

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA**



**DETERMINACION DE CARBONO Y NITROGENO TOTAL EN SUELOS  
CULTIVADOS CON CACAO (*Theobroma cacao* L) EN EL CANTON  
CANGREJERA IZALCO SONSONATE EL SALVADOR**

**TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO POR**

**LUIS ENRIQUE ALVAREZ MIRON**

**YUNIOR ERNESTO FLORIAN JACOBO**

**PARA OPTAR AL GRADO DE  
LICENCIADO EN QUIMICA Y FARMACIA**

**ABRIL 2022**

**SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTROAMERICA**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR**

**MAESTRO. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**

**SECRETARIO GENERAL**

**INGENIERO. FRANCISCO ANTONIO ALARCON SANDOVAL**

**FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA**

**DECANA**

**LICENCIADA. REINA MARIBEL GALDAMEZ**

**SECRETARIA**

**LICENCIADA. EUGENIA SORTO LEMUS**

**DIRECCION DE PROCESOS DE GRADUACION**

**DIRECTORA GENERAL**

MSc. Cecilia Haydeé Gallardo de Velasquez

**TRIBUNAL CALIFICADOR**

**ASESORA DE AREA EN APROVECHAMIENTO DE RECURSOS  
NATURALES**

MSc. Moreno Lizette Martínez de Diaz

**ASESOR DE AREA EN CONTROL DE CALIDAD DE PRODUCTOS  
FARMACEUTICOS Y COSMETICOS**

MSc. Eliseo Ernesto Ayala Mejía

**DOCENTES ASESORES**

Ing. MSc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia

Lic. Emerson Gustavo Martínez Hernández

Lic. Mario Antonio Hernández Melgar

MSc. Norbis Salvador Solano Melara

## **AGRADECIMIENTOS**

A DIOS todo poderoso por brindarme la sabiduría necesaria para culminar otro proyecto de mi vida y bendecir cada momento de mi vida.

A MI PADRE Carlos Alberto Florian por su amor incondicional, por su confianza, sus oraciones y enorme sacrificio para que pudiera salir adelante.

ESPECIALMENTE A MI MADRE Mirian de Jesús Jacobo, por los años que estuviste a mi lado, por tu sacrificio y siempre dar lo mejor de ti cada día por mí y mis hermanos.

A MIS HERMANOS Carlos, David, Kevin, Nataly, Jonathan Florian que a lo largo de mi carrera me han brindado su apoyo.

A TODA MI FAMILIA que de una u otra forma siempre me apoyaron para que lograra culminar una meta más en mi vida.

A TODOS MIS AMIGOS que a lo largo de la carrera me han brindado apoyo y por compartir tiempo y conocimientos cuando más se necesitan.

A MI COMPAÑERO DE TRABAJO DE GRADUACIÓN, Luis Enrique Álvarez Mirón, por su amistad y apoyo durante la carrera y en el trabajo de graduación.

**Yunior Ernesto Florian Jacobo**

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, a DIOS, por haber guiado mi camino durante este proceso, por todas las bendiciones recibidas, las fuerzas, sabiduría y perseverancia otorgada para culminar esta etapa de mi vida.

A MIS PADRES, Marilis Yaneth Mirón y Samuel Álvarez, por brindarme su amor, apoyo incondicional, por estar siempre conmigo, por sus consejos, por todos los sacrificios realizados para poder finalizar mis estudios y por siempre llevarme en sus oraciones.

A MI FAMILIA, especialmente a mis abuelos que me acompañan desde el cielo Rosa Mirón, Ovidio Portillo y Samuel Oliva, por brindarme todo su amor y apoyo a lo largo de mi vida. A mi abuela Milagro Ochoa que siempre ha estado apoyándome y brindándome sus consejos, a mis hermanos Samuel, Alberto y Gisselle Álvarez por su apoyo y su cariño, a mi tía Flor de María Portillo gracias por aconsejarme durante estos años, a mis primos Carlos y Beatriz Corleto

A MI COMPAÑERO DE TESIS Y MI AMIGO Yunior Florian, por su amistad, apoyo, paciencia y comprensión para culminar esta etapa. A la familia Flores Peña por su apoyo, cariño y comprensión durante todos estos años durante este proceso.

A TODOS LOS DOCENTES, Asesores de tesis, directora de procesos de graduación, directores de área y docentes que formaron parte de mi formación académica durante toda la carrera, por sus conocimientos brindados, por su dedicación y disposición de tiempo, esfuerzo empleado para revisar, evaluar y aprobar con éxito nuestro trabajo de graduación.

**Luis Enrique Álvarez Mirón**

## **DEDICATORIA**

Primeramente, a DIOS, por permitirme llegar a culminar mi carrera universitaria y darme la sabiduría necesaria a lo largo de la carrera.

A MIS PADRES por brindarme la confianza y el apoyo a lo largo de la carrera.

A LOS PROFESIONALES, DOCENTES ASESORES, por el apoyo brindado durante todo el trabajo de investigación.

AL TRIBUNAL EVALUADOR Y A LA DIRECTORA DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN por el enriquecimiento del trabajo de graduación debido a cada sugerencia aportada.

**Yunior Ernesto Florian**

A DIOS, por haber guiado mi camino durante este proceso, por todas las bendiciones recibidas, las fuerzas, sabiduría y perseverancia otorgada para culminar esta etapa de mi vida.

A MIS PADRES Marilis Yaneth Mirón y Samuel Álvarez, por brindarme su amor, apoyo incondicional, por estar siempre conmigo, por sus consejos, por todos los sacrificios realizados para poder finalizar mis estudios y por siempre llevarme en sus oraciones.

AL DEPARTAMENTO DE QUIMICA AGRICOLA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS, por permitirnos desarrollar la investigación en sus instalaciones, al Lic. Julio Galindo por su tiempo y disposición para atendernos en el establecimiento y al Ing. Samuel Pérez por su colaboración en los procesos informáticos realizados.

**Luis Enrique Álvarez Mirón**

## INDICE

<b>RESUMEN</b>	<b>pág. N°</b>
<b>CAPITULO I</b>	
1.0 INTRODUCCION	19
<b>CAPITULO II</b>	
2.0 OBJETIVOS	
<b>CAPITULO III</b>	
3.0 MARCO TEORICO	22
3.1 Origen del cacao	22
3.2 Botánica del cultivo de cacao	25
3.3 Variedades de cacao	26
3.4 Condiciones edafoclimáticas del cultivo	27
3.5 Biomasa del suelo	27
3.6 Materia orgánica del suelo	28
3.7 Densidad aparente del suelo	29
3.8 Ciclo del carbono	29
3.8.1 Carbono orgánico del suelo	31
3.9 Captura de carbono del suelo	32
3.10 Ciclo del nitrógeno	32
3.10.1 Nitrógeno del suelo	34
3.11 Captura de nitrógeno del suelo	34
3.12 Cambio climático global y gases de efecto invernadero	34
3.13 Métodos de estimación de carbono	36

3.13.1 Walkley & black	36
3.13.2 Oxidación térmica	37
3.14 Método de estimación de nitrógeno	38
3.14.1 Micro Kjeldahl	38
3.15 Objetivos del desarrollo sostenible	38
3.16 Legislación salvadoreña sobre el medio ambiente y cambio climático	39
3.16.1 Ley de medio ambiente	39
3.16.2 Ley forestal	39
3.16.3 Estrategia nacional de medio ambiente	39
3.16.4 Estrategia nacional de saneamiento ambiental	40
3.17 Gestión ambiental	40

## **CAPITULO IV**

4.0 DISEÑO METODOLOGICO	42
4.1 Tipo de estudio	42
4.1.1 Estudio de campo	42
4.1.2 Estudio experimental	42
4.1.3 Estudio exploratorio	42
4.2 Investigación bibliográfica	42
4.3 Investigación de campo	43
4.3.1 Universo	43
4.3.2 Muestra	43
4.4 Parte experimental	44
4.4.1 Descripción de la finca	44
4.4.2 Recolección de las muestras	44
4.4.3 Transporte de las muestras	46

4.4.4 Pre-tratamiento de las muestras	46
4.4.4.1 Secado	46
4.4.4.2 Cuarteo	46
4.4.4.3 Micronizado	46
4.4.4.4 Tamizado	47
4.5 Determinación de carbono total por método de combustión oxidativa	47
4.5.1 Fundamento	47
4.5.2 Procedimiento	47
4.5.3 Calculo de carbono total	48
4.6 Densidad aparente	48
4.6.1 Fundamento	48
4.6.2 Procedimiento	48
4.6.3 Calculo de densidad aparente	49
4.7 Determinación de nitrógeno total por el método de micro Kjeldahl	49
4.7.1 Fundamento	49
4.7.2 Calculo para determinación de nitrógeno	50
4.8 Análisis estadístico	51
4.8.1 Kolmogorov - Smirnov	51
4.8.2 Anova de un factor	52

## **CAPITULO V**

5.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
5.1 Muestreo por conglomerado	54
5.2 Determinación de carbono total	55
5.3 Determinación de nitrógeno total	57
5.4 Comparación de resultados de nitrógeno total con el ICA	60

5.5 Análisis estadístico	61
5.5.1 Resultados de la prueba de Kolmogorov- Smirnov	61
5.5.2 Resultados de la prueba de ANOVA de un factor	62
<b>CAPITULO VI</b>	
6.0 CONCLUSIONES	65
<b>CAPITULO VII</b>	
7.0 RECOMENDACIONES	68
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	
<b>GLOSARIO</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°	pág. N°
1. Tipos de cacao	27
2. Ciclo del carbono	30
3. Ciclo del nitrógeno	32
4. Puntos de muestreo georreferenciados en parcela 1	54
5. Puntos de muestreo georreferenciados en parcela 2	54
6. Puntos de muestreo georreferenciados en parcela 3	55
7. Resultados promedio de carbono total	56
8. Resultados promedio de nitrógeno total	58
9. Ubicación de la finca de cacao del señor Jaime Arévalo en el cantón Cangrejera, municipio de Izalco, Sonsonate, El Salvador.	82
10. Reconocimiento de la finca del señor Jaime Arévalo	83
11. Finca del Señor Jaime Arévalo dividida en tres parcelas	83
12. Muestreo por conglomerado	85
13. Lectura de muestras para análisis de Carbono Orgánico Total.	87
14. Digestión de las muestras de suelo	88
15. Destilación de muestras de suelo.	89
16. Titulación del suelo.	90
17. Código de muestreo en parcela 1 punto 1 banda.	93
18. Código de muestras de densidad parcela 1 punto A.	93
19. Muestreo de suelos	95
20. Muestreo de densidad aparente	96
21. Muestras húmedas para los análisis de carbono y nitrógeno total.	97
22. Pesado de muestras de densidad húmedas	97
23. Pre-tratamiento de las muestras	98
24. Materiales y equipo utilizado	110

## INDICE DE TABLAS

### TABLA N°

1.	Análisis descriptivo de carbono y nitrógeno total en la finca de cacao	61
3.	Análisis de Kolmogorov- Smirnov de los resultados de carbono y nitrógeno total en la finca de cacao.	62
3.	Ejemplos de las identificaciones de las muestras.	91
4.	Resultados de Carbono y Nitrógeno Total en parcela 1.	101
5.	Resultados de Carbono y Nitrógeno Total en parcela 2.	102
6.	Resultados de Carbono y Nitrógeno Total en parcela 3.	103
7.	Análisis descriptivo de carbono total entre parcelas.	105
8.	Frecuencias de carbono total entre parcelas.	105
9.	Prueba de Kolmogorov Smirnov para estimación de normalidad de datos de carbono total entre parcelas.	106
10.	Análisis de varianza de un factor entre parcelas de carbono total.	106
11.	Análisis descriptivo de nitrógeno total entre parcelas.	107
12.	Frecuencias de nitrógeno total entre parcelas.	107
13.	Prueba de Kolmogorov Smirnov para estimación de normalidad de datos de nitrógeno total entre parcelas.	108
14.	Análisis de varianza de un factor entre parcelas de nitrógeno total.	108

