*, 2014)

La pérdida de materia orgánica obedece a la menor presencia de organismos en descomposición o un aumento de la descomposición como resultado de modificaciones en factores naturales o antropogénicos, el laboreo aumenta el volumen de oxígeno en el suelo e incrementa la temperatura media de éste, lo que estimula la descomposición de la materia orgánica, se produce pérdida de materia orgánica debido a la erosión, que reduce la capa superficial arable y el humus (Misra *et al.*, 1989). Como se menciona en Melania y Mena, (2020) los procesos que generan mayor pérdida de COS en el suelo agrícola son la labranza y quema de biomasa.

Existen otras prácticas como la labranza de conservación (LC) y el manejo de la biomasa residual que pueden beneficiar el incremento del COS y MO mejorando su calidad y fertilidad, esto con la ayuda del manejo y la entrada de residuos orgánicos y la cobertura permanente de los suelos determinan la dinámica del COS, mientras las prácticas de LC permiten su estabilización. (Melania y Mena, 2020). Este tipo de prácticas pueden ayudar a mitigar los problemas que dejan las formas

de producción convencional, ya que incluye una serie de prácticas que disminuye la carga sobre los ecosistemas (Cala, 2021)

### **3.3.4. Agroecosistemas**

La agroecología es un nuevo campo de conocimiento, un enfoque, una disciplina científica que reúne, sintetiza y aplica conocimientos de la agronomía, la ecología, la sociología, la etnobotánica y otras ciencias afines, rescatando y combinando dichas ciencias occidentales con los conocimientos tradicionales milenarios de los agricultores, con una óptica holística y sistémica y un fuerte componente ético, para generar conocimientos y validar, aplicar estrategias adecuadas para diseñar, manejar y evaluar agroecosistemas sustentables (Córdoba, 2019)

Según Altieri (2001) los agroecosistemas son comunidades de plantas y animales que interactúan en su entorno físico químico y biológico este cambio para producir alimentos, fibra, combustible y otros productos para el consumo y su procesamiento. los ecosistemas y agroecosistemas terrestres los cuales estos representan uno de los sumideros más grande CO<sub>2</sub>, (almacenan y fijan globalmente el CO<sub>2</sub> atmosférico en el suelo y las plantas por medio de la fotosíntesis, de lo que una parte regresa a la atmosfera a través de la respiración microbiana (Christos y Shaw 2014)

Los procesos de almacenamiento alteran e incrementan la pérdida de carbono en el suelo como resultado de la deforestación, el cambio de uso del suelo y las prácticas de manejo en la agricultura (Amores, 2020). Por tanto, El manejo agroecológico se trata de eliminar la agricultura de altos insumos y reemplazarla con estrategias que imiten los procesos ecológicos naturales (Cruz, 2012). De modo que, los sistemas convencionales modernos ocasionan problemas sobre el suelo mientras que los sistemas con manejo agroecológico lo preservan o mejoran, consistiendo en la perdurabilidad (Altieri, y Nicholls *et al.* 2000)

Las prácticas agroecológicas emergen y enfatizan en el conocimiento campesino y es conocido no como un conjunto de recetas, sino, como principios aplicados de acuerdo con la realidad particular de cada agricultor, a pesar de que dichas estrategias puedan ser más aceptables ecológica y socialmente que su contraparte industrial, también pueden mantener la dependencia en la compra de insumos por parte de los agricultores. Del mismo modo, estas prácticas agroecológicas incrementan el mejoramiento del suelo con la incorporación de materia orgánica al suelo lo que ayuda a un ambiente sano y equilibrado, además ayuda a la fijación de carbono orgánico y contribuye a la mitigación del cambio climático (IICA, 2021)

De igual manera, los SAF son importantes en el mantenimiento y aumento de las reservas de carbono en la vegetación en el suelo, gracias a los SAF y a la agroforestería incentivan prácticas agrícolas sostenibles donde se utilizan insumos orgánicos de las mismas fincas o sistemas que mejora, aumenta la materia orgánica y el ciclaje de los nutrientes lo cual contribuye al desarrollo de la planta y almacena bancos de carbono en materia orgánica y posteriormente el suelo (Mena Mosquera y Andrade, 2019)

### **3.4.1 Sistemas Agroforestales**

Los sistemas agroforestales son sistemas multifuncionales que pueden proporcionar una gran variedad de beneficios económicos, socioculturales y ambientales. Como se expresa en Sharry, (2004) estos sistemas de producción son especialmente importantes para los pequeños agricultores ya que generan diversos productos y servicios en una superficie limitada. No obstante, estos sistemas tienen también sus limitaciones, por lo que es necesario llevar a cabo un análisis minucioso antes de su establecimiento y manejo.

Se fundamenta principalmente en principios y formas de cultivar la tierra basado en mecanismos variables y flexibles en concordancia con objetivos y planificaciones propuestos, permitiendo al agricultor diversificar la producción en sus fincas o terrenos, obteniendo en forma asociativa madera, leña, frutos, plantas medicinales, forrajes y otros productos agrícolas (Benedetti Ruiz y Espinoza R., 1992)

Los beneficios de un Sistema Agroforestal pueden ser diferentes para cada situación y región del mundo pero, algunos de estos son ampliamente reconocidos, como: mejor protección y mejoramiento del suelo; más de un tipo de cosecha o producto para los propietarios, lo cual le asegura una mayor estabilidad y retornos económicos en el mediano y largo plazo; obtención de subproductos tales como, leña, postes, miel y otros, que mejorará la calidad de vida de los propietarios; dado el reconocido aumento en la eficiencia biológica del sistema, ayudará a un incremento de la productividad no solo para un agricultor, sino que para toda la comunidad o región (Autoridad Nacional del Servicio Civil, 2021)

Los sistemas agroforestales también son importantes reservorios de carbono en el tiempo así mismo la acumulación de carbono (C) secuestrado es más evidente en la biomasa de árboles y arbustos; las cantidades de almacenamiento de C en la biomasa dependen de la proporción de árboles presentes y del tamaño del árbol, pero también dependen del suelo donde se encuentran los sistemas agroforestales (Espinoza-Domínguez *et al.*, 2012). Como se menciona en Schroeder, (1994) los sistemas agroforestales almacenan aproximadamente 9, 21, 50 y 63 Mg C·ha<sup>-1</sup>, en biomasa aérea y raíces de regiones semiáridas, subhúmedas, húmedas y templadas, respectivamente, y el carbono en todos los almacenes se estima entre 12 y 228 Mg C· ha<sup>-1</sup>.

### **3.4.2 Sistemas Ganaderos**

Dentro del sistema de ganado se obtienen una serie de interrelaciones entre los componentes, por ejemplo: los bovinos se alimentan de los pastos y reciben sombra de los árboles; los pastos reciben las defecaciones de parte de los bovinos u otros animales y le sirve para el abonamiento del potrero, además los árboles mejoran el microclima y disminuyen los efectos del cambio climático, capturan el CO<sub>2</sub> (Dióxido de carbono), atraen las precipitaciones. Este sistema funciona en su conjunto bajo

un propósito y es obtener una producción de alta calidad y en grandes cantidades, pero que el producto obtenido sea sano, sin contaminante y asegurando la sostenibilidad del sistema, siendo éste una producción amigable con el medio ambiente (Tobergte y Curtis, 2013)

El almacenamiento de carbono orgánico en sistemas ganaderos como se encontró en Morales Coutiño y Ferrer, (2010) donde habla que la mayor acumulación de carbono fue en la biomasa en sistemas de potreros con cercos vivos con 10.40 Mg ha<sup>-1</sup>, y para árboles en potrero con 5.99 Mg ha<sup>-1</sup>. encontró que la cantidad de carbono estimado en el suelo para el sistema con árboles y pasto fue de 598.3 Mg ha<sup>-1</sup>, y en el sistema de pasto sin árboles fue de 625.5 Mg ha<sup>-1</sup> (Mora, 2001)

### **3.4.3. Sistemas de Cultivos Anuales**

La producción de cultivos anuales, entre los que se encuentra la base alimenticia de la humanidad, los aumentos en producción agrícola han estado asociados a una intensificación del uso del suelo. Como resultado de la intensificación en el uso del recurso se han generado varios problemas ambientales: acidez del suelo al uso de fertilizantes amoniacales, salinidad y sodicidad asociada a regadío con aguas salinas o que dejan carbonato de sodio residual, pérdidas de carbono del suelo, erosión asociada a malas prácticas de labranza, aumento del CO<sub>2</sub> ambiental como producto de la quema de rastrojos y de inversión de la capa superficial del suelo y consecuente oxidación de la materia orgánica del suelo (Acevedo, 2003)

Los sistemas de cultivos anuales se desprenden de los sistemas agroforestales a causa de que son cultivos en asocio con otros cultivos y comparten suelo, aire, nutrientes, microorganismos, etc., los cultivos anuales son importantes para estos sistemas porque gracias a ellos hay mayor salida de nutrientes y esto a causa a las rotaciones de cultivos que se realizan y complementan la mejora del suelo ya que estos cultivos muchas veces son abonos verdes, cultivos forrajeros y brindan nutrientes fertilidad de los mimos (López y Molina, 2007)

### 3. IV MATERIALES Y MÉTODOS

#### 4.1. Descripción del sitio

El estudio se realizó en la Reserva de la Biosfera del Río Plátano (RHBRP), en el municipio de Dulce Nombre de Culmí, Departamento de Olancho. Se seleccionaron tres fincas en distintas comunidades, Providencia, Río Largo, Zapote, estas fincas están en transición agroecológica de las cuales presentaban tres tipos de sistemas diferentes de los cuales se realizó el estudio, sistema agroforestal (cacao y Café), sistema de Cultivos Anuales (maíz, chile tabasco, Frijoles, plátanos), Sistema ganadero (pasto con árboles).

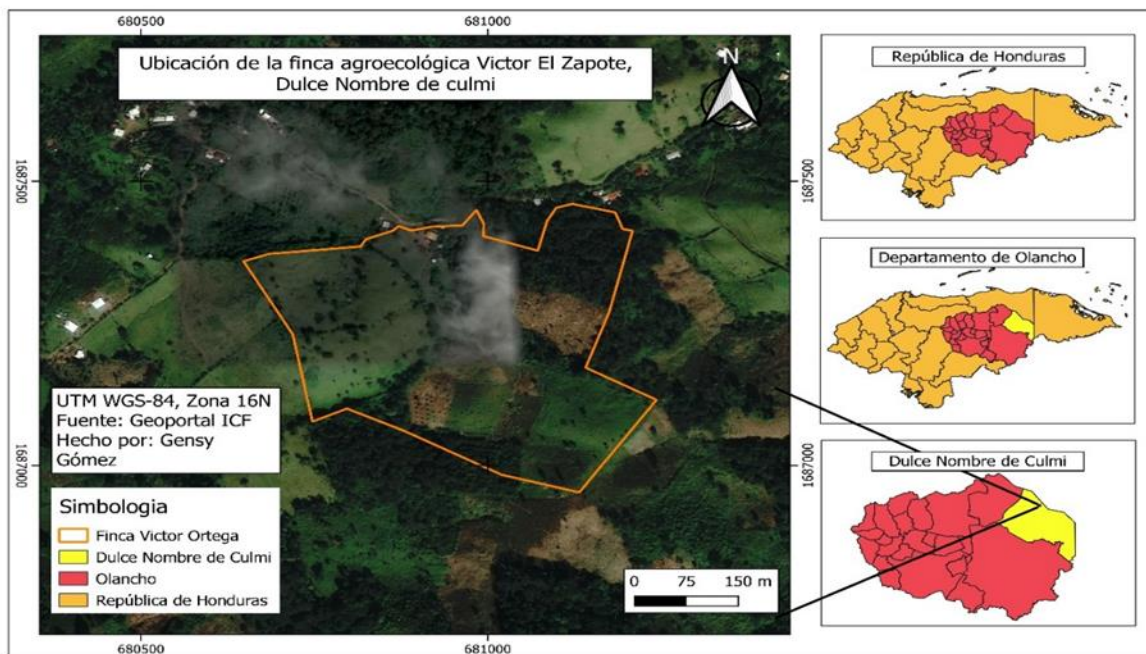
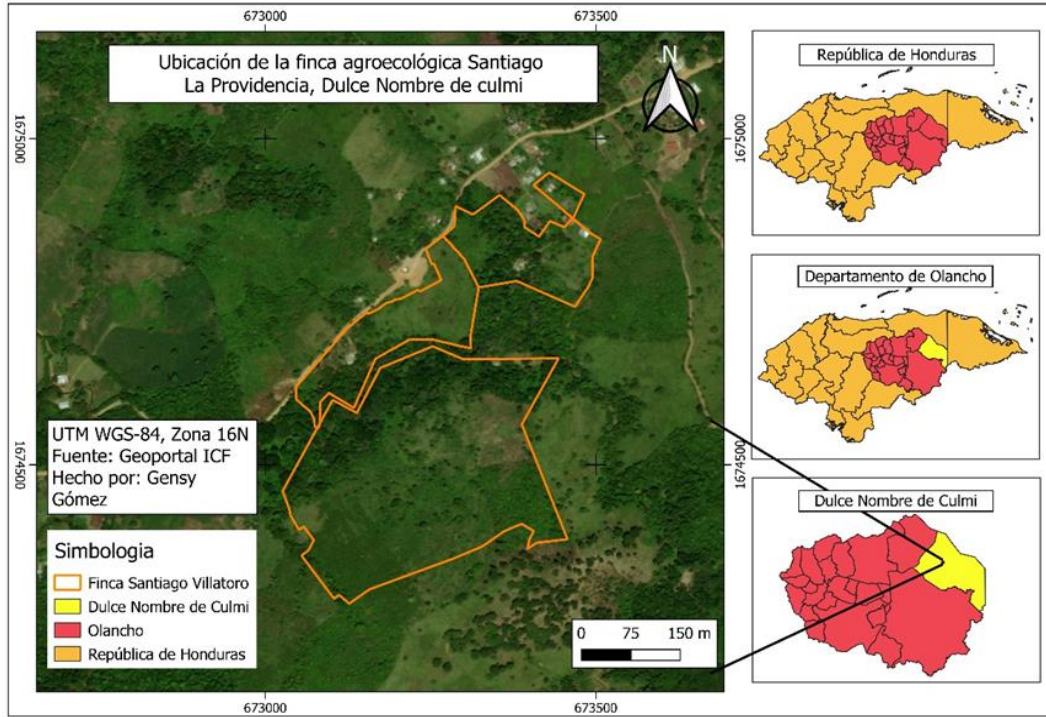
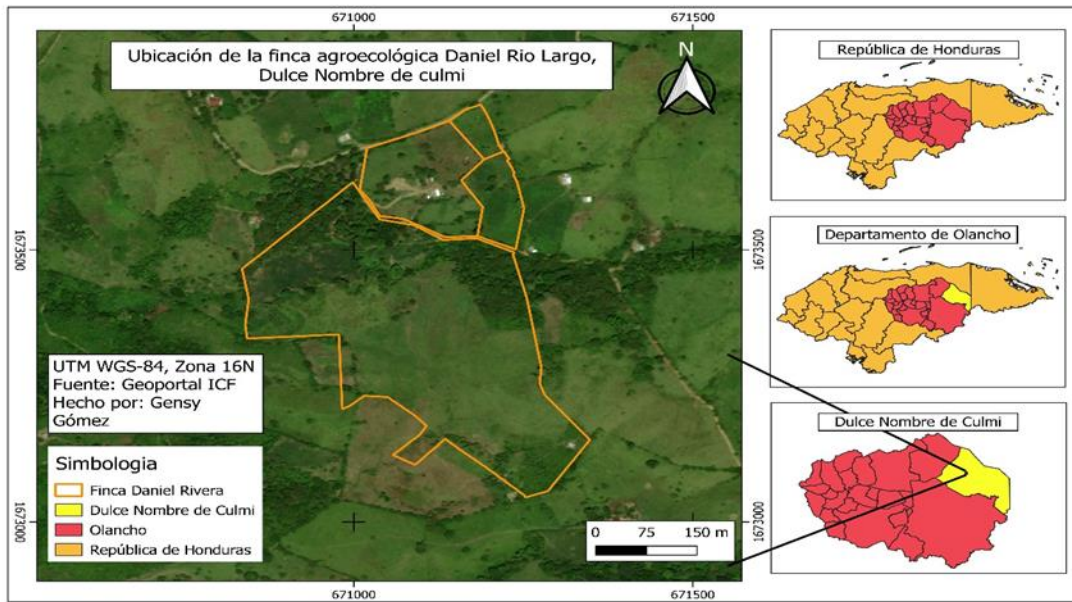


Figura 1 Mapa de ubicación del sitio El Zapote





**Figura 2** Mapa de ubicación de La Providencia, Dulce Nombre de Culmi



**Figura 3** Mapa de ubicación Río Largo, Biosfera del Río Plátano, Dulce Nombre de Culmi

Se realizó un estudio observacional cuantitativo, utilizando varias metodologías para recolectar las muestras de suelo y posteriormente realizar los análisis bioquímicos en el laboratorio de Suelos Agrícolas PhD Elio Duron Andino en la Universidad Nacional de Agricultura. Además, se determinó el Carbono Orgánico acumulado en los suelos de las fincas por el método de combustión húmeda propuesto por Walkley & Black (1934), también se determinó la biomasa microbiana del suelo de acuerdo con la metodología de Nannipieri *et al.*, (2003) y la respiración microbiana del suelo con dos metodologías una para el procesos de capilaridad (Glosolan, 2022)

## **4.2. Descripción de los sitios y sistemas evaluados**

Se seleccionaron tres fincas en las comunidades de la zona de amortiguamiento de la biosfera del río plátano, ubicadas en las comunidades de La Providencia, Rio Largo y El Zapote que presentaban características similares en sus sistemas de producción.

En la comunidad de La Providencia se seleccionó la finca del Sr. Santiago Villatoro con una extensión de 19.9 ha y a una altura de 618 msnm con coordenadas de 673366, 1674269 y una pendiente menor del 20% conformados por sistemas agroforestales (cacao, café, arboles forestales), sistemas de cultivos anuales (chile tabasco, frijol, maíz) y sistemas ganaderos (gramíneas, pastos, especies arbóreas).

En la comunidad de Rio Largo se seleccionó la finca del Sr. Danilo Rivera con una extensión de 22 ha y una altura de 584 msnm y una pendiente menor al 20% conformado por sistemas agroforestales (café, cacao, especies maderables), cultivos anuales (maíz, frijol), sistema ganadero (pastos y especies arbóreas).

En la comunidad de El Zapote se seleccionó la finca del Sr. Víctor Ortega con una extensión de 18.45 ha y una pendiente mayor de 60 % de conformado por sistemas agroforestal (café y especies maderables), cultivos anuales (plátano, frijol, maíz).

### **4.2.1. Materiales y Equipos**

Los materiales y equipos que se manejarán para realizar esta investigación son los siguientes:

Materiales en campo: Pala, metro, balde, barreno, palines, etiquetas, lápiz, libreta de apuntes, botas, mochila.

Materiales en laboratorio: tamiz 2mm, papel whatman, papel film, Botellas herméticas, pipetas, bureta, matraces Erlenmeyer, embudos, agua destilada, gotero, pinzas, diferentes reactivos como ser Cloruro de Bario, sulfato ferroso, dicromato de potasio, ácido sulfúrico, hidróxido de sodio, Fenolftaleína con ácido clorhídrico, cloruro de sodio.

Equipo utilizado: agitador vaivén, horno, campana extractora, balanza digital, balanza analítica,

### **4.2.2. Recolección de muestras del suelo**

1. Se realizó un muestreo en forma de zig-zag trazando líneas imaginarias una distancia aproximada que variaba de 5 a 8 metros para cada punto en donde se obtuvo la muestra
2. En cada sistema (agroforestal, cultivos anuales, ganadero), se recolectó una muestra, compuesta donde cada sistema contaba con áreas que oscilan entre 1.5, 4 y 5 hectáreas para lo cual se tomó. Cada muestra se integró con 25 submuestras simples (puntos de muestreo) (anexo 1),
3. En cada punto de muestro se tomaron 5 profundidades: 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25 cm, debido a que la materia orgánica y actividad biológica se exhiben en estos primeros centímetros del suelo. Las cuales fueron extraídas con barreno de espiral (anexo 2) (anexo 3).
4. Una vez obtenidas las 25 submuestras se mezclaron homogéneamente para formar dos muestras compuestas. Siendo un total de seis muestras por cada finca
5. Las muestras se colocaron en bolsas plásticas rotuladas con su respectivo nombre de sitio y profundidad.

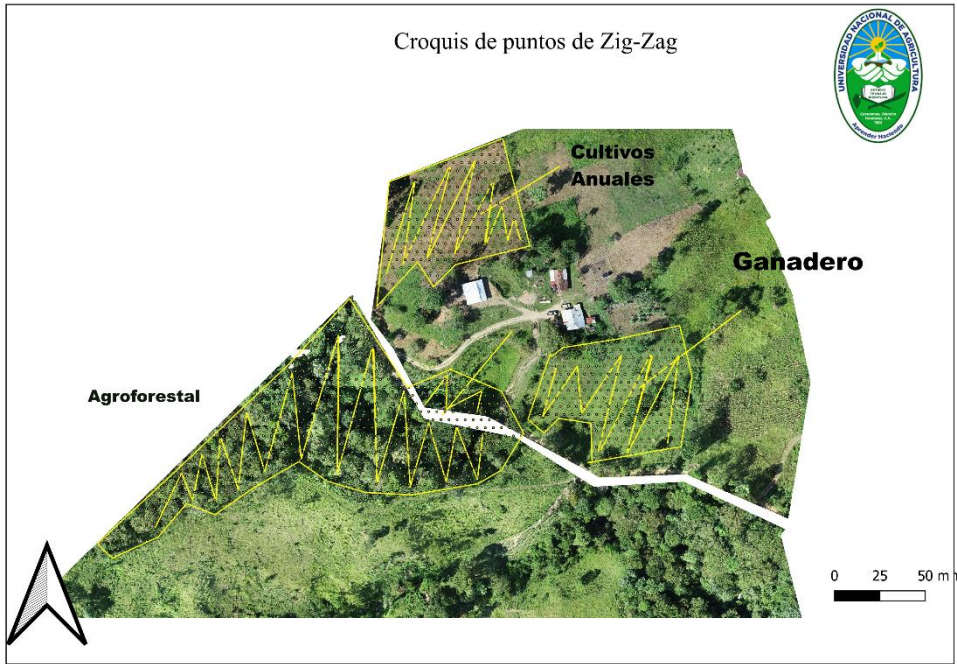


Figura 4 Mapa de croquis de puntos en Zig-Zag Rio Largo, Biosfera del Rio Plátano, Dulce Nombre de Culmi

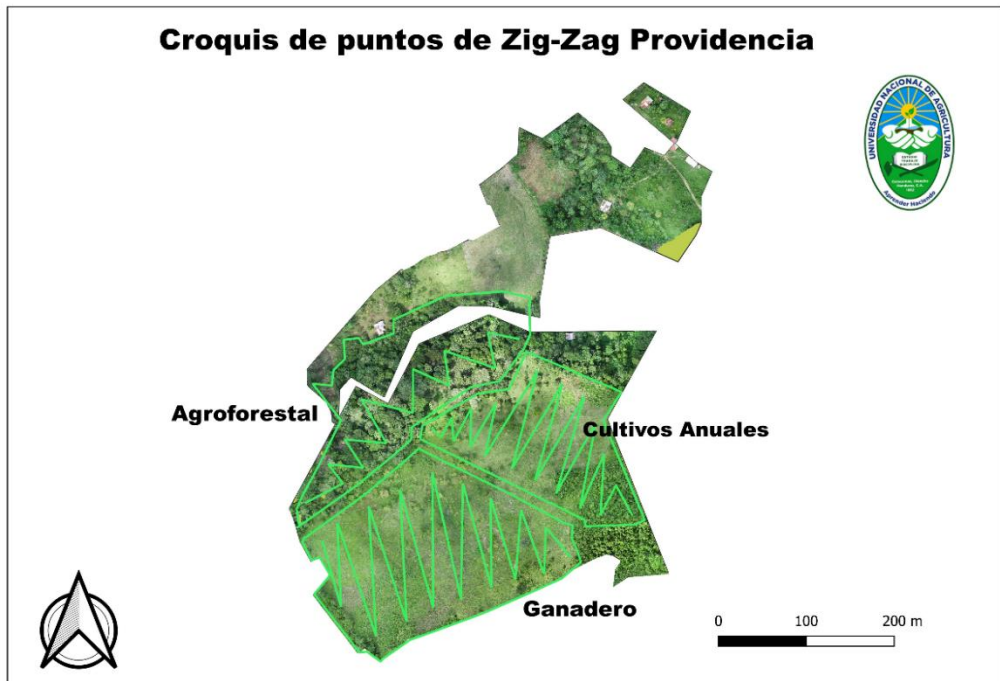
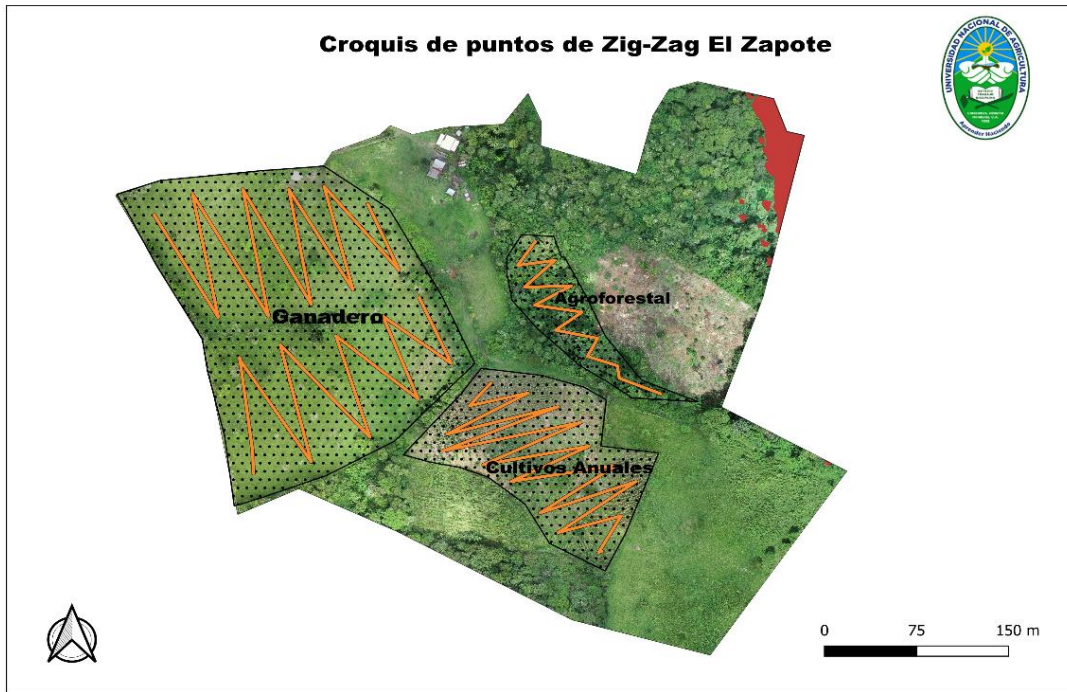


Figura 5 Mapa de puntos en Zig-Zag en la comunidad de La Providencia, Biosfera del Rio Plátano, Dulce Nombre de Culmi

**Figura 6** Mapa de puntos en Zig-Zag en la comunidad de La Providencia



**Figura 7** Mapa de puntos en Zig-Zag en la comunidad El Zapote, Biosfera del Rio Plátano, Dulce Nombre de Culmi

#### 4.2.3. Preparación de las muestras en el laboratorio

En el laboratorio de Análisis de suelos PhD Elio Duron Andino se procedió a incorporar las muestras extraídas de las bolas en las bandejas desechables y su clasificación por finca y sistema.

Secado y preparación de las muestras

1. Las muestras fueron colocadas en bandejas desechables con su respectiva rotulación donde la información era el nombre del sitio, sistemas y profundidades.
2. Se colocaron en la sala de secado, durante una semana, para proteger de la contaminación
3. Se determinó que la muestra estaba seca con prueba de rompimiento del terrón, y se continuo con la trituration y destrucción de los terrones con un rodillo,



4. Se cernieron con un tamiz de 2 mm, y luego fueron empacadas debidamente identificadas y se almacenadas a temperatura ambiente.

### 4.3. Medición de carbono orgánico del suelo

Se procesaron 3 muestras, muestra de control este para garantizar el correcto resultado del estudio, la muestra de blanco que no contiene suelo, este blanco sirve para los resultados de la muestra y se obtienen restando las lecturas en blanco de las lecturas de la muestra. La muestra de suelo del estudio si contiene suelo y eso con el fin de comparar la reacción de los reactivos en presencia de suelo carbono orgánico. Para la determinación de carbono orgánico en suelos se realizó a través el método Walkley Black, 1934.