## INDICE DE CUADROS

### CUADRO N°

1. Resultados promedios de nitrógeno en la finca de cacao comparados con el análisis de suelo del ICA 60
2. Prueba ANOVA de un factor para las concentraciones promedio de carbono y nitrógeno total entre las tres parcelas. 63
3. Gases de efecto invernadero 91

## **INDICE DE ANEXOS**

### **ANEXO N°**

1. Ubicación geográfica del sitio de muestreo reconocimiento de la finca del señor Jaime Arévalo
2. Muestreo por conglomerado
3. Determinación de carbono y nitrógeno total
4. Gases de efecto invernadero
5. Muestreo de la finca del señor Jaime Arévalo y pre-tratamiento de las muestras de suelo
6. Resultados obtenidos de carbono y nitrógeno total
7. Material y equipo utilizado

## ABREVIATURAS Y SIMBOLOS

°C:	Grados Celsius
a.C:	Antes de Cristo
ANOVA:	Análisis de varianza unifactorial.
cc:	Centímetros cúbicos
CIT o TIC:	Carbono Inorgánico Total
cm:	Centímetro
CO:	Carbono Orgánico
CO <sub>2</sub> :	Dióxido de carbono
COP:	Carbono orgánico particulado
C/ha:	Carbono por hectárea
COT o TOC:	Carbono Orgánico Total
CT o TC:	Carbono Total
DA:	Densidad aparente
DAP:	Diámetro a la Altura del Pecho
g:	Gramo
GEI:	Gases de Efecto Invernadero
HFC:	Hidrofluorocarbonos
ICA:	Instituto Colombiano Agropecuario
INB:	Inventario Nacional de Bosques
m:	Metro
mg:	Miligramo
mg/l:	Miligramo por litro
mL:	Mililitro
mm/año:	Milímetros por año

MO:	Materia Orgánica
MOS:	Materia Orgánica del Suelo
msnm:	Metros sobre el nivel del mar
n:	Número de datos
N:	Normal o normalidad
NO <sub>2</sub> :	Dióxido de nitrógeno
NDIR:	Detector Infrarrojo no Dispersivo
NPOC:	Carbono Orgánico No Purgable
NT:	Nitrógeno Total
pH:	Potencial de Hidrógeno
PNUD:	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
tC/ha/año:	Toneladas de Carbono por hectárea por año
UV:	Ultravioleta
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
ONU:	Organización de las Naciones Unidad

## RESUMEN

La determinación de Carbono y Nitrógeno total se realizó con el objetivo de comparar las concentraciones en el suelo en ton/ha para carbono total y porcentaje de nitrógeno total entre parcelas cultivadas con cacao (*Theobroma cacao* L.) de diferentes edades bajo diferentes sistemas agroforestales.

El análisis de Carbono total (CT) y Nitrógeno total (NT) se realizó en muestras de suelo obtenidas de las bandas de fertilización del cacao (surco de plantas) y de la calle (distancia entre cada surco de plantas), se ejecutó el muestreo por el método de conglomerados en septiembre de 2019, la parte experimental se realizó en el laboratorio de Química agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, utilizando las metodologías de combustión oxidativa en la determinación de CT y Kjeldahl para determinar el NT.

La mayor concentración de CT se obtuvo en la parcela 1 ya que, es donde existe mayor acumulación de suelo y la mayor cantidad de NT se obtuvo en la parcela 3, por ser una parcela con mayor acumulación de materia orgánica en el suelo.

Los suelos de las 3 parcelas de la finca cacaotera presentan una alta concentración de nitrógeno total en comparación con un estudio realizado en el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

La densidad aparente de los suelos en la finca cacaotera es baja, es decir, los suelos son porosos, bien aireados y con buen drenaje de agua, afectando directamente las cantidades de carbono total del suelo.

Al aplicar el análisis estadístico a los resultados obtenidos de nitrógeno total y de carbono total se demostró que los datos provienen de una distribución normal (depende únicamente de una variable dependiente para la cuantificación) y con diferencias significativas entre las parcelas (dependen únicamente de las características propias de cada punto) de la finca cacaotera ubicada en el municipio de Izalco, departamento de Sonsonate en El Salvador.

**CAPITULO I**  
**INTRODUCCION**

## 1.0 INTRODUCCION

El Carbono y el Nitrógeno son dos elementos abundantes en el medio ambiente encontrándose generalmente combinado con otros elementos. El carbono es un elemento que es emitido a la atmósfera por procesos biológicos e industriales en forma de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y las variaciones atmosféricas pueden ocasionar alteraciones en el clima en un tiempo determinado, dicha molécula se ve involucrada en el proceso de la fotosíntesis de las plantas, almacenándose el carbono en la planta el cual mediante procesos de respiración radicular y la descomposición de partes de las plantas es incorporado al suelo, en el que puede ser almacenado por largos periodo de tiempo.

El Nitrógeno atmosférico es depositado al suelo por la lluvia y el Nitrógeno presente en las plantas por medio de residuos de plantas muertas que son desintegradas por medio de organismos que convierten el Nitrógeno presente en moléculas complejas a moléculas simples que son asimilables por las plantas.

Tanto el Nitrógeno como el Carbono son elementos esenciales para la fertilidad de los suelos, volviendo los suelos menos compactos y más productivos al aumentar su concentración, propiedad que se le atribuye a suelos con abundante vegetación como bosques y cultivos de plantas perennes en los que se encuentra el cultivo de cacao (*Teobroma cacao*), utilizando prácticas agrícolas tradicionales y con una mejor aportación al utilizar prácticas agrícolas orgánicas debido que la cantidad almacenada de estos elementos es la aportada por la planta sin la adición de componentes químicos que alteren la composición del suelo.

La investigación se realizó en una finca cultivada de cacao ubicada en el cantón Cangrejera, municipio de Izalco, departamento de Sonsonate, en El Salvador, con el objetivo de cuantificar el carbono y el nitrógeno total presente en el suelo. En esta finca se muestrearon tres parcelas con un área de 1,500 m<sup>2</sup> aproximadamente, divididas por la edad de las plantas de cacao y los diferentes sistemas agroforestales (esta división fue realizada por el propietario), en las que

se recolectaron 15 muestras en la calle (espacio que existe entre los surcos de las plantas del cacao) y 15 muestras en la banda de fertilización de las plantas (punto más próximo al cultivo), para análisis del carbono total y nitrógeno total, y 4 muestras para análisis de la densidad aparente por cada parcela, para obtener un total de 90 muestras para análisis de carbono total y nitrógeno total y 12 muestras para análisis de la densidad aparente. El muestreo de suelos se llevó a cabo en el mes de septiembre del año 2019, utilizando un muestreo por conglomerado. (ver anexo N° 1 y anexo N° 2)

Los análisis se realizaron en el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, utilizando el equipo multi N/C 3100 de Analytik Jena módulo de suelos para la estimación de carbono total (CT) y la metodología de micro Kjeldahl para la estimación de nitrógeno total (NT). (ver anexo N°3).

## **CAPITULO II**

### **OBJETIVOS**

## **2.0 OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

Determinar el carbono y nitrógeno total en los suelos cultivados con cacao (*Theobroma cacao* L) en el cantón Cangrejera, Izalco, Sonsonate, El Salvador.

### **2.2. Objetivos específicos**

- 2.2.1** Cuantificar el carbono total en el suelo donde se cultiva cacao mediante el equipo de carbono orgánico total (TOC) Multi N C 3100.
- 2.2.2** Calcular el nitrógeno total en el suelo de la finca de cacao por el método de micro Kjeldahl.
- 2.2.3** Clasificar el nivel de nitrógeno total del suelo con base a la interpretación de análisis de suelos y recomendaciones de fertilizantes del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).
- 2.2.4** Realizar un análisis estadístico con base en los resultados obtenidos para observar el comportamiento del carbono y nitrógeno total en tres parcelas de muestreo.

**CAPITULO III**  
**MARCO TEÓRICO**

### 3.0 MARCO TEÓRICO

#### 3.1 Origen del cacao

Respecto a su procedencia existen diversas hipótesis sobre los tipos y orígenes, Colombia es el centro de origen del cacao, este cultivo se introdujo en Centroamérica, del cual existen tres variedades del cacao: Criollos, Forasteros y Trinitarios. <sup>(24)</sup>

Según evidencias arqueológicas, en Costa Rica el árbol de cacao (*Theobroma cacao* L.) se comenzó a cultivar y a consumir por los Mayas desde los 400 años a.C. En la cultura Maya se daba gran valor a sus semillas, que se utilizaban como moneda y gracias a sus cualidades nutritivas como alimento. La cultura Azteca continuo con esa tradición, elaborando con las semillas de cacao el “xocoatl”, una bebida de fuerte sabor que producía gran energía y vitalidad. Consideraban al cacao como un don divino y un alimento de los dioses, y reservaban su consumo a personas de alta posición social. <sup>(9)</sup>

El cultivo de cacao en El Salvador no es nada nuevo, antes y durante la conquista española fue uno de los centros de mayor producción y venta de cacao. Es así como la región de Izalco se volvió tan importante para los españoles. El cacao se adoptó como moneda debido a su relativa escasez o a que con ella se preparaba una bebida considerada digna de los dioses. El intercambio comercial entre los indígenas durante el período precolombino se realizaba mediante el trueque de los diferentes productos que tenían a su disposición. Al avanzar en su civilización y desarrollo adoptaron como medio de intercambio símbolos tales como pepitas o el polvo de oro, plumas de aves preciosas como el quetzal y, por último, el cacao. <sup>(1)</sup>

Actualmente se cultiva en África, América y Asia. Los principales productores son Costa de Marfil, Ghana, Indonesia, Nigeria, Brasil, Camerún, Ecuador y Malasia.

(24)

### **3.2 Descripción botánica del cacao**

El cacao es un árbol de pequeña talla, perennifolio, de 4 a 7 m de altura (cultivado). El cacao silvestre puede crecer hasta 20 m o más. Las hojas son grandes, alternas, colgantes, elípticas u oblongas, de 20 a 35 cm de largo por 4 a 15 cm de ancho, de punta larga, ligeramente gruesas, margen liso, verde oscuro en el haz y más pálidas en el envés, cuelgan de un pecíolo. El tronco tiene un hábito de crecimiento dimórfico, con brotes ortotrópicos o chupones; ramas plagiotrópicas o en abanico. Las ramas primarias se forman en verticilos terminales con 3 a 6 ramillas, al conjunto se le llama "molinillo", es una especie cauliflora, es decir, las flores aparecen insertadas sobre el tronco o las viejas ramificaciones. (12)

La corteza externa es de color castaño oscuro, agrietada, áspera y delgada. La interna es de color castaño claro, sin sabor. Las flores se presentan en racimos a lo largo del tronco y de las ramas, sostenidas por un pedicelo de 1 a 3 cm. La flor es de color rosa, púrpura y blanca, de pequeña talla, de 0.5 a 1 cm de diámetro y 2 a 2.5 cm de largo, en forma de estrella. Pétalos 5, de 6 mm de largo, blancos o teñidos de rosa, alternos con los sépalos y de forma muy singular: comienzan estrechos en la base, se ensanchan y se hacen cóncavos para formar un pequeño capuchón, y terminan en una lígula; sépalos 5, rosas, angostos, puntiagudos, ampliamente extendidos. Las inflorescencias después de producir flores durante varios años se convierten en tubérculos engrosados que reciben el nombre de "cojinetes florales". El fruto es una baya grande comúnmente denominada "mazorca", carnosa, oblonga a ovada, amarilla o purpúrea, de 15 a 30 cm de largo por 7 a 10 cm de grueso, puntiaguda y con camellones longitudinales; cada mazorca contiene en general entre 30 y 40 semillas

dispuestas en placentación axial e incrustadas en una masa de pulpa desarrollada de las capas externas de la testa. Las semillas son grandes del tamaño de una almendra, color chocolate o purpúreo, de 2 a 3 cm de largo y de sabor amargo. No tiene albumen, están recubiertas por una pulpa mucilaginosa de color blanco, de sabor dulce y acidulado, todo el volumen de la semilla en el interior está prácticamente ocupado por los 2 cotiledones del embrión, se les llama vulgarmente "habas" o "granos" de cacao, ricas en almidón, en proteínas, en materia grasa, lo cual les confiere un valor nutritivo real. <sup>(12)</sup>