1. Se pesó, en una balanza analítica digital de precisión, una muestra de suelo de 0.5 g para suelos con colores negros u orgánicos, y 1.0 g para aquellos suelos de color claros y arenosos (anexo 5).
2. El suelo pesado se depositó en un matraz Erlenmeyer de 250 ml donde se le agregaron 10 ml de solución de dicromato de potasio 1N, se agito inmediatamente y seguidamente se adiciono 20 ml de ácido sulfúrico concentrado, (Cely-reyes & Moreno-perez, 2016)
3. Inmediatamente a las muestras de laboratorio se agitaron vigorosamente por 30 segundos y se dejaron en enfriamiento, aproximadamente 30 minutos, cuando la mezcla se enfrió se adicionaron 200 ml de agua destilada, para ayudar a clarificar la muestra para su posterior titulación, y se dejó en reposo por 30 minutos. Posterior al reposo se adicionó tres gotas de indicador Ferroina 0.025 M para la respectiva titulación.
4. La titulación se realizó con una bureta de 50 ml, a la cual se le adiciono sulfato ferroso amonio a 0.5 N y se midió el volumen gastado hasta que se observó el viraje de la colorimetría de verde esmeralda a rojo. (Eyherabide *et al.*, 2014)
5. Para calcular el porcentaje de carbono orgánico se presenta en la ecuación

$$\%C.O = \frac{(B-M) \times N \times 0.003 \times (100+pW)}{Wm}$$

Donde:

**M** es el volumen de solución titulante empleada en la muestra en ml, **B** es el volumen de solución titulante empleada en el blanco en ml,

**N** es la normalidad del sulfato ferroso en eq. l<sup>-1</sup>,

**pW** es el % (fracción masa) humedad de la muestra expresada en base seca, 0.003 es un factor estequiométrico

**Wm** es el peso de la muestra en gramos.

#### **4.4. Estimación de la Respiración microbiana**

Se procesaron 2 muestras, este blanco sirve para los resultados de la muestra y se obtienen restando las lecturas en blanco de las lecturas de la muestra. La muestra de suelo del estudio si contiene suelo y eso con el fin de comparar la reacción de los reactivos en presencia de suelo carbono orgánico.

Se pesaron 50 gramos, de suelo seco ya tamizado, las muestras se agregaron en recipientes de plásticos con agua destilada con una película de papel whatman por 10 días por el proceso de capilaridad esto para activar las muestras con el fin de hacer la representatividad del suelo húmedo en su entorno natural o capacidad de campo y llevarlas a una humedad del 60% (Glosolan, 2022) La muestra ya activada se colocó en frascos de 100 ml. Se utilizó un total de 90 frascos, un frasco para cada muestra, en cada frasco se introdujeron dos recipientes de capacidad de 30 ml donde en uno de ellos se le colocaron de 20 ml de NaOH para absorber el CO<sub>2</sub> desprendido por los microorganismos, y otro recipiente con 20 ml de agua destilada para mantener la atmósfera húmeda en el interior del frasco. Cada frasco se selló herméticamente utilizando una película plástica o papel film para sellar la boca de la botella antes de tajarla en la cámara oscura de incubación.

1. Luego los frascos se llevaron a una cámara de incubación por 24 horas a 28 °C.
2. Después de la incubación, se abrió el frasco ensamblado y se pipeteo 10 ml de la solución de NaOH contenida en el recipiente dentro del frasco esto se agregó a un erlenmeyer inmediatamente antes de la titulación, posteriormente se agregó 1 ml de la solución de BaCl<sub>2</sub> al 50%, más 2 gotas de fenolftaleína indicador.
3. Para la titulación con HCl 0,5N se mezcló hasta que desapareció el color rosa. Así mismo se registró el volumen gastado de HCl utilizado en la titulación (Federal *et al.*, 1995).

Formula de respiración

$$\text{RBS (mg de C-CO}_2\text{/kg)} = \frac{(V_b - V_a) \cdot m \cdot 6.1000}{P_{sg}}$$

Donde:

V<sub>b</sub>= volumen de HCl consumidos para titular el blanco

V<sub>a</sub>= volumen de NaOH gastado en la muestra con suelo

M= Molaridad de 0.5

P<sub>sg</sub>= peso del suelo en gramos

#### 4.5. Estimación de masa microbiana

Se procesaron 2 muestras, la muestra de blanco que no contiene suelo, este blanco sirve para los resultados de la muestra y se obtienen restando las lecturas en blanco de las lecturas de la muestra. La muestra de suelo del estudio si contiene suelo y eso con el fin de comparar la reacción de los reactivos en presencia de suelo carbono orgánico.



El método que se describe a continuación determina el C de la biomasa microbiana después de la fumigación del suelo con cloroformo y extracción con sulfato de potasio 0,5 M, contra un extracto del control respectivo no fumigado.

1. Se pesaron dos muestras de 20 gramos de cada muestra para las profundidades de 0-5 cm, la muestra fue colocada en un erlenmeyer de 125 ml.
2. De las dos muestras pesadas solamente una de ellas fue fumigada, utilizando una pipeta con una graduación de 1 ml donde se le agrego un 1 ml de cloroformo libre de etanol, para esta metodología solo fueron utilizados 18 frascos ya que solo se determinó la masa microbiana para las profundidades de 0-5 cm.
3. Inmediatamente de la fumigación se selló, ambas muestras, herméticamente con papel parfilm.
4. Los frascos sellados fueron llevados a una cámara de incubación por un periodo de 24 horas como se muestra en el anexo, posteriormente a una temperatura ambiente de entre 25 y 28 °C.
5. Transcurridas las 24 horas, dentro de una campana extractora se quitó la tapa de los matraces, dejando que se evapore, todo el cloroformo presente hasta que se completó eliminación.
6. Para la extracción se transfirió en erlenmeyer y se agregó 80 ml de solución de sulfato de potasio 0,5 M (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), utilizando un dosificador de 0 a 80 ml.
7. Seguidamente se procedió a agitar durante 30 minutos en un agitador de vaivén (200 rpm), se decantó y filtrar el sobrenadante en papel de filtro (banda azul).
8. El extracto se almaceno en el refrigerador a 7 °C por 5 días.

9. Para la determinación de la biomasa microbiana de las muestras fumigadas y no fumigadas se dejaron a temperatura ambiente hasta que se descongelaron por 30 min.
10. De la solución descongelada se realizó la extracción con una pipeta donde se extrajo 8 ml de la muestra y se colocó en un erlenmeyer de 250 ml. Seguidamente se le agregó 2 ml de dicromato de potasio 0,0667 M, 10 ml de ácido sulfúrico Posteriormente se le agregaron 10 ml de ácido fosfórico, efectuada la digestión se dejó reposar por 30 minutos.
11. Transcurrido los 30 minutos se agregó 70 ml de agua destilada, para la titulación se le agregó 3 gotas de ferroina y la titulación con sulfato amoniacal ferroso, hasta que la solución inicial verde hasta rojo intenso e igual para muestra de suelo y muestra del Blanco.

Los resultados de la biomasa microbiana se expresaron así:

$$\text{Biomasa (ug C - CO}_2\text{g}^{-1}\text{sueloseco)} = \frac{X-Y}{k}$$

Dónde: X=ug de C-CO<sub>2</sub>100<sup>-1</sup> g

Y=ug de C-CO,100<sup>-1</sup> g suelo seco, incubado

Dónde: suelo seco, incubado k = Constante 0.45, que representa la fracción de la biomasa total del suelo que es mineralizada en condiciones controladas.

GB = gasto de HCl del blanco (sin suelo)

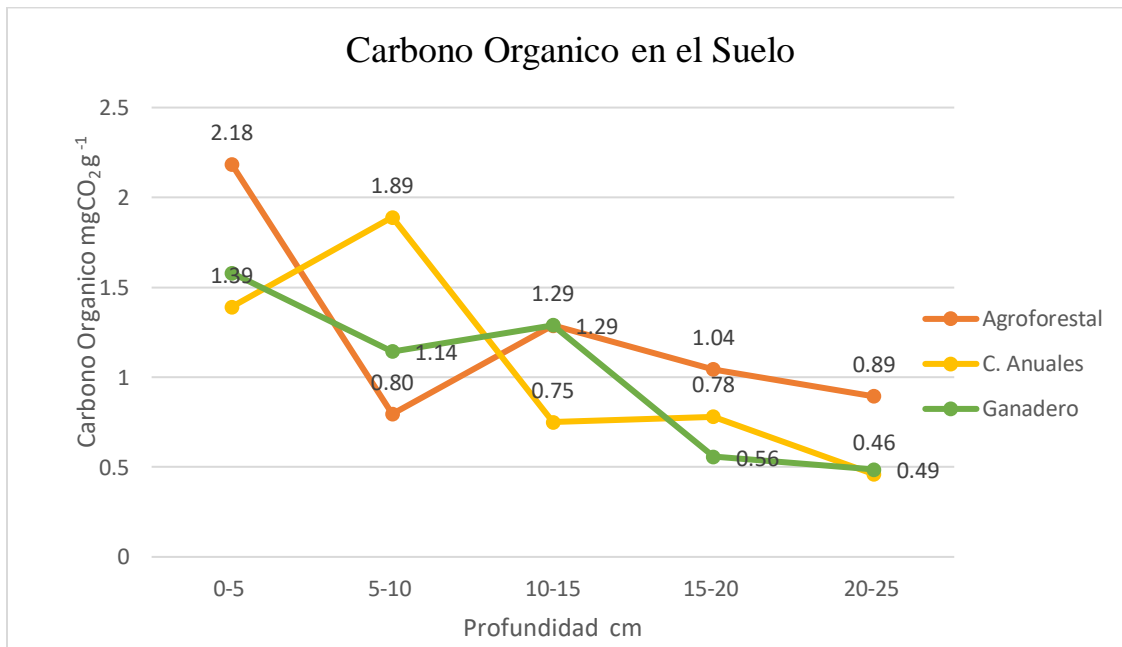
GM = gasto de HCl de la muestra

N(HCL) = normalidad del HCl 0.006 = número atómico de C/1000 (para obtener mg)

## 5. RESULTADOS Y DISCUSION

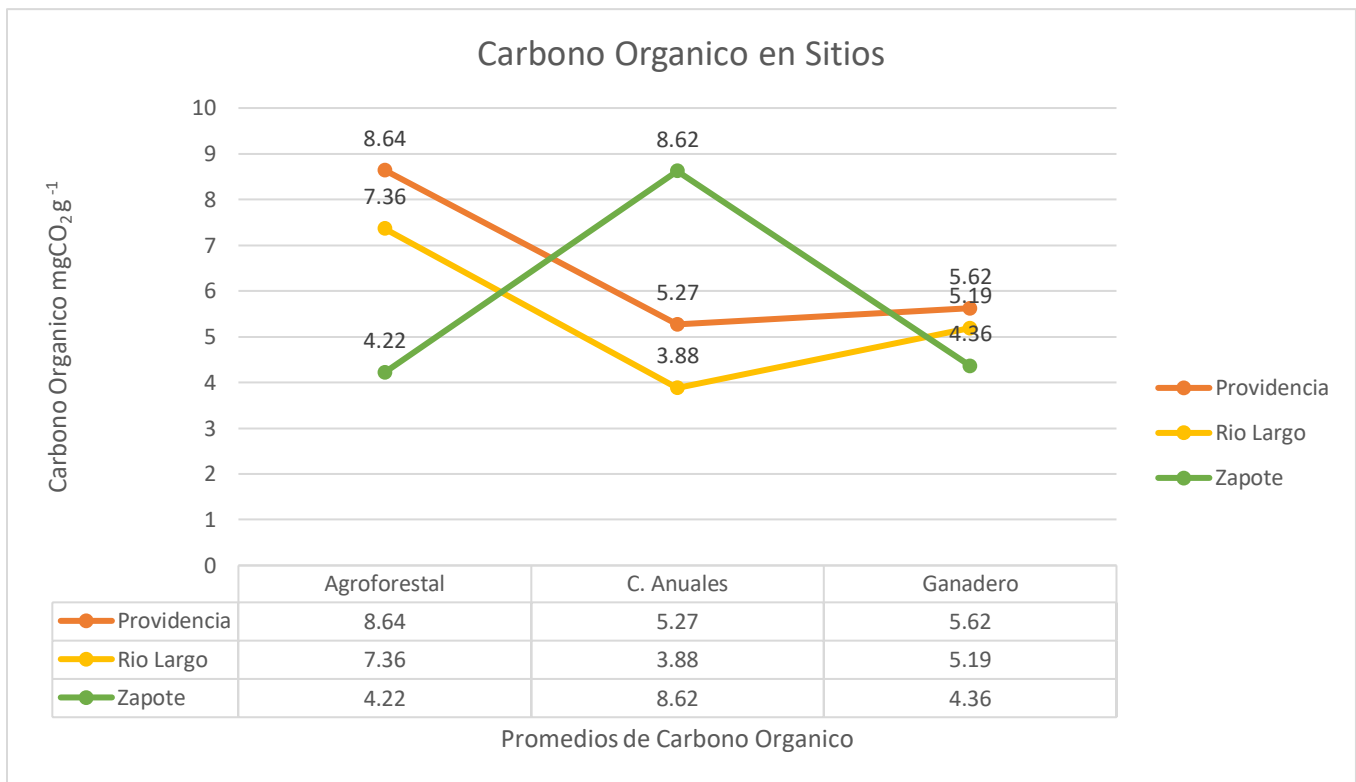
### 5.1. Carbono Orgánico del Suelo

Los resultados de carbono orgánico en el suelo (COS) en los sistemas y profundidades evaluados mostro resultados diferenciales ( $p < 0,0001$ ). Los valores medios en la tendencia de COS fueron mayores en los suelos bajo los sistemas agroforestales, resultados concordantes con los reportes de Goñas *et al.*, (2022) quienes han encontrado más carbono en los sistemas productivos ya que estos sistemas se encuentran con una combinación y asociación de cultivos como el café, cacao y arboles maderables por lo que hay una mayor interacción con la materia orgánica, esto a diferencia de los sistemas de producción convencional sin cobertura como son los sistemas de cultivos anuales que tienden a presentar niveles medios de carbono orgánico (Alvarado *et al.*, 2013)



**Figura 8** Porcentajes de carbono orgánico en el suelo acumulado las diferentes profundidades en 3 sistemas de producción, en la Biosfera del Río Plátano, Dulce Nombre de Culmí, Olancho.

En la figura 8, se mostró los diferentes porcentajes de carbono orgánico en profundidades y sistemas, donde las mayores concentraciones de COS se evidenciaron en el primer estrato de suelo (0-10 cm) con un comportamiento similar en dos de los sistemas agroforestales con 2.18 mgCO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> y cultivos anuales con 1.89 mgCO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup>, El contenido de COS disminuyó con las profundidades 15-25 cm del suelo a 0.56 y 0.49 mgCO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup>, lo que significó una reducción de más del 60 %. La implementación de sistemas complejos con socios de cultivos agrícolas y arboles forestales muestra un enorme potencial para aumentar las reservas de biomasa y carbono del suelo, por lo tanto, puede usarse como una estrategia de mitigación de gases de efecto invernadero en los sistemas de producción como lo demuestra López-Santiago *et al.*, (2019). En general, la tendencia del COS en los sistemas evaluados fue similar, con mayores acumulaciones en la superficie y menor en profundidad.