El sistema radical se compone de una raíz pivotante que en condiciones favorables puede penetrar más de 2 m de profundidad, favoreciendo el reciclaje de nutrientes y de un extenso sistema superficial de raíces laterales distribuidas alrededor de 15 cm debajo de la superficie del suelo. La sexualidad es hermafrodita y pertenece a la familia Malvaceae. <sup>(12)</sup>

### 3.3 Variedades de cacao

Existen tres variedades diferentes de cacao las cuales son:

- **Cacaos Criollos:** Presentan frutos o mazorcas de color verde antes de la madurez, de forma generalmente alargada, con una punta muy acentuada en el extremo inferior y marcado con diez surcos muy profundos iguales o a veces repartidos en dos grupos alternos de cinco, uno de los dos menos acentuado. Semillas gruesas, de sección casi redonda, cotiledones frescos de color blanco o muy ligeramente pigmentados. Pericarpio en general muy rugoso, delgado y muy fácil de cortar, el mesocarpio delgado esta poco lignificado. <sup>(16)</sup>
- **Cacaos Forasteros:** Se caracterizan por sus frutos de cáscara dura y leñosa, de superficie relativamente lisa y granos aplanados. Dentro de este grupo se destacan cultivares como Cundeamor, Amelonado, Sambito, Calabacillo y Angoleta. <sup>(16)</sup>

- **Cacaos Trinitarios:** Este es el grupo de cacaos que corresponde a la población híbrida derivada de criollos y forasteros, los cuales crecieron juntos en un mismo país o región. Estos árboles dan plantaciones bien heterogéneas con toda la segregación posible para el grosor de la cáscara, tamaño, color, textura de los frutos y semillas. En varios países de América las plantaciones son del complejo trinitario. <sup>(16)</sup>



Figura N° 1. Tipos de cacao a) criollo, b) forastero, y c) trinitario.

### 3.4 Condiciones edafoclimáticas del cultivo

La temperatura mínima para producir el cultivo de cacao es de 15° C, una temperatura máxima de 35° C y una temperatura ideal de 25° C; se cultiva mejor en condiciones de un clima cálido y húmedo, sin estaciones secas acentuadas. Se necesita una precipitación pluvial entre 1,000 a 3,000 mm/año). <sup>(9)</sup>

El cultivo de cacao se adapta a altitudes entre los 0 - 1,000 msnm. De preferencia los suelos deben ser ricos en materia orgánica, profundos, de textura franco arcillosos, con buen drenaje, topografía regular y con pH de 4 a 7.4. <sup>(9)</sup>

### 3.5 Biomasa del suelo

La biomasa es toda materia orgánica aérea o subterránea, viva o muerta. La biomasa aérea viva puede ser calculada por medio de métodos destructivos o

bien utilizando modelos alométricos ya establecidos. Mientras que la determinación de la biomasa aérea no viva debe hacerse determinando la biomasa de madera muerta y la biomasa de mantillo o necromasa. El mantillo comprende toda la biomasa no viva con un diámetro inferior a un diámetro mínimo elegido por el país (por ejemplo, 10 cm), que yace muerta, en varios estados de descomposición sobre el suelo mineral u orgánico, comprende las capas de detritus, fúmica y húmica. <sup>(1)</sup>

### **3.6 Materia orgánica del suelo**

La materia orgánica del suelo (MOS) está formada por residuos animales o vegetales, son sustancias que están directamente involucradas en la fertilidad del suelo, los materiales orgánicos por lo general tienen gran cantidad de carbono, nitrógeno y otros componentes minerales no asimilables por las plantas, pero que constituyen una fuente importante de nutrientes y energía para los organismos heterótrofos que habitan el suelo; la materia orgánica se clasifica en: materia orgánica transformada y semitransformada, esto dependerá del estado de la biomasa. <sup>(24)</sup>

Los componentes mayoritarios de la materia orgánica generalmente son lignina, hidratos de carbono, proteínas, péptidos, aminoácidos libres, grasas, ceras y resinas. El porcentaje de materia orgánica determinado en un suelo se relaciona con la cantidad añadida de residuos frescos, forma y composición de los tejidos y posterior transformación por los microorganismos. La cantidad adicional se relaciona con la abundancia y naturaleza de la vegetación, lo que incluye clima (temperatura y precipitación) que afectan la producción de biomasa. <sup>(1)</sup>

El desarrollo de los cultivos se sustenta en la capacidad que tiene el suelo de proporcionarle las cantidades necesarias de nutrientes para su correcto desarrollo. La disponibilidad de dichos nutrientes depende de varios factores,

siendo el contenido y calidad de la materia orgánica presente uno de los más determinantes. Un suelo fértil tiene que poseer necesariamente un adecuado contenido de materia orgánica, el que oscila entre 2% para suelos arenosos hasta 6% para suelos húmicos. <sup>(24)</sup>

### **3.7 Densidad aparente del suelo**

Se define como la masa de suelo por unidad de volumen (g.  $\text{cm}^{-3}$  o t.  $\text{m}^3$ ). Describe la compactación del suelo representando la relación entre sólidos y espacio poroso. Es una forma de evaluar la resistencia del suelo a la elongación de las raíces. También se usa para convertir datos expresados en concentraciones a masa o volumen, cálculos muy utilizados en fertilidad y fertilización de cultivos extensivos, la densidad aparente varía con la textura del suelo y el contenido de materia orgánica; puede variar estacionalmente por efecto de labranzas y con la humedad del suelo sobre todo en los suelos con arcillas expandentes. <sup>(29)</sup>

El método más utilizado en El Salvador para realizar esta determinación es el método del cilindro. Una de las desventajas de tomar la muestra con el cilindro es que el valor puede variar con el tamaño del cilindro, siendo mayor la densidad cuando menor es el tamaño del cilindro, a causa de que no se captan los poros de mayor diámetro. En general, el método presenta poca variación, es fácil de repetir y su determinación es sencilla. <sup>(29)</sup>

### **3.8 Ciclo del carbono**

El carbono es un elemento químico no metálico cuyo símbolo es C, es uno de los más importantes y abundantes en la corteza de la Tierra, forma parte de todos los seres vivos; es el principal componente de la MO. El carbono se encuentra en la atmosfera en forma de  $\text{CO}_2$ , que es un desecho de la respiración de los seres vivos, erupciones volcánicas, procesos de combustión, otras. <sup>(7)</sup>

El ciclo del carbono en un agro-sistema que inicia cuando este ingresa en el proceso de fotosíntesis y sale del mismo por la respiración radical y microbiana; la diferencia entre la cantidad que ingresa al suelo como residuos vegetales y la que se genera por respiración microbiana representa el balance de este. Durante la descomposición de la biomasa, además de nutrientes se libera  $\text{CO}_2$ , mismo que también es emitido por el proceso de mineralización de la materia orgánica humificada. La suma de la emisión de  $\text{CO}_2$  por descomposición y mineralización constituye la respiración microbiana del suelo. (7)

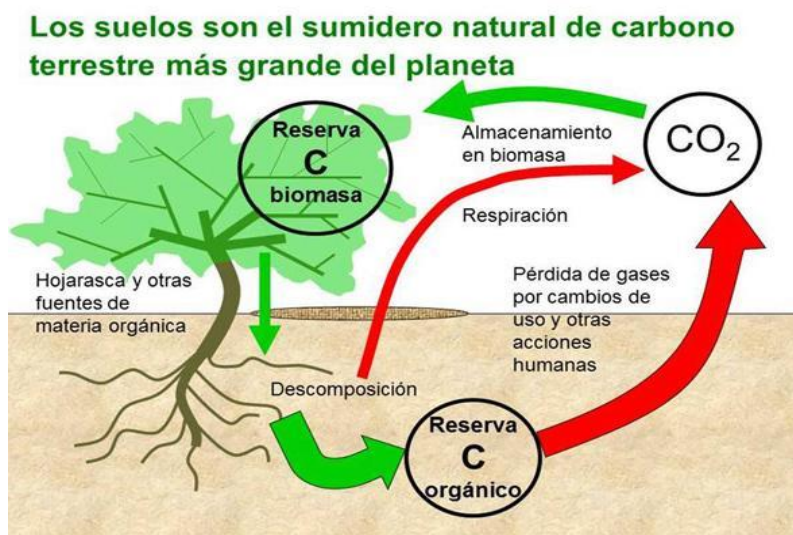


Figura N° 2. Ciclo del carbono.

El carbono que no es emitido como  $\text{CO}_2$  durante la descomposición pasa a formar parte de la biomasa microbiana en un primer momento y luego se integra a sustancias orgánicas más estables y se denomina carbono humificado. (7)

Las actividades humanas alteran el carbono almacenado en reservorios, los intercambios entre éstos y la atmósfera mediante actividades como el uso del suelo y las actividades forestales. En los últimos siglos se han liberado cantidades sustanciales de carbono como consecuencia de la tala de bosques en latitudes altas y medias, y en los trópicos durante la última parte del siglo XX. (45)

### **3.8.1 Carbono del suelo**

El carbono del suelo se localiza en cuatro reservorios, dos de ellos muy grandes uno inorgánico y otro orgánico, y dos con menor participación, el atmosférico o sea el ubicado en el aire del suelo y aquel que está en solución. <sup>(6)</sup>

Los suelos de los bosques pueden almacenar grandes cantidades de carbono que podría liberarse a la atmósfera por la deforestación (Houghton et al., 1983 citado por IPCC 2000). Por ejemplo, Brown y Lugo (1990) informaron que, en las zonas de vida húmedas y secas, sitios cultivados después de haber sido deforestados normalmente pierden 60%- 70% del carbono inicial contenido en los bosques maduros. Además, la disponibilidad o la cantidad de C que se encuentre en el suelo va a depender de la materia orgánica que este posea y la densidad aparente del mismo. <sup>(1)</sup>

El principal tipo de Carbono Orgánico del Suelo (COS) se halla en diferentes etapas de humificación, el cambio en el COS es relativamente pequeño y ocurre principalmente en los primeros 30 cm de la capa de suelo. La concentración de carbono orgánico en los suelos generalmente disminuye con la profundidad, y a mayor proporción de reservorios relativamente estables menor la concentración total de carbono. La respuesta más fuerte de la reserva de carbono en el suelo a los cambios en la cobertura terrestre ocurre en los primeros 20-30 cm. El bicarbonato, un tipo de carbono inorgánico, está presente en los suelos calcáreos, pero es insignificante en los suelos neutros y ácidos. <sup>(6)</sup>

### **3.9 Captura de carbono en los suelos**

La captura o fijación de carbono es el cambio en el almacenamiento de carbono en un tiempo dado. La captura de carbono se realiza únicamente durante el desarrollo de los árboles, los cuales absorben cantidades importantes de CO<sub>2</sub> atmosférico junto a otros elementos en el suelo y en el aire para convertirlos en

madera. La cantidad de CO<sub>2</sub> que un árbol captura durante un año consiste sólo en el pequeño incremento anual de la biomasa en el árbol multiplicado por la biomasa del árbol que contiene carbono. Los índices de captura en los sumideros varían de acuerdo con la especie, al suelo, a la topografía y a las prácticas de manejo por la utilización de fertilizantes químicos. <sup>(45)</sup>

Los bosques cubren el 29% de las tierras y contienen 60% del carbono de la vegetación terrestre, siendo estos ecosistemas los que más carbono secuestran por unidad de superficie, conteniendo cerca del 40% del total de carbono. <sup>(32)</sup>

Las tierras agroforestales poseen un potencial de almacenamiento de carbono entre 12 y 228 nT/ha, donde hay mayor potencial de almacenamiento es en las zonas del trópico húmedo ya que en los primeros 20 cm de profundidad del suelo es donde se almacena la mayor cantidad de biomasa aérea. <sup>(49)</sup>

### **3.10 Ciclo del nitrógeno**

El nitrógeno es un elemento diatómico y se encuentra en estado gaseoso a temperatura y presión ordinaria, comprende el 78% de la atmósfera terrestre y en su forma elemental es relativamente inerte. <sup>(11)</sup>

El ciclo del nitrógeno pasa por tres fases por las cuales está recirculando:

- A) Amonificación: proceso por el cual los compuestos nitrogenados encontrados en el suelo, productos de la descomposición de materiales orgánicos complejos como proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos y nucleótidos, son degradados a compuestos simples por organismos que habitan el suelo, principalmente bacterias y hongos, estos microorganismos metabolizan estos compuestos y liberan el exceso de nitrógeno en forma de amoníaco o ión amonio. <sup>(11)</sup>

- B) Nitrificación: proceso por el cual varias especies de bacterias comunes en los suelos son capaces de oxidar el amoníaco o el ión amonio. Es un proceso generador de energía, y la energía liberada es utilizada por estas bacterias como fuente de energía primaria. Un grupo de bacterias oxida el amoníaco o ión amonio a nitrito y luego otro grupo lo oxida a nitrato. <sup>(11)</sup>
- C) Asimilación: Una vez que el nitrato está dentro de las bacterias se reduce de nuevo a amonio. Este proceso se denomina asimilación y requiere energía. <sup>(11)</sup>

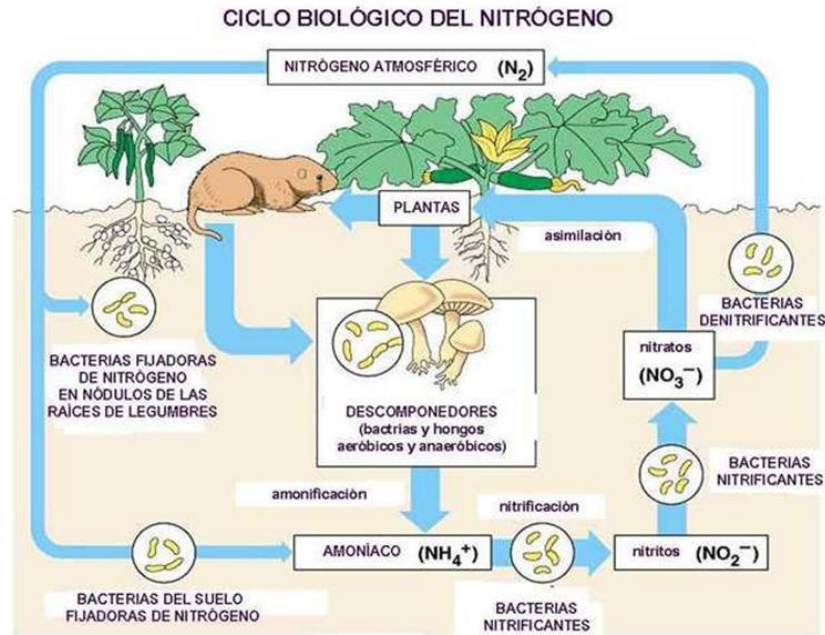


Figura N° 3. Ciclo del nitrógeno.

### 3.10.1 Nitrógeno del suelo

El nitrógeno es la unidad clave de la molécula de proteína sobre la cual se basa la vida, siendo así un componente esencial de la materia viva presente en los aminoácidos, ácidos nucleicos y muchas más biomoléculas. <sup>(44)</sup>

Para las plantas, la disponibilidad de nitrógenos es un factor limitante de su crecimiento y reproducción. El nitrógeno del suelo se encuentra en 3 diferentes formas

1. La mayor parte del nitrógeno del suelo se encuentra formando compuestos orgánicos, quedando disponible para las plantas a través del proceso de descomposición rápida.
2. Compuestos húmicos de mineralización más lenta.
3. Una pequeña fracción se encuentra en combinaciones inorgánicas como  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$ , formas que son aprovechables por las plantas con más importancia en el  $\text{NO}_3^-$ . <sup>(28)</sup>

### **3.11 Captura de nitrógeno en los suelos**

La transformación del nitrógeno molecular atmosférico en nitrógeno del suelo utilizable actual o potencialmente por las plantas se realiza según dos procesos:

- 1) El nitrógeno puede oxidarse y pasar a la forma de óxidos por acción de las descargas eléctricas, y éstos compuestos a su vez son trasladados al suelo por la lluvia y depositados en él como ácido nitroso o nítrico. La magnitud de este proceso es pequeña en comparación a las cantidades de nitrógeno molecular que se convierte en orgánico por medio de dicho proceso.
- 2) Fijación biológica por medio del conjunto de reacciones gracias a las cuales los organismos vivos integran el nitrógeno molecular en sus estructuras como componente de diversos compuestos. Ciertos microorganismos que viven libremente en el suelo y otros que viven simbióticamente con determinadas plantas (principalmente leguminosas), son capaces de realizar esta incorporación, ambos grupos son los principales responsables de que se mantenga a un cierto nivel el nitrógeno contenido en el suelo. <sup>(33)</sup>

### **3.12 Cambio climático global y gases de efecto invernadero**

Según la ONU (1992), en la Convención Marco sobre Cambio Climático desarrollada en Río de Janeiro, Brasil, por cambio climático se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables. <sup>(26)</sup>

Según el informe presentado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) en El Salvador, se espera que el cambio climático produzca una reducción de los caudales superficiales de agua y desbordamientos en los ríos; mientras que en el rubro de agricultura provocaría pérdidas en las cosechas de granos básicos que pueden rondar los 11 millones de dólares para el año 2025, debido a las sequías, si no se adoptan medidas oportunas; un aumento en el nivel del mar de 13 a 55 cm, especialmente en las áreas de manglar, sería otro de los efectos adversos esperados, lo cual ocasionaría plagas en bosques; aumento en la sedimentación y la erosión; pérdida de humedad potencial del suelo; impacto en las instalaciones portuarias y turísticas, entre otros aspectos.

<sup>(26)</sup>

En cuanto al impacto que tendría en los ecosistemas, el PNUD menciona que se produciría la desaparición de casi la mitad de los humedales salvadoreños, con la consiguiente pérdida de especies y su capacidad de brindar servicios ambientales vitales para el desarrollo de la sociedad. <sup>(26)</sup>

Los Gases de Efecto Invernadero (GEI) son gases que se encuentran presentes en la atmósfera terrestre y que dan lugar al fenómeno denominado efecto invernadero. Su concentración atmosférica es baja, pero tienen importancia fundamental en el aumento de la temperatura del aire próximo al suelo, haciéndola permanecer en un rango de valores aptos para la existencia de vida en el planeta. <sup>(26)</sup>

El término "efecto de invernadero" se refiere al papel que desempeña una capa de gases que retiene el calor del Sol en la atmósfera de la Tierra, haciendo que la temperatura interior sea más alta que la exterior. Este fenómeno se produce debido a que la energía generada por el sol llega a la tierra en forma de frecuencia alta, rebotando al exterior en forma de frecuencia baja, es decir, solo una parte de la energía solar emitida desde la tierra atraviesa la capa de gases de invernadero, la otra parte se queda dentro de la tierra haciendo que esta tenga una temperatura media promedio adecuada para el desarrollo del medioambiente. <sup>(11)</sup>

Los gases de invernadero más importantes son: vapor de agua, Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Metano (CH<sub>4</sub>), Dióxido de Nitrógeno (N<sub>2</sub>O), Hidrofluorocarburos (HFC) (ver anexo N° 4). <sup>(11)</sup>

### **3.13 Métodos de estimación de carbono**

#### **3.13.1 Método Walkley & Black**

La determinación de materia orgánica del suelo se evalúa a través del contenido de carbono orgánico con el método de Walkley y Black. Este método se basa en la oxidación del carbono orgánico del suelo por medio de una disolución de dicromato de potasio y el calor de reacción que se genera al mezclarla con ácido sulfúrico concentrado. Después de un cierto tiempo de espera que la mezcla se diluya, se adiciona ácido fosfórico para evitar interferencias de Fe<sup>3+</sup> y el dicromato de potasio residual es valorado con sulfato ferroso. Con este procedimiento se detecta entre 70% y 84% del carbón orgánico total, por lo que es necesario introducir un factor de corrección, la formula siguiente determina el porcentaje de carbono orgánico:

$$\text{Carbono Orgánico (\%)} = \frac{(V_b - V_m) * N * F * 0.39}{P}$$

Dónde:

V<sub>b</sub> = Volumen de Sal de Mohr gastados en la valoración del blanco (se realiza la media aritmética entre los tres blancos valorados) (mL).

V<sub>m</sub> = Volumen de Sal de Mohr gastados en la valoración de la muestra (mL).

N = Normalidad de la Sal de Mohr (0.5).

F = 20/V<sub>b</sub> (es un factor de corrección de la normalidad de la sal de Mohr).

P = Peso de la muestra de suelo (g).

El factor 0,39 resulta de considerar que por este método sólo se oxida el 77% del carbono existente en la muestra, junto con un factor de corrección. (2)

### 3.13.2 Oxidación térmica

Con este método se provoca la combustión de la muestra en un reactor. Normalmente se alcanza una temperatura máxima de alrededor de 1,000 °C, sin embargo, no permite garantizar la completa oxidación de los compuestos orgánicos. Por ello, trabajando a estas temperaturas se debe utilizar un catalizador de óxido de cobre o platino. Normalmente los métodos de combustión catalítica pueden trabajar con concentraciones de Carbono Orgánico Total (COT) de hasta 4,000 mg/L. Para alcanzar rangos mayores la muestra normalmente necesita diluirse con agua desmineralizada. (18)

Los nuevos equipos ofrecen un método único de oxidación a alta temperatura a 1,200°C. Esta temperatura permite la oxidación completa de todos los compuestos de carbono sin la ayuda de catalizadores. Puede medir concentraciones de COT hasta de 50,000 mg/L sin necesidad de dilución. En un reactor cerámico especial, resistente al calor, la muestra se evapora y todos los compuestos de carbono son oxidados completamente a CO<sub>2</sub>. Posteriormente, la concentración de CO<sub>2</sub> se analiza con un Sensor de Infrarrojo No Disperso (NDIR), por sus siglas en inglés. De este modo, Carbono Total (TC), Carbono Orgánico

Total (TOC) y Carbono Inorgánico Total (TIC) pueden ser determinados en tan solo 5 minutos. <sup>(18)</sup>

### **3.14 Métodos de estimación de Nitrógeno**

#### **3.14.1 Método de Kjeldahl**

El método Kjeldahl mide el contenido en nitrógeno de una muestra, este método puede ser dividido en 3 etapas: digestión o mineralización, destilación y valoración. Se caracteriza por el uso de ebullición, ácido sulfúrico concentrado que efectúa la destrucción oxidativa de la materia orgánica de la muestra y la reducción del nitrógeno orgánico a amoníaco, el amonio es retenido como bisulfato de amonio y puede ser determinado *in situ* o por destilación alcalina el cual es recibido en un recipiente que contiene ácido bórico con rojo de metilo y verde de bromocresol y la titulación con HCl 0.1 N. <sup>(26)</sup>

### **3.15 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)**

En la Cumbre para el Desarrollo Sostenible que se llevó a cabo en septiembre de 2015, todos los Estados miembros de las Naciones Unidas (ONU) aprobaron la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, que incluye un grupo de 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, los cuales buscan reducir la pobreza, erradicación de desigualdades e injusticias, y hacer frente al cambio climático. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible también conocidos como Objetivos Mundiales, se basan en los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), ocho objetivos contra la pobreza que el mundo se comprometió a alcanzar en el 2015.

<sup>(31)</sup>

Esta investigación contribuirá al cumplimiento del ODS No. 15: Vida de Ecosistemas Terrestres, que promueve el uso sostenible de los ecosistemas

terrestres, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y frenar la pérdida de la diversidad biológica. <sup>(31)</sup>

### **3.16 Legislación salvadoreña sobre medio ambiente y cambio climático**

#### **3.16.1 Ley de Medio Ambiente**

Esta ley tiene por objeto desarrollar las disposiciones de la Constitución de la República que se refieren a la protección, conservación y recuperación del medio ambiente; el uso sostenible de los recursos naturales que permitan mejorar la calidad de vida de las presentes y futuras generaciones; así como también, normar la gestión ambiental, pública y privada, y la protección ambiental como obligación básica del Estado, los municipios y los habitantes en general; y asegurar la aplicación de los tratados o convenios internacionales celebrados por El Salvador en esta materia. <sup>(20)</sup>

#### **3.16.2 Ley Forestal**

Esta ley establece disposiciones que permitan el incremento, manejo y aprovechamiento en forma sostenible de los recursos forestales y el desarrollo de la industria maderera; los recursos forestales son parte del patrimonio natural de la Nación y corresponde al Estado su protección y manejo. Declárase de interés económico el desarrollo forestal del país desde el establecimiento de la plantación hasta el aprovechamiento final y todas sus formas de valor agregado. Asimismo, esta ley busca establecer las condiciones para estimular la participación del sector privado en la reforestación del territorio nacional con fines productivos, quedando fuera de esta regulación las Áreas Naturales Protegidas y los Bosques Salados. <sup>(21)</sup>

#### **3.16.3 Estrategia Nacional de Medio Ambiente**

La estrategia se sustenta en la consecución de una perspectiva ambiental futura deseable, fundamentada en una economía en equilibrio con lo ambiental y lo social, y la necesidad de definir objetivos ambientales que incluyan la identificación y el análisis de conjuntos de instrumentos de política para resolver los problemas prioritarios de El Salvador, y para alcanzar objetivos ambientales estratégicos determinados. <sup>(20)</sup>

#### **3.16.4 Estrategia Nacional de Saneamiento Ambiental**

Esta estrategia abarca varios aspectos: la contaminación de suelos por agroquímicos y tóxicos; manejo inadecuado de desechos sólidos y peligrosos; sistemas obsoletos de alcantarillado sanitario; aguas residuales domésticas e industriales sin tratar; rastros municipales insalubres; entornos comunitarios insalubres. La estrategia se compone de tres ejes fundamentales: el primero es el manejo integral de residuos sólidos, materiales peligrosos y descontaminación de suelos; el segundo se refiere al tratamiento de aguas residuales industriales y domésticas; y el tercer eje es sobre saneamiento básico para las zonas periurbanas y rurales del país. <sup>(28)</sup>

#### **3.17 Gestión ambiental**

Consiste en un complejo sistema de conceptos, valores, procesos, normas, organizaciones formales e informales y comportamientos, que traducen las preferencias y objetivos públicos en acciones para influir en la calidad ambiental. La gestión ambiental representa un desafío del más alto nivel para un país, ya que implica una serie de nuevos procesos que requieren de un constante análisis cuidadoso para mejorar su efectividad y un adecuado mecanismo de aprendizaje multiinstitucional, que requiere de información confiable para la toma de decisiones en forma oportuna. <sup>(28)</sup>

**CAPITULO IV**  
**DISEÑO METODOLOGICO**

## **4.0 DISEÑO METODOLOGICO**

### **4.1 Tipo de estudio**

#### **4.1.1 Estudio de campo**

El muestreo de suelos se realizó en una finca de cacao cultivada bajo sistema agroforestal la cual posee un manejo orgánico y está ubicada en el cantón Cangrejera, municipio de Izalco, departamento de Sonsonate, con coordenadas geográficas 13°44'02.6" N y 89°40'52.6" W. Se realizó un reconocimiento del terreno, se calculó el área de estudio, se seleccionaron las parcelas identificando los diferentes sistemas agroforestales y se tomaron 30 muestras de suelo en cada parcela.

#### **4.1.2 Estudio experimental**

El procesamiento y análisis de carbono y nitrógeno de las muestras de suelo de la finca de cacao se realizó en el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

#### **4.1.3 Estudio Exploratorio**

En El Salvador no se han realizado investigaciones sobre la determinación de carbono y nitrógeno en suelos cultivados con cacao, árboles de diferente edad y sistema agroforestal. Este trabajo se realizó con el fin de saber si estos suelos pueden utilizarse como sumideros de carbono, por lo que es un tema inexplorado. Este trabajo servirá de base para futuras investigaciones sobre la temática y del cultivo.

### **4.2 Investigación bibliográfica**

La información bibliográfica se realizó en las siguientes bibliotecas:

- Dr. Benjamín Orozco de la Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador.

- Central de la Universidad de El Salvador.
- Felix Choussya de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.
- Internet.

### **4.3 Investigación de campo**

Se visitó la finca del señor Jaime Arévalo ubicada en el cantón Cangrejera, municipio de Izalco, departamento de Sonsonate, El Salvador, con coordenadas geográficas 13°44'28" Norte y 89°40'52" Oeste, para realizar una evaluación del terreno en el cual se reconoció el área de la finca y las 3 parcelas con diferente sistema agroforestal que lo conforman para la recolección de muestras. (ver anexo N° 1).

#### **4.3.1 Universo**

El universo está constituido por los suelos de las fincas donde se cultiva cacao bajo diferentes sistemas agroforestales en El Salvador.

#### **4.3.2 Muestra**

En la visita a la finca se midió el terreno y se seleccionaron las parcelas con base a la edad (entre cuatro y ocho años) del cultivo de cacao y al asocio con el sistema agroforestal, el terreno se dividió en tres parcelas en las cuales se tomaron al azar 30 muestras de suelo en cada una, 15 muestras en la calle entre un surco y otro, y 15 muestras en la banda de fertilización (en este punto es donde se concentra la mayor cantidad de raicillas de los árboles), las muestras de suelo se tomaron a una profundidad de 20 cm<sub>,(10)</sub> (aproximadamente 1.0 Kg de muestra de suelo) haciendo un total de 90 muestras para determinación de carbono y nitrógeno total, las cuales fueron almacenadas en bolsas plásticas de polipropileno de baja densidad y se guardaron en una hielera para transportarlas al laboratorio; simultáneamente se tomaron cuatro muestras al

azar en cada parcela para determinación de la densidad aparente. (ver anexo N°5)

#### **4.4 Parte Experimental**

##### **4.4.1 Reconocimiento de la finca**

La finca cacaotera está ubicada en el cantón Cangrejera del municipio de Izalco, departamento de Sonsonate, en la visita se midió el terreno y se seleccionaron tres parcelas cultivadas con cacao, cada una posee plantas de cacao de diferente edad y diferente sistema agroforestal:

Parcela N° 1: posee árboles de cacao de ocho años y un sistema agroforestal compuesto por árboles de mango (*Mangifera indica*), mamey (*Mammea americana*), aguacate (*Persea americana*). (ver anexo N°1)

Parcela N° 2: posee árboles de cuatro años y el sistema agroforestal está compuesto únicamente con guineo de seda (*Musa paradisiaca* L.). (ver anexo N°1)

Parcela N° 3: posee árboles de ocho años y un sistema agroforestal compuesto de mamey, arrayan (*Psidium friedrichsthaliun*), níspero (*Manilkara sapota*), aguacate y zapote (*Pouteria sapota*). (ver anexo N°1)

##### **4.4.2 Recolección de las muestras de suelo**

El muestreo se realizó en forma de conglomerado o muestreo por racimos (ver anexo N° 2), este es un muestreo probabilístico en que los elementos de la población son seleccionados al azar en forma natural por agrupaciones (clusters). Los elementos del muestreo se seleccionan de los grupos de manera individual, uno a la vez. <sup>(29)</sup>

La heterogeneidad del grupo es fundamental para un buen diseño del muestreo por conglomerados. <sup>(8)</sup>

Los pasos para realizar el muestreo fueron los siguientes:

- Definir la población objetivo.
- Determinar el tamaño de la muestra deseada.
- Identificar un marco de muestreo existente.
- Evaluar el marco de muestreo para la agrupación y hacer los ajustes cuando sea necesario.
- Determinar el número de grupos a seleccionar; se realiza dividiendo la finca en tres parcelas.
- Seleccionar el número de muestras por parcela.

Al seguir estos pasos se logró cubrir mayor superficie en un área reducida en parcelas con un tamaño superior a 400 m<sup>2</sup>, además, el suelo en la finca es de topografía plana; se muestrearon aproximadamente 1,500 m<sup>2</sup> en cada una de las parcelas para obtener un área de muestreo similar.

Cada muestra de suelo se tomó a una profundidad de 0 a 20 cm, ya que a esta profundidad es donde se encuentra la mayor cantidad de materia orgánica <sup>(10)</sup>, y a una distancia entre cada punto de muestreo de 10 m, tomando 30 muestras por cada parcela, 15 muestras en la calle entre surcos y 15 en la banda de fertilización, obteniendo un total de 90 muestras de suelo por toda la finca para el análisis de carbono y nitrógeno total, utilizando un barreno para la extracción de cada muestra (ver anexo N°5).

Además, se tomaron cuatro muestras de suelo en cada parcela para determinar la densidad aparente por el método del cilindro (100 cc de volumen del cilindro). Todas las muestras de suelo se depositaron en bolsas de plástico de cinco libras, rotuladas con los códigos TLY01P01B (Tesis Luis Yunior Parcela 01 Punto 01 Banda) y TLY01P01C (Tesis Luis Yunior Parcela 01 Punto 01 Calle), fueron cerradas herméticamente (ver anexo N°5).

### **4.4.3 Transporte de las muestras**

Las muestras de suelo se transportaron en hieleras (a temperatura ambiente) al laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, el mismo día que se realizó el muestreo y así continuar con la parte experimental del proyecto. <sup>(20)</sup>

### **4.4.4 Pre-Tratamiento de las muestras**

#### **4.4.4.1 Secado**

Las muestras de suelo recolectadas se almacenaron en hieleras donde fueron transportadas y al día siguiente se inició con el secado, para ello, las muestras que se usaron para determinar la densidad se colocaron en bandejas de aluminio y estas se introdujeron en una estufa de aire circulante a 105°C durante 48 horas, debidamente rotuladas (ver anexo N°5), y las muestras que se utilizaron para determinar carbono y nitrógeno total fueron secadas a 40°C durante 48 horas, se utilizó esta temperatura para evitar la volatilización del nitrógeno del suelo. <sup>(20)</sup>

#### **4.4.4.2 Cuarteo**

Las muestras de suelo secas se colocaron en una superficie plana en donde se extendieron hasta obtener un espesor uniforme, cada muestra se dividió en cuatro partes iguales, se seleccionaron dos esquinas opuestas y se descartaron las otras dos esquinas, luego el material seleccionado se vuelve a mezclar y se repite el proceso de cuarteo hasta que la muestra quede reducida al tamaño deseado. <sup>(20)</sup> (ver anexo N°5).

#### **4.4.4.3 Micronizado**

La muestra resultante del cuarteo se pulverizó con el mortero y pistilo de Ágata para evitar posible contaminación. <sup>(20)</sup> (ver anexo N°5)

#### **4.4.4.4 Tamizado**

Las muestras de suelo se llevaron a un tamaño de partícula uniforme haciéndolas pasar por dos tamices: uno de 2 mm y otro de 0.5 mm, hasta obtener partículas de 74  $\mu\text{m}$  aproximadamente, luego fueron almacenadas en bolsas de plástico de una libra rotuladas con el mismo código inicial. <sup>(20)</sup> (ver anexo N°5).

### **4.5 Determinación de carbono total por el método de combustión oxidativa**

#### **4.5.1 Fundamento**

Para la determinación del carbono total en suelos se introduce una navicilla de porcelana con muestra de suelo al horno horizontal, el cual le inyecta oxígeno puro para la formación de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), la muestra es calcinada a 1,100°C, el  $\text{CO}_2$  formado es captado por el Sensor de Infrarrojo Cercano No Dispersivo (sensor NDIR), el cual mide la cantidad de  $\text{CO}_2$  determinando la cantidad de luz infrarroja absorbida en una distancia conocida.<sup>(20)</sup>

#### **4.5.2 Procedimiento**

- Abrir la válvula de gases de oxígeno puro y oxígeno ultrapuro.
- Encender el módulo de sólidos y luego el módulo de líquidos (acá es donde se encuentra el sensor NDIR).
- Esperar que la temperatura del horno horizontal llegue a 1,100°C.
- Esperar que el flujo de gas del oxígeno puro y ultrapuro llegue a 100 KPa.
- Cuando todos los parámetros estén en azul el equipo estará listo para comenzar las lecturas.
- pesar 20 mg de suelo en una navicilla de porcelana en balanza analítica.
- Digitar el número correlativo de la muestra.
- Digitar el peso de la muestra.
- Esperar que el programa notifique que está listo para la lectura.