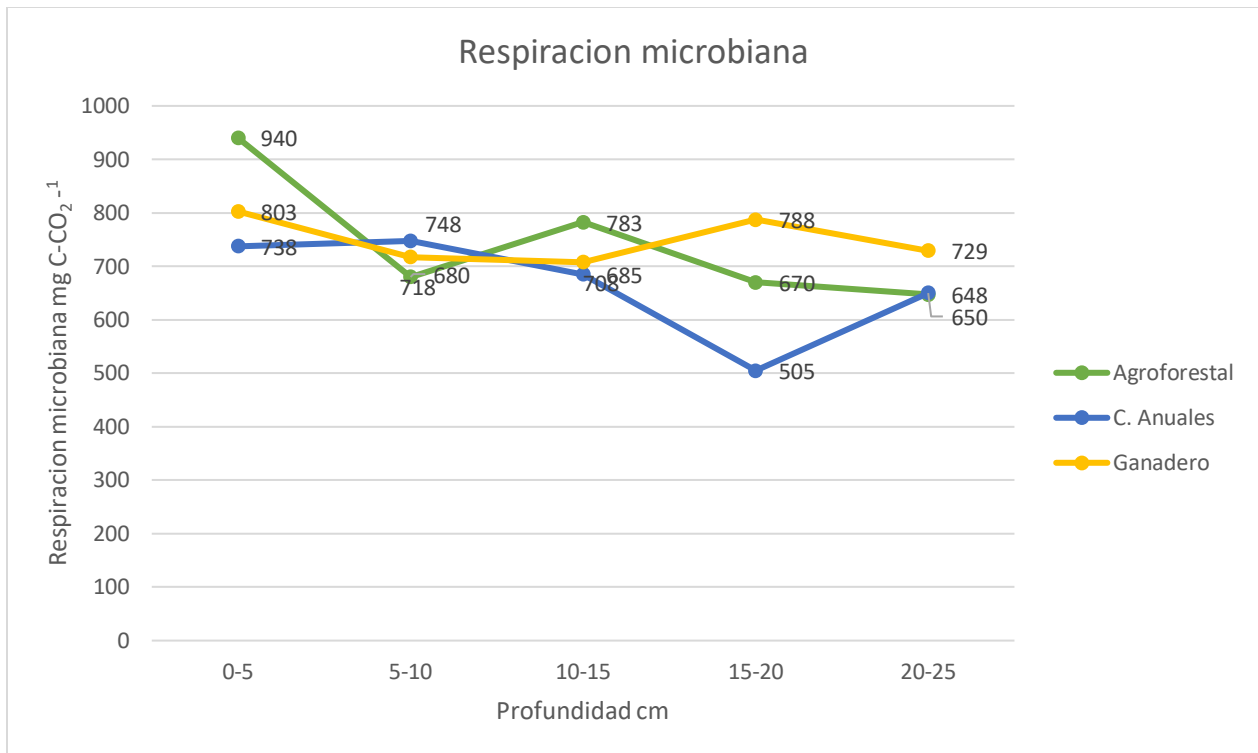
**Figura 9** Tendencia de promedios de carbono orgánico acumulado en el suelo en los sitios y sistemas de la biosfera del Rio Plátano, Dulce Nombre de Culmi

La tendencia reflejada de la figura 9 del carbono orgánico del suelo en los sitios estudiados, dos de ellos presentaron valores descendentes en los sistemas. En La Providencia y Rio Largo en el

sistema agroforestal se aprecia una tendencia de ascenso ( $8.64 \text{ mgCO}_2 \text{ g}^{-1}$  y  $7.36 \text{ mgCO}_2 \text{ g}^{-1}$ ), de modo que en estos dos sitios el nivel de concentración de carbono orgánico en el suelo es mayor por ser sistemas de asociados de cultivos de producción y maderables y el constante producción de biomasa lo que significa que hay una mayor cantidad de material orgánico disponible para descomponerse y convertirse en carbono orgánico en el suelo, además, los árboles tienen una mayor capacidad para capturar y almacenar carbono (Zavala *et al.*, 2018) por ello estos valores altos presentes al aporte de materia orgánica al suelo. Para el sitio El Zapote su tendencia tuvo ascenso en el sistema de cultivos anuales ( $8.62 \text{ mgCO}_2 \text{ g}^{-1}$ ) por el motivo que esta finca en particular tenía en el mismo sistema varios cultivos de producción de igual manera la rotación y asoció de cultivos de temporada y la constante descomposición de residuos vegetales y animales.

### **5.1. Respiración Microbiana del Suelo**

Los resultados de la respiración microbiana del suelo (BMS) en los sistemas y profundidades evaluados no mostraron resultados de diferencia estadísticas significativas para las diferentes profundidades y sistemas, observándose una tendencia para la profundidad 5-10 cm en el sistema agroforestal con valores de  $940 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1}$  y que en los sistemas ganadero y de cultivos anuales presentaron rangos similares entre  $637$  y  $712 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1}$ . En un estudio bajo 3 sistemas de agroecosistemas, café y café-banano y bosque en Turrialba, Costa Rica (Uribe *et al.*, 2015) en este estudio presentó un promedio de  $580 \mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ , en agroecosistemas de café y que la respiración microbiana fue menor en parcelas bajo cultivo anual continuo o de rotación pastizal-cultivo que en sistemas con barbecho. Respecto a estos últimos reportes, los valores obtenidos en la presente investigación son inferiores, no obstante, los resultados encontrados indicaron que en los sistemas agroforestales hubo mayor acumulación y presencia de respiración microbiana que constituye una labor fundamental para generar estrategias de conservación y uso sostenible de los sistemas de producción.



**Figura 10** Representación de Respiración microbiana en profundidades y sistemas, ganadero, cultivos anuales, ganadero, en la biosfera del río plátano, dulce nombre de Culmí, Olancho

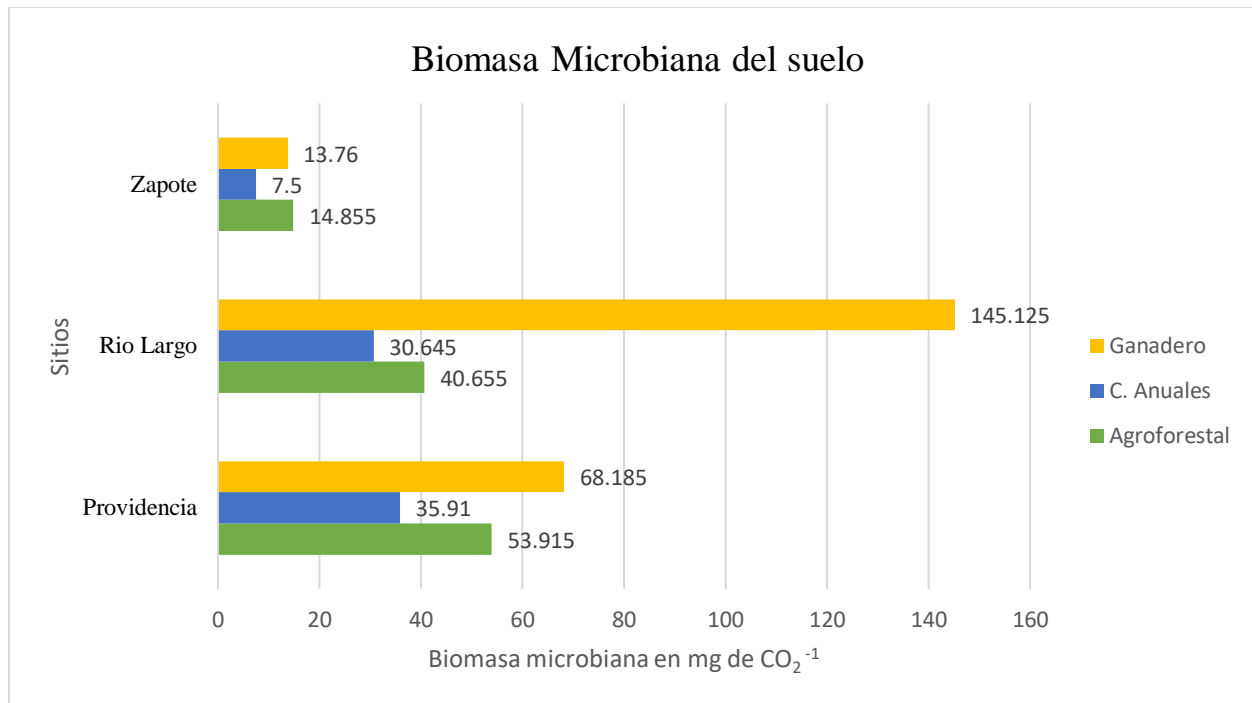
Los resultados obtenidos para la RB en este estudio superan los valores reportados en otros trabajos realizados en suelos, bajo diferentes sistemas agroforestales (café, cacao, arboles maderables) La respiración basal varió entre 505.0 para valores bajo y 940.0 mg C-CO<sub>2</sub> <sup>-1</sup> para valores altos, siendo mayor en las fincas bajo manejo orgánico en comparación con otros sistemas como lo menciona Paolini Gomez (2018). Esto indica una mayor presencia de actividad microbiana del suelo en los sistemas agroforestales, esto debido a la adición permanente y continua de fuentes de materia orgánica al suelo y la actividad estimulante de los microorganismos heterótrofos (Araújo *et al.*, 2008; Bettioli *et al.*, 2002; Saffigna *et al.*, 1989; Okur *et al.*, 2015). Los altos valores de la respiración basal en los suelos bajo manejo orgánico están relacionados con el mayor contenido de carbono orgánico, carbono hidrosoluble y biomasa microbiana de estos suelos (Paolini Gomez, 2018)

De acuerdo con Xu & Qi, (2001) las variaciones de respiración de suelo están muy influenciadas por cambios en las variables ambientales, principalmente por variación de humedad y temperatura de suelo, así como por la materia orgánica del suelo, biomasa microbiana y estados fenológico de

las especies; esto se relaciona con los resultados encontrados en esta investigación donde el sistema agroforestal a 5cm presenta más del 80 % siendo el mejor promedio en respiración microbiana ( $940 \text{ mg C-CO}_2^{-1}$ ), esto puede ser explicado por la alta cantidad y biodiversidad de especies arbóreas que logran regular la temperatura de este sistema, acondicionando un mejor microclima para distintos microorganismos edáfico.

## 5.2. Biomasa microbiana del suelo

En la siguiente figura se muestran los resultados obtenidos de la biomasa microbiana del suelo, en los diferentes sitios y sistemas, lo cual se adquirió una diferencia significativa para el sistema ganadero en el sitio de Rio Largo el cual presento el  $145.13 \text{ mg de CO}_2^{-1}$  siendo este estadísticamente mayor de los sitios analizados, y valores similares para los sistemas agroforestales ( $53,91\text{-}68.18 \text{ mg de CO}_2^{-1}$ ) y cultivos anuales ( $40.66\text{-} 30.65 \text{ mg de CO}_2^{-1}$ ). Por su parte los resultados obtenidos en este estudio superan los valores reportados por Belezaca, Carlos *et al.*, 2022) bajo bosque primario, bosque secundario, barbecho, plantación de Gmelina arbórea, y pastizal en el occidente de los andes ecuatorianos donde los valores de biomasa microbiana activa y emisiones de  $\text{CO}_2$ , donde indica que fueron superiores en el suelo de bosque primario:  $20,0 \text{ mg}^{-1}$ ,  $6,7 \text{ mg C-microbiano g}^{-1}$  de suelo seco ( $\text{mg C-mic g}^{-1} \text{ ss}$ ), y  $50,4 \text{ mg CO}_2 100 \text{ g}^{-1} \text{ s hora}^{-1}$ . En el suelo de pastizal se detectaron los menores contenidos:  $12,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $2,1 \text{ mg C-mic g}^{-1} \text{ ss}$ , y  $15,9 \text{ mg CO}_2$ .



**Figura 11** Representación de Biomasa microbiana en profundidades y sistemas, ganadero, cultivos anuales, ganadero, en la biosfera del río plátano, dulce nombre de Culmí, Olancho

Se demostró que la actividad microbiana (respiración basal) presento una mayor acumulación de biomasa microbiana en el sitio de Rio Largo con el sistema ganadero (145.13 mg de CO<sub>2</sub><sup>-1</sup>), en este sentido la BMS y su actividad metabólica, está estrechamente relacionada con los aportes de materiales carbonados, resultados de la producción primaria neta dentro de ecosistemas terrestres como son los sistemas ganaderos-silvopastoriles como lo menciona Pardo-Plaza *et al.*, (2019). Las diferencias observadas en la biomasa microbiana encontrada entre el suelo del sistema ganadero y los 2 sistemas evaluados concuerdan con la pérdida de la materia orgánica del suelo y respiración del suelo en los sistemas de cultivo anuales se extrae parte de la biomasa del cultivo (cosecha y podas), mientras que en el sistema ganadero se da un constante reciclaje de la biomasa, y aporte del estiércol del ganado en ese sistema mencionado por Durango *et al.*, (2015). La biomasa microbiana al ser la parte viva de la materia orgánica del suelo actúa como un indicador ecológico importante y responde tempranamente a cambios en las condiciones del suelo, antes de que pueda ser detectado en el carbono orgánico del suelo (Anderson, 2003). El mayor contenido de biomasa microbiana en los sistemas bajo manejo orgánico y tradicional está asociado a una mayor incorporación de materia orgánica y nutrientes vía hojarasca árboles de sombra; a pesar de las



diferencias en condiciones climáticas, tipos de suelo y cultivos, numerosos estudios sobre agricultura orgánica donde lo confirman (Paolini Gomez, 2018)

**Tabla1. Carbono de orgánico del suelo en toneladas por hectáreas en los sistemas de producción en la biosfera del río plátano, dulce nombre de Culmí, Olancho.**

Sitio	Sistema	COS (mgCO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> )	D <sub>ap.</sub> (g cm <sup>-3</sup> )	Ton. Ha	Ha/sistema	Ton.sist.	Total, en la finca (Ton.ha <sup>-1</sup> )
Rio Largo	Agroforestal	50.78	1.38	50.78	1.5	76.17	
Rilo Largo	Cultivos Anuales	25.02	1.29	25.02	3.5	87.57	205.38
Rio Largo	Ganadero	27.76	1.07	27.76	1.5	41.64	
Providencia	Agroforestal	44.92	1.04	44.92	2	89.84	334.32
Providencia	Cultivos Anuales	37.94	1.44	37.94	2	75.88	
Providencia	Ganadero	33.72	1.20	33.72	5	168.6	
Zapote	Agroforestal	40.51	0.94	40.51	3	121.53	268.22
Zapote	Cultivos Anuales	15.19	0,72	15.19	3	45.57	
Zapote	Ganadero	25.28	1.16	25.28	4	101.12	

C.O.S Carbono orgánico del suelo, D.Ap. Densidad aparente del suelo, Ha Hectáreas por sistema, y Ton/Ha Toneladas por hectáreas

En el cuadro 1 se resume los promedios (n=2) de carbono orgánico fijados en el suelo en toneladas por hectáreas en los sitios de estudio, estos resultados indican que la finca y sistema que presenta mayor concentración de carbono orgánico del suelo, presento valores de 50.78 Ton ha<sup>-1</sup> en el sistema agroforestal, para el sistema de cultivos anuales la mayor representatividad se obtuvo en la finca de Providencia con valores de 37.94 Ton ha<sup>-1</sup>, y los resultados obtenidos para el sistema ganadero fueron mayores en el sitio la Providencia con valores de 33.72To ha<sup>-1</sup> para este mismo.