- Introducir una navecilla de porcelana al horno vertical del módulo de sólidos con ayuda de una varilla de acero inoxidable con corcho en la punta.
- Esperar a que se queme toda la muestra y que se forme el área bajo la curva de la cantidad de carbono detectada en el sistema operativo.
- Anotar el resultado del área bajo la curva que el sistema operativo genera en forma de porcentaje.
- Repetir el procedimiento desde las pesadas hasta completar las muestras para la lectura. (ver anexo N° 3) <sup>(20)</sup>

#### **4.5.3 Cálculo de carbono total**

El cálculo para la determinación de carbono total se da por la siguiente fórmula:

$$CT = \%C \times D \times P$$

Donde:

CT: Carbono total.

%C: Porcentaje de carbono del suelo.

D: Densidad del suelo.

P: Profundidad del suelo.

El resultado queda expresado en ton/ha.

#### **4.6 Densidad Aparente**

##### **4.6.1 Fundamento**

La densidad aparente (DA) describe la compactación del suelo, representando la relación entre sólidos y espacio poroso. <sup>(20)</sup>

##### **4.6.2 Procedimiento**

- En campo introducir un cilindro de acero inoxidable de 100 cc en el suelo donde se cultiva cacao.
- Extraer el cilindro conteniendo la muestra de suelo y retirar los bordes de suelo que no corresponden al volumen del cilindro.

- Colocar la muestra de suelo extraída en una bolsa plástica debidamente identificada.
- En el laboratorio colocar la muestra de suelo en una estufa a una temperatura de 105°C por 24 horas.
- Pesar la muestra de suelo seco de cada bandeja y obtener el peso promedio por cada parcela. (20)

#### 4.6.3 Cálculo para determinación de densidad aparente

El cálculo para determinar la densidad aparente se demuestra por la siguiente fórmula (8)

$$DA \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{peso de suelo seco en g}}{\text{volumen del cilindro}}$$

El resultado obtenido se expresa en g/cm<sup>3</sup>

$$DA \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{78.72 \text{ g}}{100 \text{ cm}^3}$$

$$DA \text{ (g/cm}^3\text{)} = 0.7872 \text{ g/cm}^3$$

### 4.7 Determinación de nitrógeno total por el método de micro Kjeldahl

#### 4.7.1 Fundamento

La determinación de nitrógeno se divide en tres etapas:

##### i) Digestión:

- Pesar más o menos 0.3 g de suelo y colocarlo en un tubo para micro Kjeldahl de 250 mL.
- Agregar al tubo la muestra pesada, adicionar 6 mL de ácido sulfúrico y 3 g de mezcla catalizador (sulfato de potasio y sulfato de cobre).
- Agitar por 5 minutos esta mezcla y colocarlo en el equipo de digestión Kjeldahl, al mismo tiempo conectar el sistema de extracción de vapores y condensación de gases.

- Retirar los tubos cuando la solución de color azul verde se torne transparente.

(24)

## ii) Destilación:

- Dejar enfriar los tubos y agregar aproximadamente 80 mL de agua destilada, esperar a que se enfríen nuevamente.
- Colocar los tubos en el equipo de destilación.
- En un erlenmeyer de 250 mL colocar 25 mL de ácido bórico con indicador y colocarlo en el aparato de destilación.
- Agregar 60 mL de solución de hidróxido de sodio al 40%.
- Recibir el destilado en el erlenmeyer de 250 mL después de 5 minutos de trabajo del equipo de destilación. Cuando termina la destilación se observa un cambio de color del indicador de rojo a verde, dejar enfriar los tubos y retirarlos del equipo de destilación. (24)

## iii) Titulación:

- Titular el destilado obtenido en solución de ácido bórico con solución de ácido clorhídrico 0.1 N hasta cambio de color del indicador que va de verde a rojo.
- Realizar el mismo procedimiento para todas las muestras de suelo por triplicado.
- Llevar un blanco utilizando los mismos reactivos, volúmenes, tiempo de digestión y destilación de las muestras. (24)

### 4.7.2 Cálculo para determinación de nitrógeno

El cálculo para determinar nitrógeno es por la siguiente fórmula:

$$N = \frac{(\text{mL de HCl gastados} - \text{mL de HCl blanco}) \times N \text{ de ácido} \times 0.014 \times 100}{W \text{ mx}}$$

Dónde:

mL de HCl gastados en muestra.

N de ácido: Normalidad del ácido.

0.014 = Miliequivalente del nitrógeno.

W mx: Peso de muestra en gramos (ver anexo N° 3).

#### **4.8 Análisis estadístico**

Con el propósito de evaluar el comportamiento de los datos experimentales obtenidos en el análisis sobre carbono y nitrógeno total, el estudio se dividió estadísticamente en 2 etapas:

##### **4.8.1 Kolmogorov - Smirnov**

En la primera etapa se utilizó la prueba de Kolmogorov- Smirnov, el cual es un procedimiento de bondad de ajuste que permite medir el grado de concordancia existente entre la distribución de un conjunto de datos y una distribución teórica específica, con este estudio se logra determinar la distribución paramétrica o no paramétrica de los datos analizados y de esta manera elegir el análisis estadístico que mejor se adecue a la interpretación de los resultados obtenidos.

<sup>(9)</sup>

Se utilizó esta prueba a un nivel de confianza del 95%, en el cual, si el “valor P” es menor a 0.05 se confirma la hipótesis nula. Para llevar a cabo dicho análisis se utilizó el programa Excel 365.

Las hipótesis planteadas fueron las siguientes:<sup>(9)</sup>

- a. Hipótesis Nula: No hay diferencia estadística significativa entre la distribución de la población a que pertenece la muestra y la distribución normal

- b. Hipótesis Alternativa: Hay diferencia estadística significativa entre la distribución de la población a que pertenece la muestra y la distribución normal.

#### **4.8.2 Análisis de varianza de un factor**

En la segunda etapa se utilizó la prueba de análisis de varianza unifactorial (ANOVA) a los datos obtenidos de las muestras de carbono y nitrógeno total, para ejecutar el análisis se realizó de la siguiente manera: <sup>(9)</sup>

Tabulación de datos en una plantilla de Excel para ejecutar el análisis de varianza unifactorial (ANOVA). <sup>(9)</sup>

Establecer el nivel de confianza con el que se quiere ejecutar el análisis estadístico, bibliográficamente para las investigaciones se recomienda establecer un 95% como nivel de confianza. <sup>(9)</sup>

Plantear la hipótesis alterna y la hipótesis nula.

- a. Hipótesis Nula: Las concentraciones de carbono y nitrógeno total no presentan diferencias estadísticamente significativas en los sitios de muestreo.
- b. Hipótesis Alternativa: Las concentraciones de carbono y nitrógeno total presentan diferencias estadísticamente significativas en al menos un sitio de muestreo.

La matriz realizada en Excel de los resultados de cada determinación tiene que ser analizada mediante el uso de la herramienta análisis de datos que se encuentra en la pestaña datos, donde se selecciona la especificación análisis de varianza de un factor, especificando el nivel de confianza que se tiene determinado. <sup>(9)</sup>

**CAPITULO V**  
**RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS**

## 5.0 RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS

### 5.1 Muestreo por conglomerado

Para realizar el muestreo de suelos en la finca se tomó como base el artículo científico “Muestreo por conglomerado para manejo forestal, Quintana Roo, México; este método de muestreo se utiliza para tener mayor homogeneidad al momento de recolectar las muestras de suelo <sup>(42)</sup>. (ver anexo N°2).

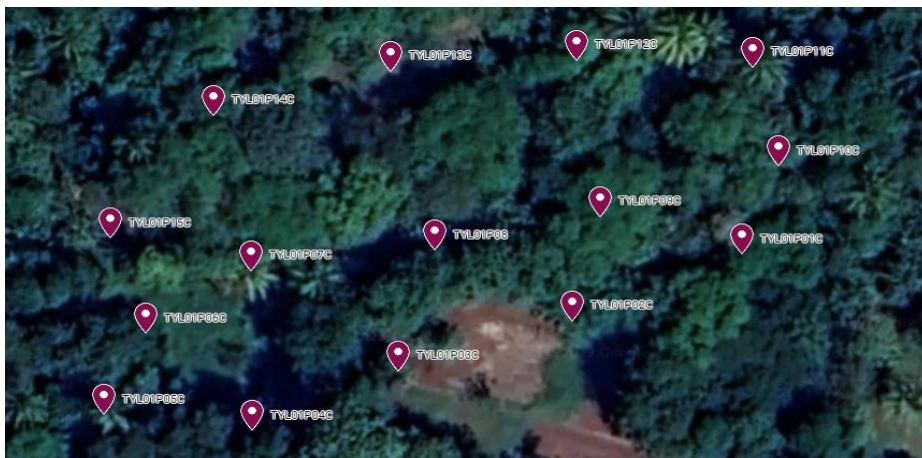


Figura N°4. Puntos de muestreo georreferenciados en la parcela N° 1.

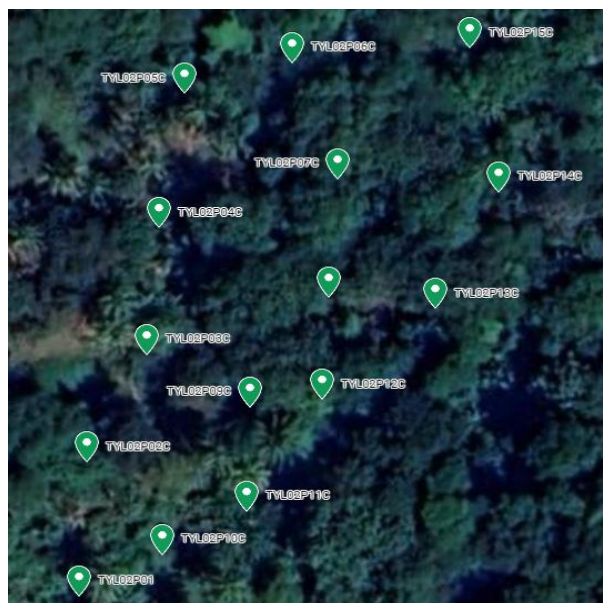


Figura N° 5. Puntos de muestreo georreferenciados en la parcela N° 2

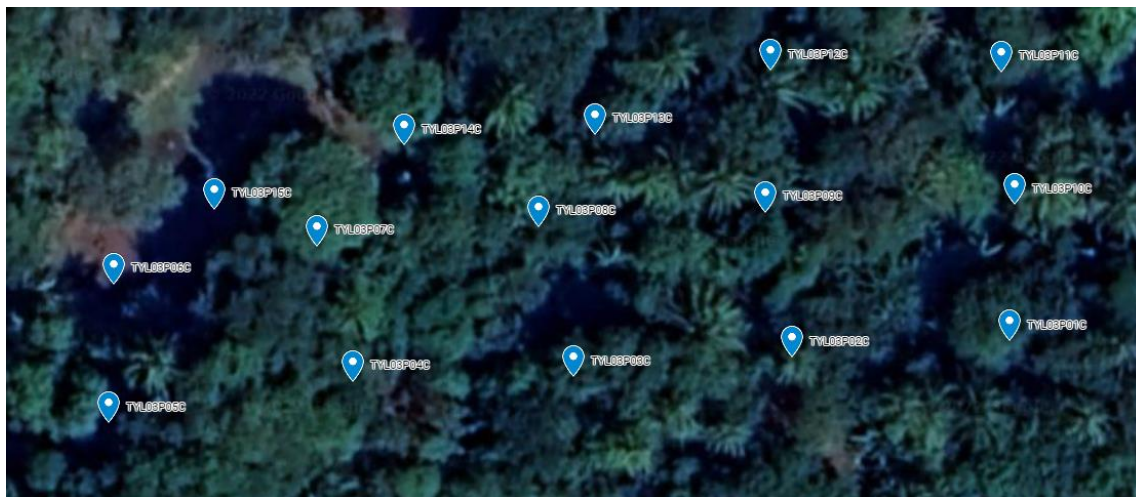


Figura N° 6. Puntos de muestreo georreferenciados en la parcela N° 3.

Las figuras N°4, 5 y 6 representan el muestreo por conglomerados (clúster) de las parcelas N° 1, 2 y 3, este tipo de muestreo simplifica la población a evaluar (finca cacaotera) y se divide el terreno en parcelas de dimensiones similares, las cuales presentan propiedades heterogéneas entre ellas, pero condiciones similares entre sí. Se mide cada parcela con cinta métrica y se estiman los puntos a evaluar para tener una muestra representativa en la finca cacaotera. Se obtuvieron 15 puntos de muestreo en la banda de fertilización y en la calle entre los surcos por parcela, que al ser georreferenciados se logró obtener el mapa espacial del sitio de muestreo.

## 5.2 Determinación de carbono

Para la determinación de carbono total en muestras de suelo es necesario determinar el porcentaje de carbono, que es obtenido en lectura directa en el equipo Analitik jena 3100 con modulo para muestras solidas HT 1300, el cual funciona por el método de combustión oxidativa de sólidos, los resultados son obtenidos en porcentaje, los cuales son directamente proporcional a la densidad aparente del suelo y a la profundidad de recolección de las muestras, el resultado de carbono total se expresa en ton/ha.

Ejemplo de los cálculos para determinación de carbono total.

$$CT = \%C \times D \times P$$

$$CT = 5.54\% \times 0.7872 \text{ g/cm}^3 \times 20 \text{ cm}$$

$$CT = 87.2259 \text{ ton/ha}$$

Dónde:

%C = es la lectura del equipo en la muestra TLY01P01C.

D: Densidad aparente de la parcela 1.

P: Profundidad a la que se tomaron las muestras evaluadas (ver anexo N° 6)

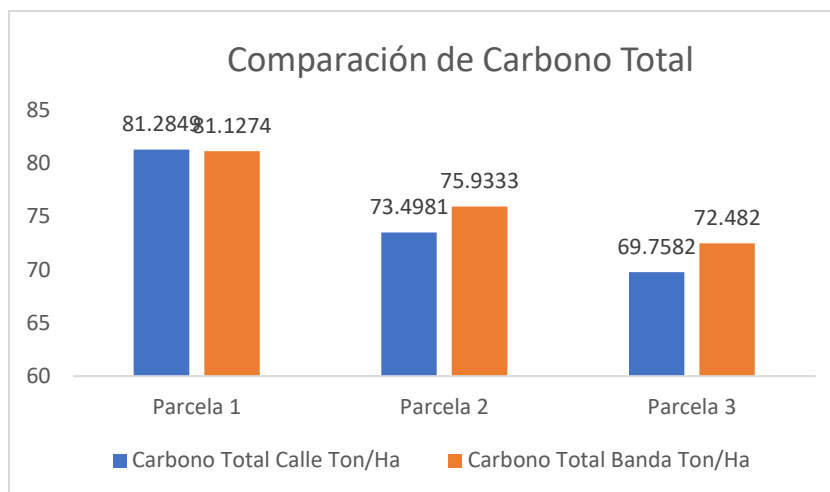


Figura N°7 Resultados promedio de carbono total en suelos cultivados con cacao.

En la figura N°7 se observa que existe mayor acumulación de carbono total en la parcela 1 con resultados promedio de 81.2849 ton/ha en la calle entre los surcos de cacao y 81.1274 ton/ha en la banda de fertilización cultivado bajo un sistema agroforestal constituido por árboles de mamey, mango y aguacate, y el cultivo de cacao de 8 años de edad, a pesar de que la concentración porcentual de esta parcela es inferior (5.16% en la calle entre los surcos de cacao y 5.17% en la banda de fertilización) a la concentración porcentual encontrada en la parcela número 3 (5.92% en la calle entre los surcos de cacao y 6.16% en la banda de fertilización), esta variación se debe a la diferencia existente entre las

densidades aparentes de cada parcela, ya que la cantidad obtenida en ton/ha es directamente proporcional a la densidad aparente del suelo.

En la parcela 2 se obtuvieron resultados promedio de acumulación de carbono de 73.4981 ton/ha en la calle entre los surcos de cacao y de 75.9333 ton/ha en la banda de fertilización, con un sistema agroforestal compuesto solo por musáceas y el cultivo de cacao de cuatro años.

La parcela 3 es la que menor concentración de carbono obtuvo con resultados promedio de 69.7582 ton/ha en la calle entre los surcos de cacao y 72.4820 ton/ha en la banda de fertilización, con un sistema agroforestal compuesto por árboles de mamey, arrayan, níspero, aguacate y zapote, y el cultivo de cacao de 8 años.

Esta diferencia en la calle entre los surcos de cacao y en la banda de fertilización de las plantas de cacao de cada parcela se debe a que en la banda de fertilización se encuentra la mayor cantidad de raicillas y es donde se da la mayor acumulación de CT. La diferencia entre cada una de las parcelas está ligada a la concentración de árboles en cada una de ellas (sistema agroforestal), así como a la edad del cultivo <sup>(39)</sup>, ya que el carbono se almacena en la biomasa viviente, tanto arriba como bajo del suelo, y en la materia orgánica del suelo.

Las concentraciones de carbono total aumentan con la cantidad de desechos y madera muerta que los sistemas agroforestales aportan al suelo <sup>(6)</sup>, así como al aumentar la edad de los árboles, ya que estos al poseer mayor altura son capaces de generar mayor cantidad de materia orgánica en el suelo tales como madera, ramas y hojarasca, que al descomponerse pueden incorporar al suelo carbono orgánico para su almacenamiento. <sup>(38)</sup>

### **5.3 Determinación de nitrógeno total**

La determinación de nitrógeno se lleva a cabo por medio de la fórmula de nitrógeno de micro Kjeldahl, obteniendo resultados en porcentaje, los cuales son comparados con los análisis de suelo y recomendaciones de fertilizantes, estudio realizado por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). <sup>(9)</sup>

Ejemplo de los cálculos para determinación de nitrógeno total:

$$\%N = \frac{\text{mL de HCl gastados en mx} - \text{mL de HCl blanco} \times \text{N de ácido} \times 0.014 \times 100}{\text{peso de mx en gramos}}$$

$$\%N = \frac{(0.56 \text{ mL}) \times 0.128836 \text{ N} \times 0.014 \times 100}{0.282 \text{ g}}$$

$$\%N = 0.36\%$$

Dónde:

mL de HCl gastados en mx = 0.56 mL en el punto TLY01P01C.

mL de HCl Blanco: 0.0 mL

N de ácido: 0.128836 N

0.014: miliequivalentes del nitrógeno

Peso mx: 0.282 g en punto TLY01P01C (ver anexo N°6)

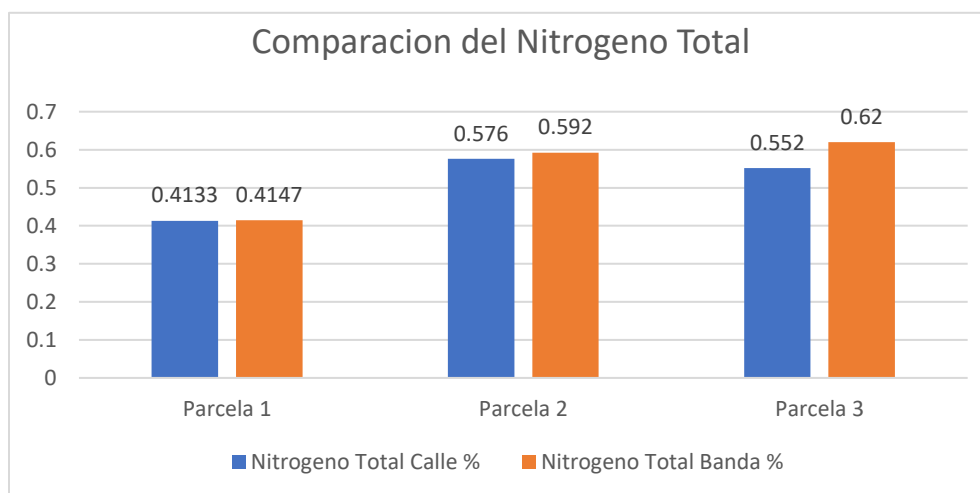


Figura N°8 Resultados promedio de nitrógeno total en suelos cultivados con cacao.

En la figura N°8 se presenta el contenido de nitrógeno total, el cual es mayor en la banda de fertilización de las plantas de cacao que en la calle entre los surcos de cacao, ya que las muestras de suelo obtenidas en la banda de fertilización están más próximas al sistema radicular de los árboles de cacao que es donde hay mayor cantidad de materia orgánica.

En la parcela 3 en la banda de fertilización de las plantas de cacao es donde hay mayor acumulación de nitrógeno total con un valor promedio de 0.62%; en la calle entre los surcos de cacao se obtuvo una concentración promedio de nitrógeno de 0.55%, debido a que en esta parcela hay árboles de mayor edad y tamaño de cacao como del sistema agroforestal compuesto por arboles de mamey, arrayan, níspero, aguacate y zapote.

En la parcela 2 se obtuvieron resultados promedio de acumulación de nitrógeno de 0.59% en la banda de fertilización de las plantas de cacao y de 0.58% en la calle entre los surcos de cacao, con un sistema agroforestal compuesto solo por musáceas y el cultivo de cacao de cuatro años.

La menor acumulación de nitrógeno total se obtuvo en la parcela 1 con resultados promedio de 0.41% en la banda de fertilización y en la calle entre los surcos de las plantas de cacao, cultivado bajo un sistema agroforestal constituido por árboles de mamey, mango y aguacate, y el cultivo de cacao de 8 años.

La variación encontrada de nitrógeno total en cada parcela tiene influencia directa con la cantidad y calidad del material orgánico aportado al suelo, ya que la relación de carbono y nitrógeno aumenta en suelos de uso forestal y disminuye en suelos utilizados como pastizales. (10)

Según Aguilar H, las micorrizas y *Azospirillum brasilense* influyen en la captura de nitrógeno atmosférico y (Arguello, Adriana) en suelos utilizados para el cultivo de cacao encuentran bacterias diazótroficas que generalmente son de los géneros *Azospirillum sp*, *Bukholderia sp*, *Herbaspirillum sp* y *Gluconacetobarter sp.*, que fijan nitrógeno al suelo. (1) (4)

#### 5.4 Comparación de resultados de nitrógeno total con un estudio del ICA

Los resultados promedio de nitrógeno de cada parcela de la finca cacaotera en las muestras de suelo tomadas en la calle entre los surcos de cacao y en la banda de fertilización de las plantas de cacao cultivadas bajo sistemas agroforestal, sin la utilización de fertilizantes químicos, son comparados con los resultados de los análisis de suelo y recomendaciones de fertilizantes, en el estudio realizado por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), la cual es indicativa que los suelos en la finca de cacao poseen alta concentración de nitrógeno, debido a la no utilización de fertilizantes químicos y porque la materia orgánica en el suelo es descompuesta por microorganismos fijadores de nitrógeno. (9)

Cuadro N°1. Resultados promedio de nitrógeno en la finca de cacao comparados con el análisis de suelo del ICA

Clima*	Bajo*	Medio*	Alto*	Resultados promedio de nitrógeno en la finca de cacao (Clima cálido)	
Frío (menos de 8° C)	Menor a 0.25%	0.25% - 0.50%	Mayor de 0.50%	Parcela 1	0.414%
Medio (entre 8 y 18° C)	Menor a 0.15%	0.15% - 0.25%	Mayor de 0.25%	Parcela 2	0.584%
Cálido (entre 18 y 27° C)	Menor a 0.10%	0.10% - 0.20%	Mayor de 0.20%	Parcela 3	0.586%

En el cuadro N°1 se presentan los resultados promedio de nitrógeno total en la finca cacaotera comparados con los resultados del ICA, se considera que existe

un alto porcentaje de nitrógeno en la finca ya que la zona climática a la que pertenece El Salvador es cálida y húmeda.