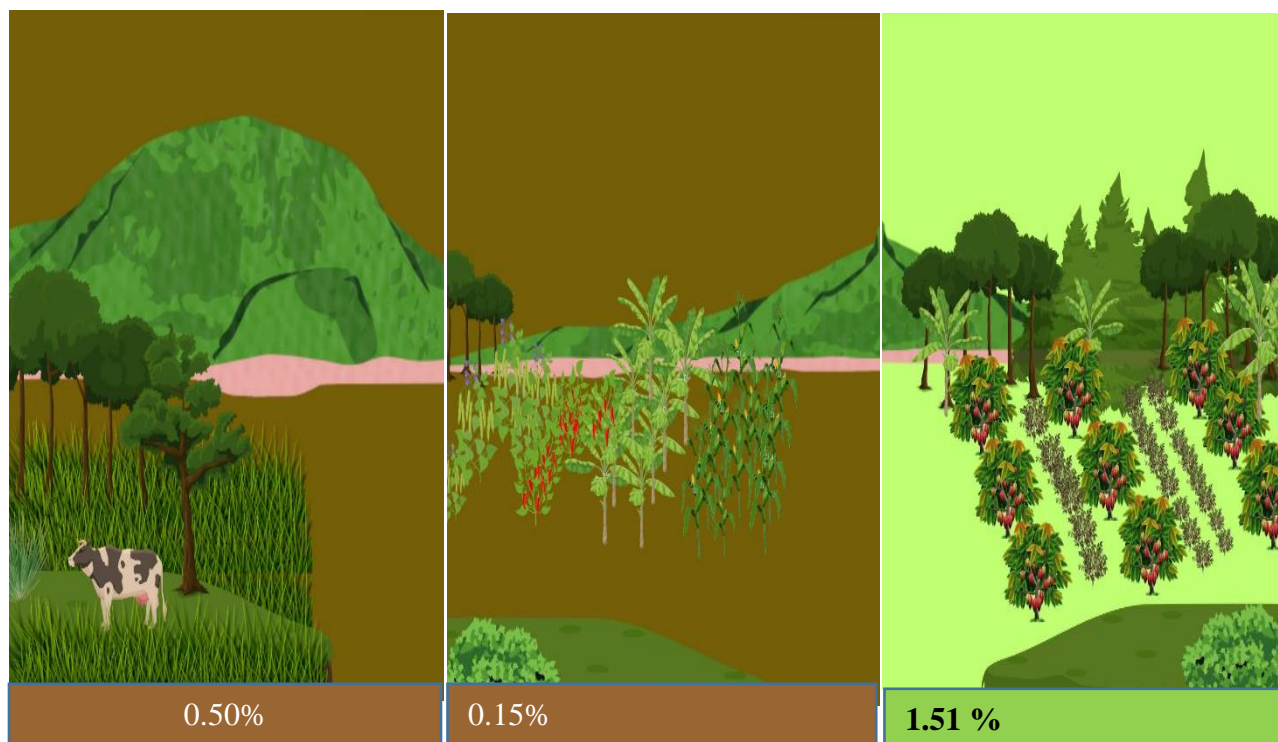
Estos valores obtenidos en este estudio son superiores a los reportados por Herrera Mosquera, (2017), bajo sistemas de ganadería, barbecho y agricultura, en Zamorano, donde el total de carbono

orgánico acumulado en esos sistemas fue de 120 y 130 ton/ha. Estos resultados fueron inferiores a los registrados en esta investigación.

**Tabla 1. Promedios de carbono orgánico, Respiración microbiana del suelo, Biomasa microbiana del suelo en sistemas y sitios de estudio.**

Sitio	Sistema	C.O.S	B.M.S	R.M.S
		(mgCO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> )	(CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> )	(mg de CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> )
		25	5	
Providencia	Agroforestal	224.64	53.91	802.50
Providencia	Cultivo Anuales	189.72	35.91	633
Providencia	Ganadero	168.6	68.19	904
Rio Largo	Agroforestal	1.38	40.66	760.50
Rio Largo	Cultivos Anuales	1.29	30.64	852
Rio Largo	Ganadero	1.07	145.13	769.50
Zapote	Agroforestal	202.57	14.86	669
Zapote	Cultivos Anuales	72.9	7.50-	510
Zapote	Ganadero	126.44	12.50	573.05

R.M.S, respiración microbiana en suelos, C.O.S, carbono orgánico en el suelo, B.M.S, biomasa microbiana del suelo, Profundidad 1 representa las profundidades de C.O.S Y B.M.S, profundidad 2 representa las profundidades para R.M.



**Sistema Ganadero**

**Sistema Cultivos Anuales**

**Sistema Agroforestal**

**Figura 12** Representación de topología en la vegetación de los sistemas de producción con relación al COS capturado.

En la figura 12 se refleja la representación de la topología de los sistemas de producción de acuerdo a su vegetación donde el sistema agroforestal refleja la mayor representación con 1.51 % de carbono orgánico captura en el suelo, estos alcanzaron altos contenidos gracias a la frecuente incorporación de los arboles con hojarasca promueven la acumulación de materia orgánica.

En el sistema de cultivos anuales se reflejó un 0.15% de COS donde bajo el contenido de carbono gracias a prácticas agrícolas de temporada que se establecen en estos sitios.

En el sistema de producción ganadero se obtuvo menor representación a comparación del sistema agroforestal con un valor de 0.50% donde el valor es aceptable ya que la vegetación de pastos y arboles ayuda en la cobertura del suelo y ayuda al almacenamiento de COS.

## 6. CONCLUSIONES

1. Se demostró que el sistema que presentó mayores índices de carbono orgánico acumulado en el suelo fue el sistema agroforestal con  $2.18 \text{ mgCO}_2 \text{ g}^{-1}$  para la profundidad de 5-10 cm ya que este sistema existe una asociación e interacción de cultivos a lo que contribuye a la conservación de carbono orgánico.
2. Se demostró que el sitio con mayor representación de carbono orgánico fue Providencia ya que se encuentra con una pendiente moderada la cual permite que se acumule los sedimentos de materia orgánica y hay una mayor interacción entre los sistemas ya que estos se encuentran en la parte superior del terreno lo cual permite que la materia orgánica resida en la parte baja de la ladera.
3. Se encontró que la mayor presencia de respiración microbiana se encuentra entre los primeros 5 a 15 cm de profundidad, de igual forma se demostró que el sistema que presentó una mayor acumulación es el agroforestal.
4. Con base en los resultados obtenidos, se puede concluir que la biomasa microbiana presente en estos sistemas estudiados tuvo diferencias significativas y se encontró un mayor índice en el sistema ganadero ya que este se encuentra un sistema silvopastoriles el cual hay una integración entre las plantas y los estiércoles de los animales.
5. Se encontró que los sistemas y el sitio con menor captura de carbono, respiración microbiana y biomasa microbiana fue la Comunidad del Zapote ya que obtuvo menores rendimientos en todos estudios analizados.
6. Se encontró que los índices de carbono orgánico los sistemas de producción estudiados en esta investigación son inferiores a los índices de bosque primario ya que estos almacenan la mayor parte en su biomasa y piso forestal.

## **7. RECOMENDACIONES**

1. Para los sistemas que presentaron un menor rendimiento de carbono orgánico se recomienda realizar prácticas de retención de materia orgánica conservar y aumentar la actividad microbiana.
2. Se recomienda realizar mediciones a largo plazo en las mismas estaciones estudiadas para evaluar la respiración del suelo y la biomasa microbiana.
3. Para los sistemas de cultivos anuales se recomienda implementar prácticas que se fomenta la diversidad de microorganismos en el suelo mediante la rotación de cultivos y la adopción de prácticas de agricultura sostenible.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acevedo, E. (2003). Sustentabilidad en cultivos anuales. *Proceedings Del Seminario Sustentabilidad En Cultivos Anuales. Santiago, Chile, 3 Y 4 De Diciembre, 2002, January 2003*.
- Acosta, Y., & Paolini, J. (2006). Dinámica de la biomasa microbiana (C y N) en un suelo de la península de Paraguaná tratado con residuos orgánicos\*. *Multiciencias*, 6(2), 180–187.
- Altieri, M y Nicholls, C., Alan Chalmers, P. F., Sanmartín, J., Chalmers, A. F., Introductoria, N., La, S., La, N. D. E., Agroecolog, L., & Guzm, S. (2000). Agroecología: Teoría y práctica para una agricultura sustentable. *Diario de Campo*, 1–16.
- Amores, M. (2020). *Efecto de prácticas de manejo del suelo y sus interacciones en la dinámica del carbono orgánico del suelo: Revisión de Literatura*. 24p.
- Anderson, T. H. (2003). Microbial eco-physiological indicators to asses soil quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 98(1–3), 285–293. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00088-4](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00088-4)
- Andrade Castañeda, H. J., Alvarado, J., & Segura, M. (2013). Almacenamiento de carbono orgánico en suelos en sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) En el municipio del Líbano, Tolima, Colombia. *Colombia Forestal*, 16(1), 21. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2013.1.a02>
- Autoridad Nacional del Servicio Civil. (2021). Sistemas Agro Forestales. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 90.
- Belezaca, Carlos, C. K., Solano Apuntes, E. H., Solano Apuntes, A. P., & Díaz Navarrete, P. E.

- (2022). Emisiones de CO<sub>2</sub> y contenidos de carbono de la biomasa microbiana del suelo en el “Bosque Protector Murocomba”, occidente de los Andes Ecuatorianos. *Revista de Investigación Talentos*, 9(1), 18–32. <https://doi.org/10.33789/talentos.9.1.158>
- Benedetti Ruiz, S., & Espinoza R., N. (1992). Sistemas agroforestales. *Ciencia & Investigación Forestal*, 6(2), 281–293. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.1992.174>
- Burbano Orjuela, 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>
- Cabrera, F. (2007). Materia orgánica del suelo: papel de las enmiendas orgánicas. *Real Academia Sevillana de Ciencias*, 3, 275–291.
- Cala, A. P. (2021). Sistemas Agroforestales y Servicios Ecosistémicos. El caso de siete agricultores familiares del municipio de Ventaquemada en Boyacá. *Industry and Higher Education*, 3(1), 1689–1699. <http://journal.unilak.ac.id/index.php/JIEB/article/view/3845%0Ahttp://dspace.uc.ac.id/handle/123456789/1288>
- Cely-reyes, G. E., & Moreno-perez, D. F. (2016). Determinación de las fracciones de carbono orgánico en el suelo del páramo La Cortadera, Boyacá. *Ingenio Magno*, 7(2), 139–149.
- Chon, N. Q. (2018). SOIL MICROBIAL BIOMASS. *Eurofins*.
- Cordero, G. D. (2012). El cambio Climático. *Ciencia y Sociedad*, Vol. XXXVII.
- Córdoba, U. N. D. E. (2019). “ *La finca agroecológica : Último refugio de la alimentación sana* .”
- Docampo, R. (2014). Manejo En Producción Frutícola. *Inia*, 67, 81–89.
- Durango, W., Uribe, L., Henríquez, C., & Mata, R. (2015). Respiración, Biomasa Microbiana Y Actividad Fosfatasa. *Agronomía Costarricense*, 39(1), 37–46. [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0377-94242015000100003&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0377-94242015000100003&script=sci_arttext)
- Espinoza-Domínguez, W., Krishnamurthy, L., Vázquez-Alarcón, A., & Torres- Rivera, A. (2012).

- Almacén De Carbono En Sistemas Agroforestales Con Café. *Revistas Chapingo Seria Ciencias Forestales y Del Ambiente*, XVIII(1), 57–70.  
<https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.04.030>
- Eyherabide, M., Saínz Rozas, H., Barbieri, P., & Eduardo Echeverría, H. (2014). Comparación De Métodos Para Determinar Carbono Orgánico En Suelo. *Cienc Suelo (Argentina)*, 32(1), 13–19.
- Federal, N., Cear, D. O., Do, N., Laborat, S., Microbiologia, R. I. O. D. E., & Solo, D. O. (1995). U NIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ Respirometria. ) *Métodos Aplicados En Microbiología y Bioquímica Del Suelo*, 4–5.
- Garro, J. (2016). El suelo y los abonos orgánicos. *Sector Agro Alimentario*, 11(1), 17–20.
- GLOSOLAN. (2022). *Global Soil Laboratory Network*. <https://www.fao.org/global-soil-partnership/glosolan/en/>
- González-Vila, F. J., Almendros, G., González-Pérez, J. A., Knicker, H., Gonzalez-Vazquez, R., Hernandez, Z., Piedra-Buena, A., & De la Rosa, J. M. (2009). Transformaciones de la materia orgánica del suelo por incendios naturales y calentamientos controlados en condiciones de laboratorio. *Efectos de Losincendios Forestales Sobre Los Suelos En España*, C, 220–267.
- Hernández, J. E., Tirado Torres, D., & Beltrán Hernández, R. I. (2014). Captura de carbono en los suelos. *PÄDI Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI*, 1(2).  
<https://doi.org/10.29057/icbi.v1i2.506>
- Herrera Mosquera, M. C. (2017). *Estimación del contenido de carbono en suelos con diferentes usos en la Escuela Agrícola Panamericana*, Zamorano. 1–39.  
<https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6041/1/IAD-2017-017.pdf>
- IICA Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2021). *Manejo de fincas a través de prácticas y tecnologías agroecológicas de adaptación al cambio climático*.
- IPCC. (2001). 2001: Informe de Síntesis. *Intergovernmental Panel on Climate Change*, 206.  
[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/TAR\\_syrfull\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/TAR_syrfull_es.pdf)



- Kathryn Gregory-Wodzicki. (2001). *C. El Ciclo de Roca : Ciclo mas Lento* . 3–6.
- L. Rodriguez. (2011). *Conservación de los recursos naturales para una Agricultura sostenible Materia orgánica y actividad biológica Qué es y qué hace*. 1–28.
- Lefevre, C. (2017). Carbono orgánico del suelo - el potencial Oculto. In *Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO*.
- Lefèvre, C., Rekik, F., Alcantara, V., & Wiese, L. (2017). *CARBONO ORGANICO DEL SUELO,potencial oculto*. file:///C:/Users/OneDrive/Documentos/Doc\_Tesis/Carbono del suelo - FAO.pdf
- Lefèvre, C., Rekik, F., & Wiese, L. (2017). *Carbono Orgánico del Suelo*.
- Lessard, R., Gignac, D., & Rochette, P. (2005). El Ciclo del Carbono: Midiendo el flujo del CO<sub>2</sub> del suelo. *Green Teacher*, 3(23), 3–17.
- LLAMUCA, J. L. A. (2015). *DETERMINACIÓN DE CARBONO EN EL SUELO DE BOSQUE NATIVO DE CEJA ANDINA EN EL SECTOR GUANGRA, PARROQUIA ACHUPALLAS, CANTÓN ALAUSÍ, PROVINCIA DE CHIMBORAZO*. 2015, 1–239.
- López-Salazar, R., González-Cervantes, G., Vázquez-Alvarado, R. E., Olivares-Sáenz, E., Vidales-Contreras, J. A., Carranza de la Rosa, R., & Ortega-Escobar, M. (2018). Metodología para obtener ácidos húmicos y fulvicos y su caracterización mediante espectrofotometría infrarroja. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8, 1397–1407. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i8.1094>
- López-Santiago, J. G., Casanova-Lugo, F., Villanueva-López, G., Díaz-Echeverría, V. F., Solorio-Sánchez, F. J., Martínez-Zurimendi, P., Aryal, D. R., & Chay-Canul, A. J. (2019). Carbon storage in a silvopastoral system compared to that in a deciduous dry forest in Michoacán, Mexico. *Agroforestry Systems*, 93(1), 199–211. <https://doi.org/10.1007/S10457-018-0259-X>
- López, M. M., & Molina, L. R. R. (2007). LOS SISTEMAS AGROFORESTALES. *Universidad Nacional Agraria*.

- Melania, M., & Mena, A. (2020). *Efecto de prácticas de manejo del suelo y sus interacciones en la dinámica del carbono orgánico del suelo: Revisión de Literatura.*
- Mena Mosquera, V. E., & Andrade, H. J. (2019). *Valoración del servicio ambiental de almacenamiento y fijación de carbono en bosques y sistemas agroforestales con cacao en territorios de comunidades afrodescendientes del departamento del Chocó.*
- Misra, R., Alston, A., & Dexter, A. (1989). Agricultura sostenible y conservación de suelos. *Soil Till, Ficha Técn*, 103–116.
- Montiel, K., & Ibrahim, M. (2016). Manejo integrado de suelos para una agricultura resiliente al cambio climático. *Instituto Interamericano de Cooperación Para La Agricultura (IICA)*, 29.
- Montse, & Escutia. (2012). Microorganismos del suelo y biofertilización. *Vida Sana*, 1/43.
- Mora, V. (2001). *Fijación, Emisión y Balance de Gases de Efecto de Invernadero en Pasturas en Monocultivo y en Sistemas Silvopastoriles de Fincas Lecheras Intensivas de las Zonas Altas de Costa Rica* (p. 92).  
[http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/2149/Fijacion\\_emision\\_y\\_balance\\_de\\_gases.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/2149/Fijacion_emision_y_balance_de_gases.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Morales Coutiño, T. A., & Ferrer, G. J. (2010). Carbono en sistemas ganaderos en un paisaje de conservación REBIMA Chiapas, México. *Ganadería Y Ambiente, Maestría e*, 62.
- Muschler, R. G. (2008). Shade Management and its Effect on Coffee Growth and Quality. *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production: A Guidebook for Growers, Processors, Traders, and Researchers*, April 2008, 391–418.  
<https://doi.org/10.1002/9783527619627.ch14>
- Nannipieri, P., Ascher, J., Ceccherini, M. T., Landi, L., Pietramellara, G., & Renella, G. (2003). Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science*, 54(4), 655–670.  
<https://doi.org/10.1046/j.1351-0754.2003.0556.x>
- Osorio-Vega. (2009). Microorganismos del suelo y su efecto sobre la disponibilidad y absorción de nutrientes por las plantas. *Materia Orgánica Biología Del Suelo y Productividad Agrícola:*

- Segundo Seminario Regional Comité Regional Eje Cafetero*, 43–71.  
[https://doi.org/10.38141/10791/0003\\_3](https://doi.org/10.38141/10791/0003_3)
- Pan, Y., Birdsey, R. A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P. E., Kurz, W. A., Phillips, O. L., Shvidenko, A., Lewis, S. L., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Pacala, S. W., McGuire, A. D., Piao, S., Rautiainen, A., Sitch, S., & Hayes, D. (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333(6045), 988–993.  
<https://doi.org/10.1126/science.1201609>
- Panichini, M. (2017). Importancia del suelo en el secuestro de carbono. *Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias*, 463, 37–46.
- Paolini Gomez, J. E. (2018). Actividad microbiológica y biomasa microbiana en suelos cafetaleros de los Andes venezolanos. *Revista Terra Latinoamericana*, 36(1), 13.  
<https://doi.org/10.28940/terra.v36i1.257>
- Pardo-Plaza, Y. J., Paolini Gómez, J. E., & Cantero-Guevara, M. E. (2019). Biomasa microbiana y respiración basal del suelo bajo sistemas agroforestales con cultivos de café. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 22(1), 1–8.  
<https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1144>
- Raquel, P. I., & Sara, V. Y. (2014). La materia orgánica del suelo. papel de los microorganismos. *Ciencias Ambientales*, 1–11.
- Raudes, M., Sagastume. (2009). *Manual Conservación de Suelos*.
- Riebeek, H. (2011). *NASA Earth Observatory : The carbon Cycle. C*.
- Rodríguez, D. F. S. (2016). *EVALUACIÓN DEL CARBONO ALMACENADO EN LA BIOMASA, NECROMASA Y CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO DE TRES DIFERENTES HÁBITATS EN LA PENÍNSULA DE OSA, COSTA RICA*.
- Rügnitz, M. T., Chacón, M. L., & Porro, R. (2008). Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales. In *Consortio Iniciativa Amazónica (IA) y Centro Mundial Agroforestal (ICRAF)*.

- Sanchez, D. V. (2016). Dinámica Del Carbono Orgánico En Suelos De Sistemas Agroforestales Cafeteros En Tibacuy, Cundinamarca. *Gastronomía Ecuatoriana y Turismo Local.*, 1(69), 5–24.
- SANCHEZ, S. C., & MATIN, L. F. L. (1997). *TEMAS MONOGRAFICOS 1.pdf* (p. 55).
- Schroeder, P. (1994). Carbon storage benefits of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 27(1), 89–97. <https://doi.org/10.1007/BF00704837/METRICS>
- Segura-Castruita, M. A., Sánchez-Guzmán, P., Ortiz-Solorio, C. A., & Del Carmen Gutiérrez-Castorena, M. (2005). Carbono orgánico de los suelos de México. *Publicado En Terra Latinoamericana*, 23, 21–28.
- Sharry, S. E. (2004). *CAPITULO 1 Los sistemas agroforestales*. 11–26.
- Solomon, S., Qin, D., & Manning, M. (2018). Informe aceptado por el Grupo de Trabajo I del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático pero no aprobado en detalles. *Cuarto Informe de Evaluación Del Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre Cambio Climático (IPPC) Editores: Kansri B., Filippo G., y Bubu J*, 94.
- Tobergte, D. R., & Curtis, S. (2013). Sistemas de producción Animal. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Toledo, G., Gargaglione, V., Peri, P. L., & Toledo, S. (2020). Biomasa y respiración microbiana: Respuesta ante cambios en la humedad del suelo en la Estepa Magallánica Seca de Santa Cruz, Argentina. *Informes Científicos Técnicos - UNPA*, 12(3), 151–165. <https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v12.n3.746>
- Turbay, S., Nates, B., Jaramillo, F., Vélez, J. J., & Ocampo, O. L. (2014). Adaptation to climate variability among the coffee farmers of the watersheds of the rivers Porce and Chinchiná, Colombia. *Investigaciones Geográficas*, 85(85), 95–112. <https://doi.org/10.14350/rig.42298>
- Uribe, L., Henríquez, C., & Mata, R. (2015). Respiración, biomasa microbiana y actividad fosfatasa del suelo en dos agroecosistemas y un bosque en Turrialba, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. <https://doi.org/10.15517/rac.v39i1.19543>

- Vásquez, R., Macías, F., & Menjivar, J. C. (2013). *Respiración del suelo según su uso y su relación con algunas formas de carbono*. 25(3), 175–180.
- WingChing-Jones, R., & Uribe, L. (2016). Biomasa y actividad microbiana en suelos de uso ganadero. *Cuadernos de Investigación UNED*, 8(1), 107–113. 10.22458/urj.v8i1.1231 <http://investiga.uned.ac.cr/revistas/index.php/cuadernos/article/view/1231>
- Xu, M., & Qi, Y. (2001). Soil-surface CO<sub>2</sub> efflux and its spatial and temporal variations in a young ponderosa pine plantation in northern California. *Global Change Biology*, 7(6), 667–677. <https://doi.org/10.1046/j.1354-1013.2001.00435.x>
- Zavala, W., Merino, E., & Peláez, P. (2018). Influence of three agroforestry systems of cocoa cultivation on carbon capture and storage. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 493–501. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.04>
- (s.f.).
- Altieri, A. M. (2001). Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables. En A. M. Altieri, *Ediciones Científicas Americanas ISBN* (pág. 1 a 3).
- Araujo, J. (04 de 02 de 2022). *ISSUU*. Obtenido de ISSUU: [https://issuu.com/josearaujo95/docs/practica\\_de\\_microbiologia\\_del\\_suelo\\_2](https://issuu.com/josearaujo95/docs/practica_de_microbiologia_del_suelo_2)
- Christos, G., & Shaw, M. C. (06 de Marzo de 2014). The role of soil microbes in the global carbon cycle: tracking the below-ground microbial processing of plant-derived carbon for manipulating carbon dynamics in agricultural systems. *JOURNAL OF THE SCIENCE OF FOOD AND AGRICULTURE*, 5 a 9. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4283042/>
- Connolly Wilson, R. Y., & Corea Siu, C. A. (2007). *Cuantificación de la captura y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestal y forestal en seis sitios de municipios de Nicaragua*. Managua. Recuperado el 19 de Marzo de 2023, de <file:///C:/Users/h/Desktop/doc.%20de%20tesis%20gensy/35164844.pdf>

- Cruz, B. (01 de 06 de 2012). *ubvsuelos.wordpress.com*. Obtenido de [ubvsuelos.wordpress.com](https://ubvsuelos.wordpress.com/manejo-agroecologico-de-suelos/):  
<https://ubvsuelos.wordpress.com/manejo-agroecologico-de-suelos/> [...]
- Cuervo-Barahona, C.-R. D.-P. (2016). Determinación de las fracciones de carbono orgánico en el suelo del páramo La Cortadera, Boyacá. *Ingenio Magno* 7(2).
- David, R. (2019). Entrevista — El suelo: el tesoro que vive bajo nuestros pies. *European Environment Agency*.
- FAO. (07 de Diciembre de 2017). FAO Maps Carbon Stocks in Soil. *United Nation Climate change*. Obtenido de <https://unfccc.int/news/fao-maps-carbon-stocks-in-soil>
- FAO, L. C. (2017). *Carbono organico del suelo el potencial oculto*. Italia, Roma. Recuperado el 20 de Febrero de 2023, de <file:///C:/Users/h/Desktop/doc.%20de%20tesis%20gensy/i6937s.pdf>
- Izquierdo, D. D. (29 de Junio de 2018). *Academia de Ciencias de la Región de Murcia*. Obtenido de <https://www.um.es/acc/el-carbono-organico-y-la-funcionalidad-del-suelo/>
- Joyce Edith Hernández, D. T. (2002). Captura de carbono en los suelos. *UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE HIDALGO*.
- TECNAL. (2023). La microbiología del suelo y su importancia para sostenibilidad agrícola. *TECNAL*. Obtenido de [https://tecnal.com.br/es/blog/338\\_la\\_microbiologia\\_del\\_suelo\\_y\\_su\\_importancia\\_para\\_la\\_sostenibilidad\\_agricola](https://tecnal.com.br/es/blog/338_la_microbiologia_del_suelo_y_su_importancia_para_la_sostenibilidad_agricola)
- Zita, F. A. (25 de Mayo de 2022). Ciclo del carbono. *TodaMateria*.

## **9. ANEXOS**

*Anexo 1. Identificación del área de estudio y transeptos realizados*







Anexo 2 Extracción de suelo con barrero





*Anexo 3 Almacenado las muestras del suelo en baldes con la respectiva profundidad*



Anexo 4 Preparado de las muestras secadas y cernidas







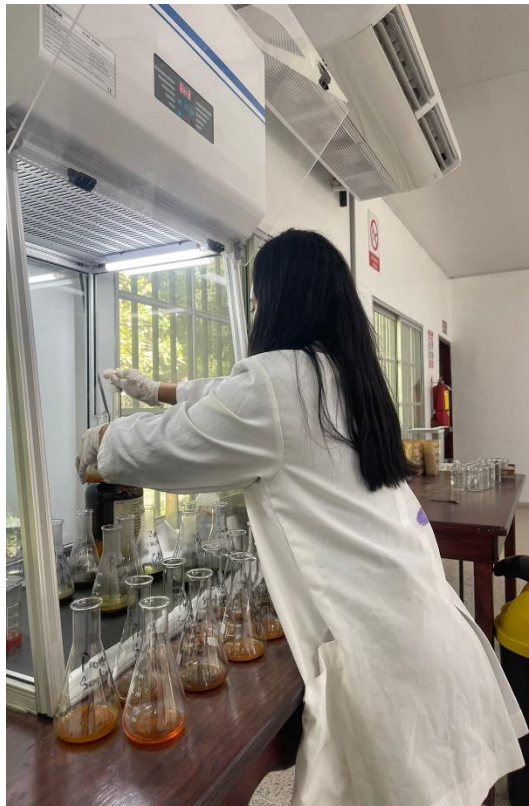
Anexo 5 Pesado de las muestras en balanza analítica y depositado en

erlenmeyer de 250 ml





*Anexo 6 Determinación de carbono orgánico del suelo en laboratorio*

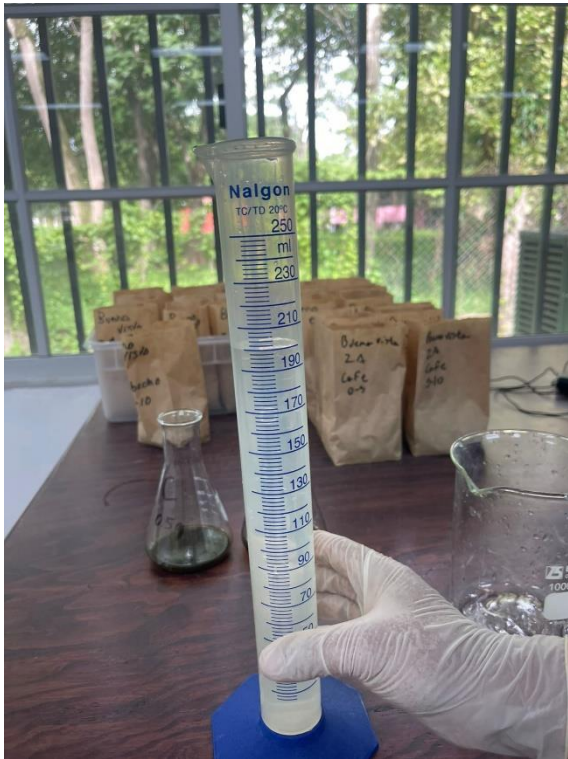




Anexo 7. Reacción de los reactivos agregados, ácido sulfúrico y dicromato de potasio

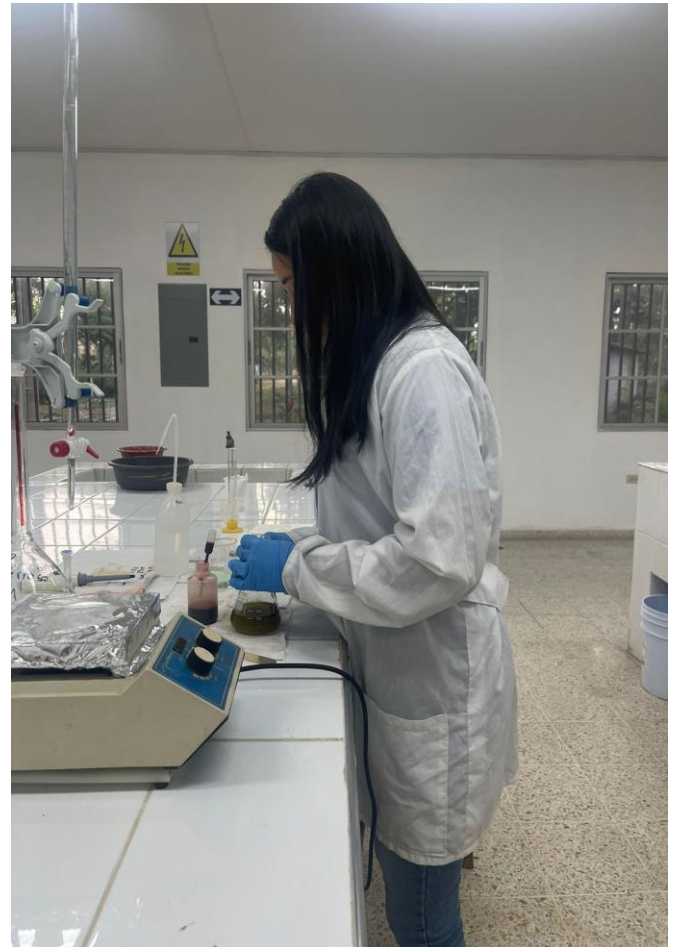


Anexo 8. Reacción de las muestras con el agua destilada





*Anexo 9. Titulación de las muestras*



Anexo 10. Cambio de colorimetría de la muestra durante la titulación

Fase 1



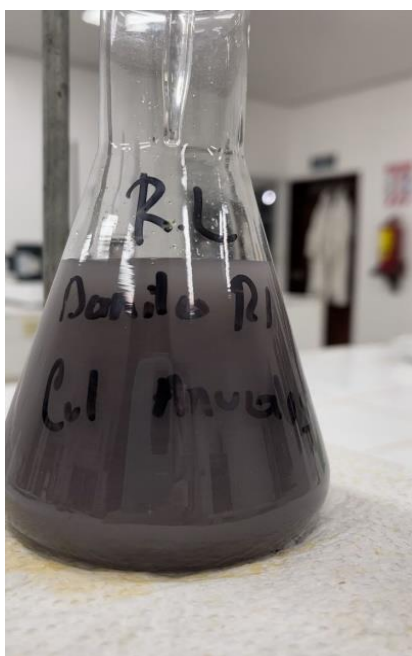
fase 2



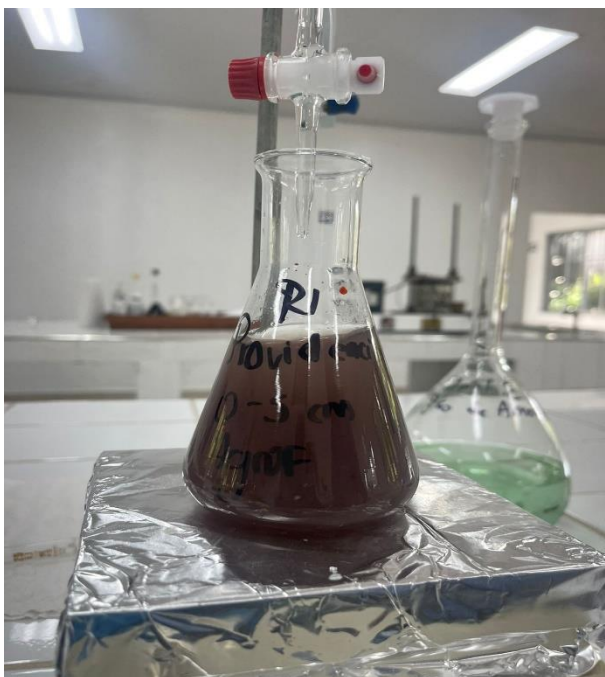
Fase 3



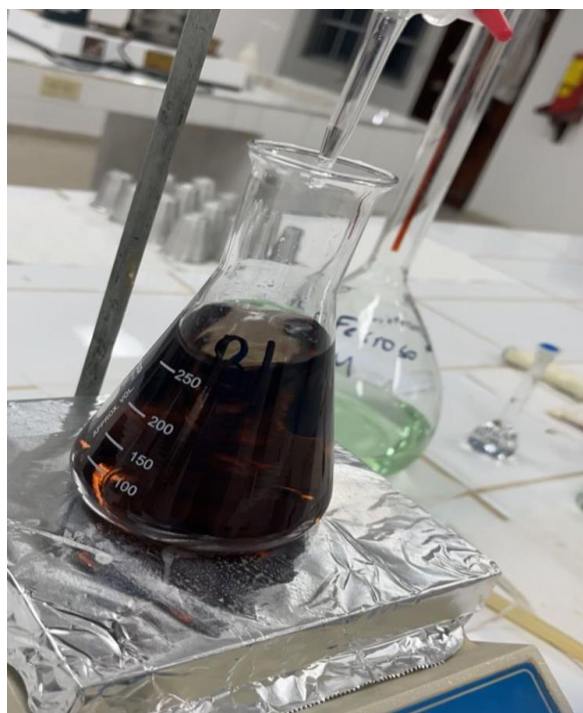
Fase 4



Fase 5.



Fase 6.

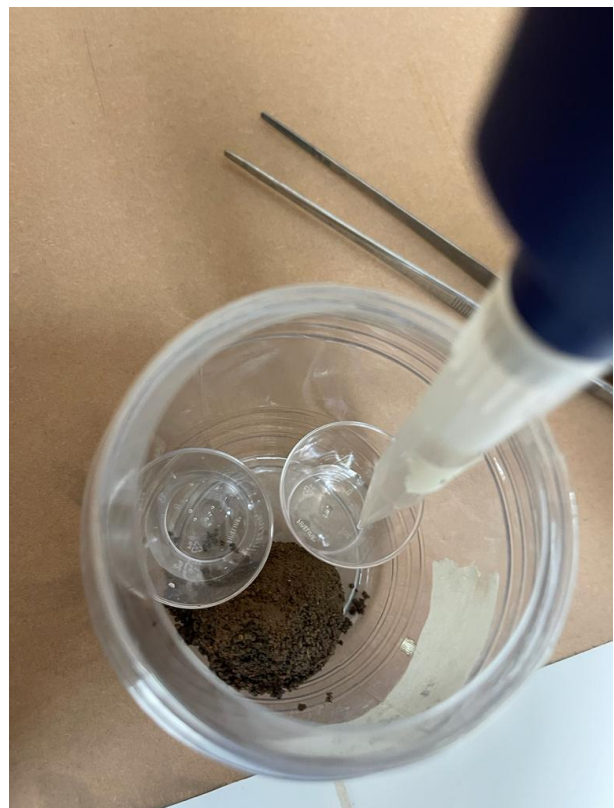
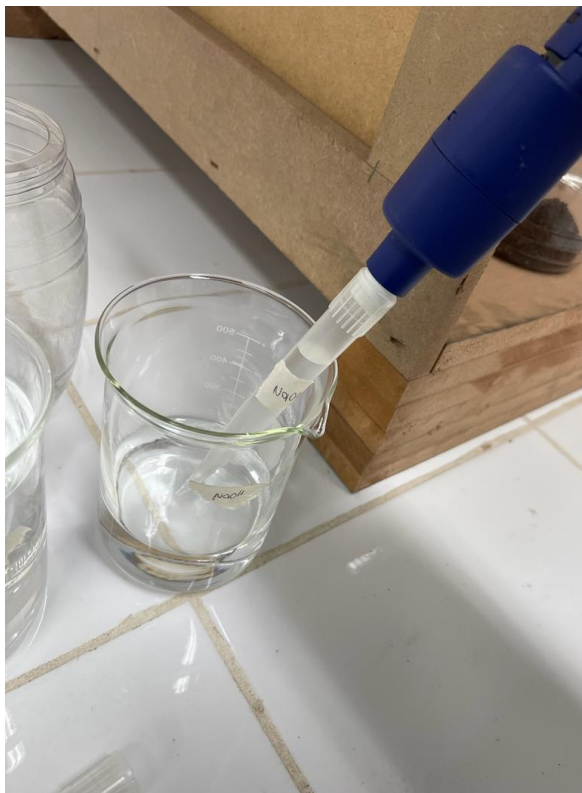




Activación del suelo durante 10 días con agua destilada



Anexo 12. Incorporación del suelo activado a los frascos con NaOH y Agua destilada

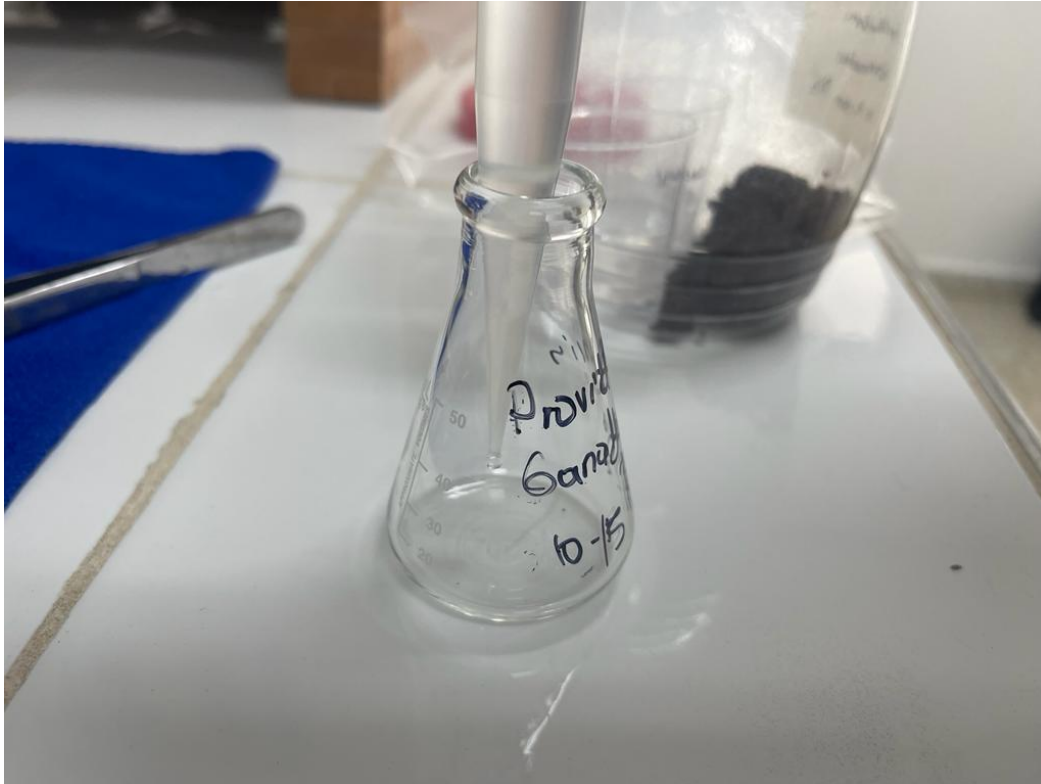


Anexo 13. Sellado hermético y llevado a cámara de incubación por 24 horas

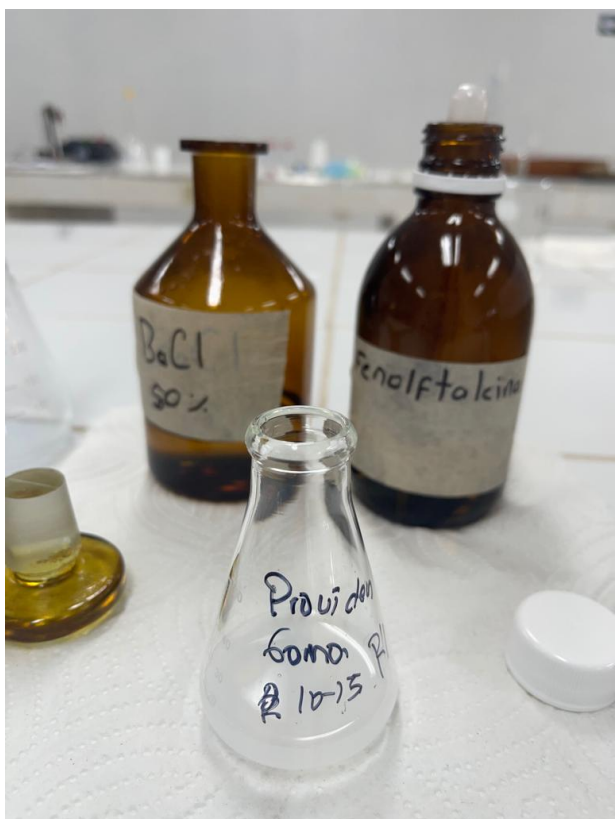




Anexo 14. Extracción del NaOH de las muestras



### Incorporación de $\text{BaCl}_2$ y 2 gotas de fenolftaleína



Anexo 16. Determinación de Biomasa microbiana

Fumigación de las muestras con cloroformo (una con cloroformo y otra sin cloroformo) y sellado con parfilm







Anexo 18. Adición de 80 ml de sulfato de potasio y agitado por 30 minutos

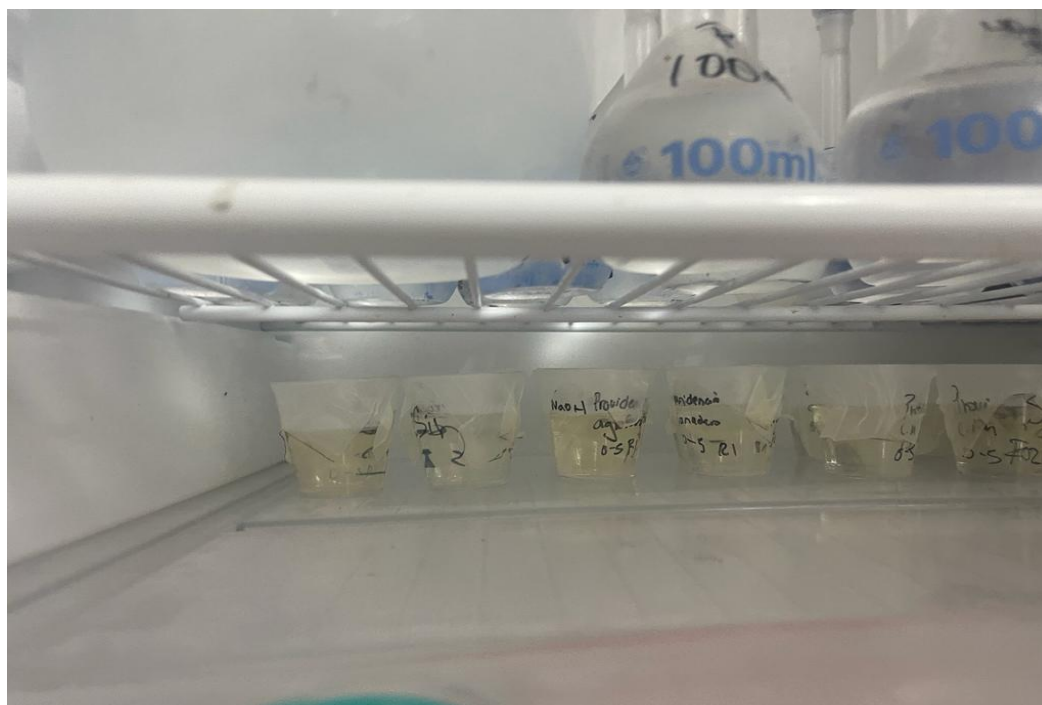


Anexo 19. Decantación y filtración de las muestras

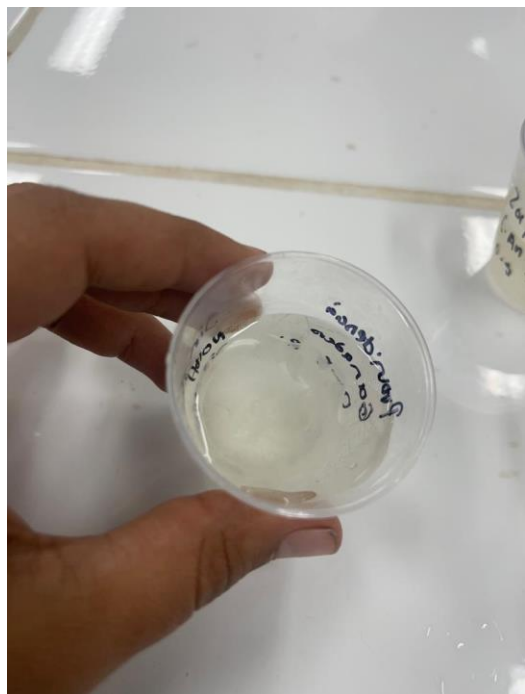




Anexo 20. Almacenamiento del extracto de las muestras decantadas



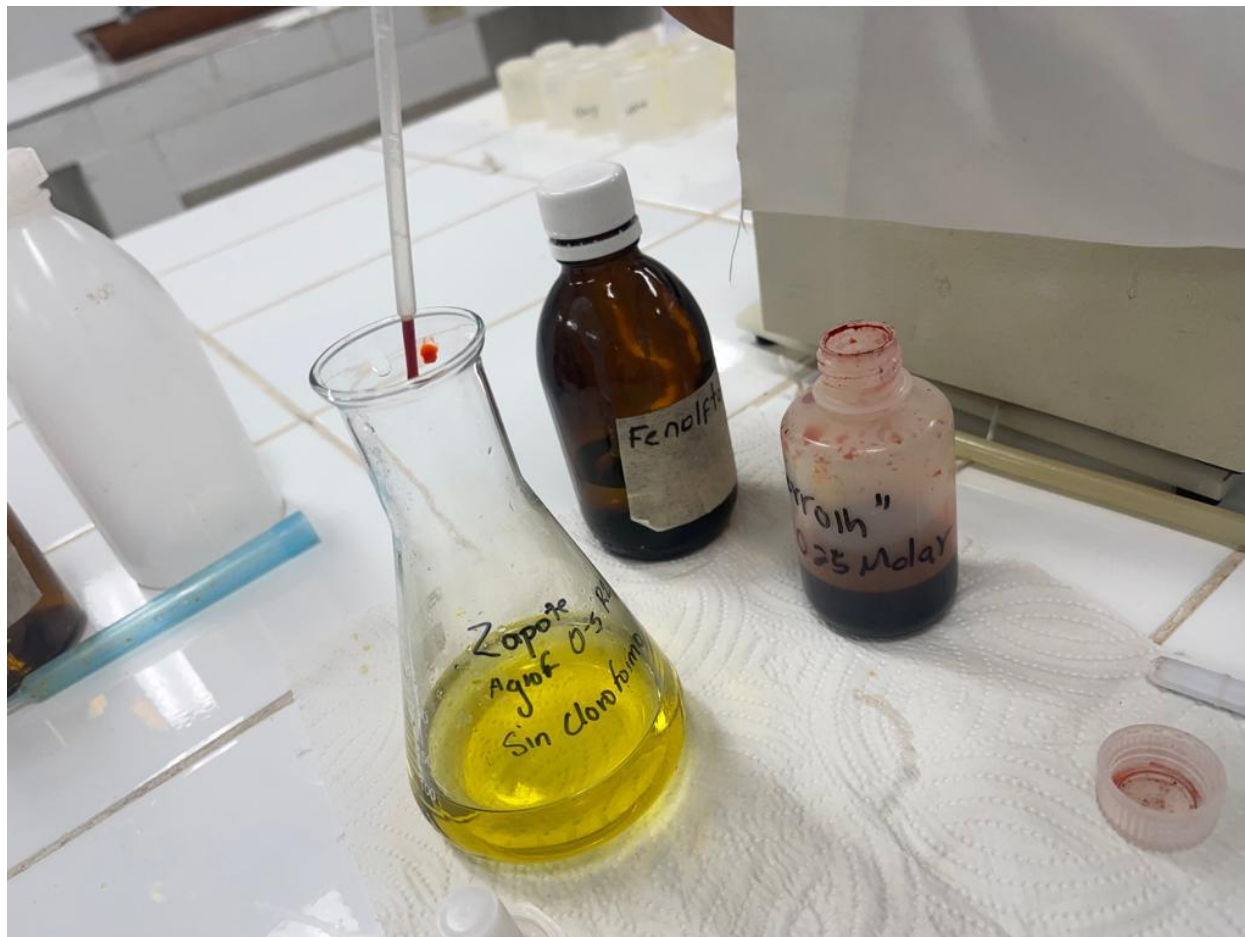
Anexo 21. Extracción de la muestra (8ml), adición de dicromato de potasio, 10 ml de ácido sulfúrico y agua destilada.



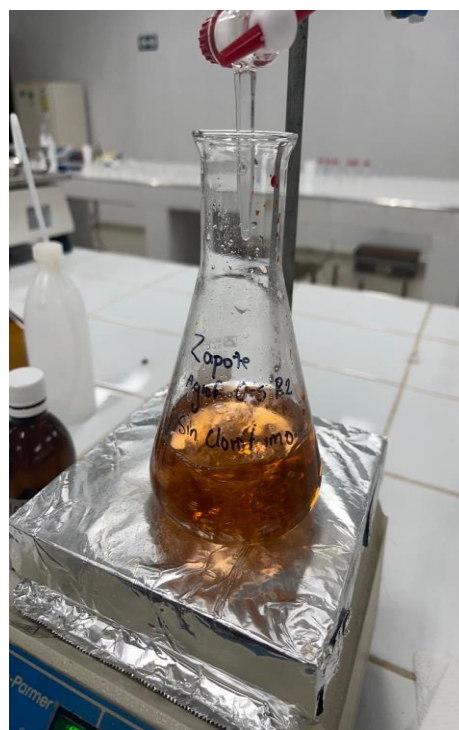
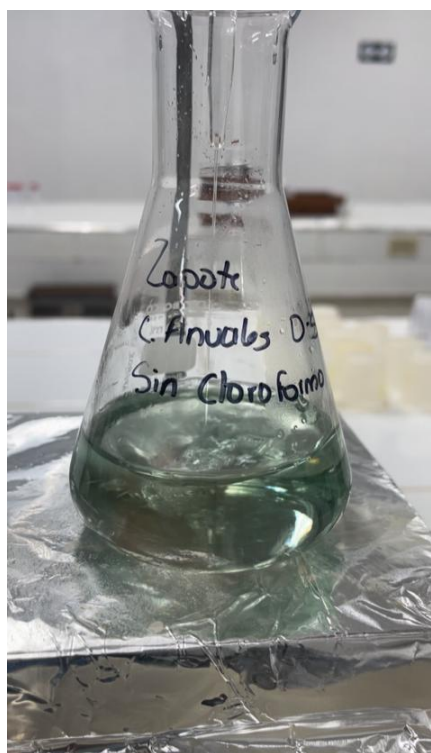
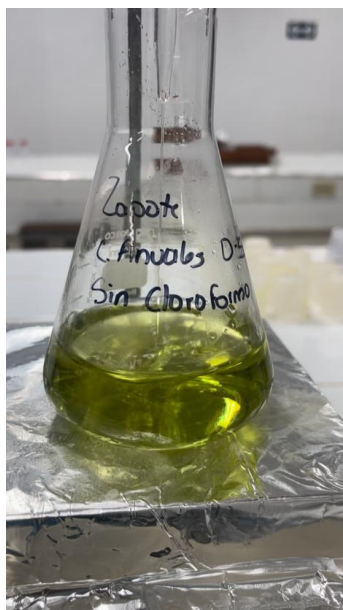
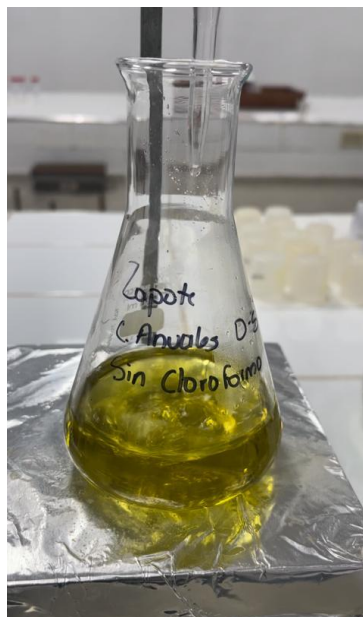




Anexo 22. Titulación de la muestra, 3 gotas de ferroina y la titulación con sulfato amoniacal ferroso



Anexo 23. Colorimetría de las muestras durante la titulación



Sulfato de potasio ( $K_2SO_4$ ) – 0.5M:

Disolver 87 g de  $K_2SO_4$  en agua destilada y completar el volumen 1L.

Bicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) - 0.0667M:

Disolver 1,9616 g de  $K_2Cr_2O_7$  en agua destilada y llevar a volumen a 100 ml

Nota: esta solución debe realizarse el día del análisis.

Ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) -0,4N: Pipetear

11,6 mL de  $H_2SO_4$  PA y agregar al agua destilada, luego completar el volumen a 1 L.

Sulfato Ferroso de Amonio ( $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ) - 0.0333M:

Pesar 13,05g de sal y disolver en 1L de solución de ácido sulfúrico 0,4N en un matraz aforado

Nota: esta solución debe protegerse de la luz y no almacenarse durante mucho tiempo

Mezcla de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) + ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) - (2:1): 150 mL de ácido fosfórico en una probeta + 300 mL de ácido sulfúrico, obteniendo 450

NOTA: Siempre agregue ácido fosfórico antes que el ácido sulfúrico

Solución indicadora de ferroína: Pesar

1,485 g de O-fenantrolina monohidratada y 0,695 g de sulfato ferroso heptahidratado ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ).

Disolver en agua destilada y completar el volumen a 100 mL.



## Anexo 25 Análisis de varianza tukey y anidado de carbono orgánico

C:\Users\50432\Desktop\carbono organico este si.IDB2 : 24/11/2023 - 16:45:28 - [Versión : 30/4/2020]

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Carbono Orgánico	45	0.62	0.36	49.98

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	14.81	18	0.82	2.36	0.0224
Sistema	2.50	2	1.25	3.59	0.0420
Sitio>Sistema	0.06	6	0.01	0.03	0.9999
Profundidad	11.99	4	3.00	8.60	0.0001
Sistema*Profundidad	4.28	8	0.53	1.53	0.1940
Error	9.06	26	0.35		
Total	23.87	44			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.53571

Error: 0.3486 gl: 26

Sistema	Medias	n	E.E.
Agroforestal	1.35	15	0.16 A
C. Anuales	1.18	15	0.16 A
Ganadero	1.01	15	0.16 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.81505

Error: 0.3486 gl: 26

Profundidad	Medias	n	E.E.
0-5	1.86	9	0.20 A
5-10	1.39	9	0.20 A B
10-15	1.23	9	0.20 A B
15-20	0.83	9	0.20 B
20-25	0.60	9	0.20 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