## 5.5 Análisis Estadístico

Para dar cumplimiento a uno de los objetivos se realizaron las determinaciones siguientes:

### 5.5.1 Resultados de la prueba de Kolmogorov- Smirnov

Los resultados del Análisis estadístico por parcela de carbono y nitrógeno total son presentados en la tabla N°1 del análisis descriptivo de carbono y nitrógeno total.

Tabla N° 1. Análisis descriptivo de carbono y nitrógeno total en la finca de cacao.

Análisis estadístico por Parcela	Datos	
	Carbono Total	Nitrógeno Total
Determinación		
Media	75.6807	0.5280
Desviación estándar	8.35160466	0.14457376
Mínimo	56.5162	0.25
Máximo	97.3026	0.96
Rango	40.7864	0.71
Número de datos	90	90
Sturges	7.49199362	7.49199362
Raíz de n	9.48683298	9.48683298
Tamaño de intervalo <100	5.44399756	0.09476783

En la tabla N° 1 se presentan los datos analizados de carbono total el cual indica una media de 75.6807 y una desviación estándar de 8.35160, lo que indica una baja variabilidad en los datos y un sesgo menor entre los puntos máximos y mínimos, ya que el valor obtenido en la desviación estándar es menor que la media. (34)

En los datos obtenidos de nitrógeno total la media es 0.5280 y una desviación estándar de 0.14457, lo que indica una baja variabilidad en los datos y un sesgo menor entre los puntos máximos y mínimos, ya que el valor obtenido en la desviación estándar es menor que la media. <sup>(34)</sup>

La prueba de Kolmogorov-Smirnov es aplicada a los resultados de carbono y nitrógeno total obtenidos en los suelos de las parcelas cultivadas con cacao, para obtener el comportamiento existente de carbono y nitrógeno total existente en la finca cacaotera, obteniéndose resultados que son presentados en la tabla N° 2.

Se acepta la hipótesis nula en carbono y nitrógeno total, y se indica que los resultados obtenidos pertenecen a una distribución normal, ya que el valor de  $p < 0.05$  (significancia Asintótica) es 0.24830 y el resultado de carbono total es de 0.05613 y el de nitrógeno total es 0.10483, por lo que se procede a emplear la prueba de ANOVA de un factor (ver anexo N° 6). <sup>(34)</sup>

Tabla N°2. Análisis de Kolmogorov – Smirnov de los resultados de carbono y nitrógeno total en la finca de cacao.

Tabla de Kolmogorov Smirnov			
Carbono total		Nitrógeno total en parcela 1	
Estadístico Kolmogorov	0.05613481	Estadístico Kolmogorov	0.10483362
Nivel de significancia 0.05	0.24830089	Nivel de significancia 0.05	0.24830089
Grados de libertad	90	Grados de libertad	90
Hipótesis nula	Se acepta	Hipótesis nula	Se acepta

### 5.5.2 Resultados de la prueba de ANOVA de un factor

Los resultados del Análisis estadístico en la prueba de ANOVA de un factor por parcela de carbono y nitrógeno total son presentados en el cuadro N° 2.

Cuadro N° 2. Prueba de ANOVA de un factor para las concentraciones promedio de carbono y nitrógeno total entre las tres parcelas.

Análisis de Varianza de Carbono Total							
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F	
Entre grupos	1567.8365	2	783.91823	14.698938	3.16576E-06	3.1012958	
Dentro de los grupos	4639.8513	87	53.331624				
Total	6207.6877	89					
Se rechaza la hipótesis nula							
Análisis de Varianza de Nitrógeno Total							
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F	
Entre grupos	0.58488	2	0.29244	19.9490967	7.3922E-08	3.10129576	
Dentro de los grupos	1.27536	87	0.01465931				
Total	1.86024	89					
Se rechaza hipótesis nula							

En el cuadro N° 2 se presentan los resultados de ANOVA con un intervalo de confianza de 95% de carbono y nitrógeno total, el valor estadístico de prueba para carbono total  $F = 14.698938$  es significativamente mayor al valor crítico para  $F$  (3.1012958); y en el valor estadístico para nitrógeno total  $F = 19.9490967$  es mayor al valor crítico para  $F$  que es de 3.10129576, el cual establece que, existe diferencia significativa con un intervalo de confianza del 95% entre las medias porcentuales de nitrógeno y Ton/ha entre parcelas, por ello se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, encontrando que existe diferencia significativa en al menos un punto de muestreo entre las parcelas, demostrando que el carbono y nitrógeno total en cada punto de muestreo depende de los sistemas agroforestales de cada parcela. (ver anexo N°6). (34)

**CAPITULO IV**  
**CONCLUSIONES**

## 6.0 CONCLUSIONES

1. La mayor acumulación de carbono total está en la parcela 1 con un valor promedio de 81.2062 ton/ha, que es influenciada por la densidad aparente del suelo la cual es 0.7872 g/cm<sup>3</sup>, ya que al existir mayor densidad aparente hay mayor superficie de suelo por hectárea, por lo tanto, la concentración de carbono aumenta.
2. El muestreo por conglomerados agrónomicamente es el que mejor se adapta a las características físicas del terreno de la finca de cacao, permitiendo la obtención de muestras de suelo que son representativas en la zona de estudio.
3. La mayor concentración de nitrógeno total 0.586% se encontró en la parcela 3 (valor comparado con el estudio del ICA), la cual está constituida por árboles de cacao de 8 años y un sistema agroforestal de árboles de mamey, zapote, arrayan, níspero y aguacate, con un suelo bien aireado, poroso, con buen drenaje de agua, lo cual permite el desarrollo adecuado de las raicillas y el crecimiento de microorganismos.
4. De acuerdo con la comparación de las concentraciones de nitrógeno total por parcela 1 (0.414%), 2 (0.584%) y 3 (0.586%), contra los resultados de los análisis de suelo y recomendaciones de fertilizantes del estudio realizado por el ICA (mayor a 0.20%), se asegura que los suelos en la finca de cacao poseen alta concentración de nitrógeno.
5. Estadísticamente con la prueba de Kolmogorov - Smirnov se estimó el p valor (carbono (0.05613481) y nitrógeno (0.10483362)) y este es menor al p valor

de tabla el cual es de 0.2483, indicando así que los datos provienen de una distribución normal

6. Con la prueba de ANOVA de un factor se demostró que existen diferencias significativas de carbono y nitrógeno total entre cada una de las parcelas, demostrando que el carbono y nitrógeno total en cada punto de muestreo depende de los sistemas agroforestales de cada parcela.
7. El manejo de la finca de cacao de forma orgánica disminuye la contaminación ambiental ya que elimina la utilización de fertilizantes, pesticidas y maquinaria industrial para la cosecha del cultivo.

**CAPITULO VII**  
**RECOMENDACIONES**

## 7.0 RECOMENDACIONES

1. Se sugiere que en futuras investigaciones la Universidad de El Salvador realice estudios sobre la capacidad de los suelos para capturar carbono total comparando la época seca y lluviosa.
2. Se recomienda a los estudiantes de trabajo de grado de la Facultad de Ciencias Agronómicas y de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador a realizar investigaciones sobre la capacidad de los suelos para capturar carbono total en cultivos que en la época seca son manejados con sistemas de riego.
3. A las Facultades de Ciencias Agronómicas y de Química y Farmacia que deben promover la realización de investigaciones para determinar concentraciones de carbono y nitrógeno total en suelos cultivados en sistemas agroforestales y en monocultivo, y en terrenos que no tienen ningún tipo de vegetación.
4. A el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales que debe gestionar se reconozca e incentive económicamente a los productores de cacao orgánico por el servicio ambiental que ofrecen por proteger el suelo y ser sumideros de carbono que benefician a la sociedad.
5. A los futuros investigadores deben estimar el almacenamiento de carbono total en la finca de cacao evaluada en esta investigación de manera destructiva del cultivo para obtener un estudio completo sobre el carbono total.

## BIBLIOGRAFIA

1. Aguilar H, (2011) Biomasa sobre el suelo y Carbono Orgánico en el Suelo en cuatro estadios de sucesión de bosque en la península de OSA, Costa Rica. (Tesis de pregrado) Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal.
2. Alemán, V, Irving, Guido P, Francisco P, (2016). Comparación de dos técnicas para la determinación de carbono orgánico del suelo, en el Lafqa departamento de química, Unam Managua, septiembre-diciembre, 2015 (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua UNAM-Managua. Facultad de Ciencias e Ingenierías. Departamento de Química. Nicaragua. Páginas 8, 32, 42 y 43
3. Ana R. (2010) La densidad aparente en suelos forestales del parque natural Los Alcornocales. Sitio web. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/57951/1/La%20densidad%20aparente%20en%20suelos%20forestales%20.pdf>
4. Arguello S, Soler M, Rozo M, (2016). Cuantificación de bacterias diazótropas aisladas del suelo cacaotero (*Teobroma cacao* L), por la técnica de Número Más Probable. Sitio web <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5798945>
5. Barrera, Jenner et al. (2018) Variabilidad del almacenamiento del carbono en suelos cultivados con cacao en la provincia El Oro. Actas de conferencia, Disponible en: <http://investigacion.utmachala.edu.ec/proceedings/index.php/utmach/article/view/337>

6. Burbano-Orjuela, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. Revista. Científica de. Agronomía. 35 (1): 82-96. doi: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v35n1/0120-0135-rcia-35-01-00082.pdf>
7. Ciclo del Carbono. (2015) 29 de enero de 2019, de Bioenciclopedia Sitio web: <https://www.bioenciclopedia.com/ciclo-del-carbono/>
8. CORPOICA, (2007) Corporación Colombiana de Investigación Agronómica, Fertilización de plantillas y Socas. Sitio web [https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home\\_4/mod\\_virtuales/modulo2/tema\\_23.html](https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_4/mod_virtuales/modulo2/tema_23.html)
9. Cruz E, (2012). Caracterización de la Cadena Agroproductiva Cacao en El Salvador. Plan de Agricultura Familiar, 4, 11, 17, 20, 23 y 27.
10. Di Geronio F, Videla C, Laclac P, (2017). Distribución de Carbono y Nitrógeno Orgánico en Fracciones Granulométricas de Suelo bajo Pastizales, Agricultura y forestales. AACCS, Asociación Argentina de Ciencia del Suelo, Sitio web [https://www.researchgate.net/publication/329556721\\_Distribucion\\_de\\_carbono\\_y\\_nitrogeno\\_organico\\_en\\_fracciones\\_granulometricas\\_de\\_suelos\\_bajo\\_pastizales\\_agricultura\\_y\\_forestaciones](https://www.researchgate.net/publication/329556721_Distribucion_de_carbono_y_nitrogeno_organico_en_fracciones_granulometricas_de_suelos_bajo_pastizales_agricultura_y_forestaciones)
11. Dora Iñon. (2010). Ciclo del Nitrógeno. 13 de febrero de 2019, Desconocido Sitio web: <http://www.iib.unsam.edu.ar/archivos/docencia/licenciatura/bioteconologia/2018/QuimicaBiol/1528215167.pdf>
12. Dostert N, (2012). Hoja botánica: Cacao. Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú. Lima Perú. Disponible en: [http://www.botconsult.com/downloads/Hoja\\_Botanica\\_Cacao\\_2012.pdf](http://www.botconsult.com/downloads/Hoja_Botanica_Cacao_2012.pdf)

13. Eduardo M. et. al. (2012) Ecosistemas Terrestres. Sitio Web. <http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL005257.pdf>
14. Floria R. (2005) CIA. INTA. El muestreo de Suelo. Sitio Web. <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELOS-final.pdf>
15. Guillermo F. (2007) Estudio preliminar de arquitectura en algunas especies de podocarpaceae (Gymnospermae) del norte de Sudamérica. Tesis para optar al grado de Bióloga. Sitio Web <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/23411/u295504.pdf?sequence=1>
16. Guardado D, Erick C, López. M, (2017). Caracterización morfoagronómica in situ de cacao criollo (*Theobroma cacao* L.) en lugares de prevalencia natural y su incidencia en la selección de germoplasma promisorio en El Salvador. (Tesis de pregrado). Facultad de Ciencias Agronómicas Universidad de El Salvador. El Salvador. 6, 7.
17. Hernan B. (2016) El Carbono Orgánico del Suelo en el ámbito de la Naturaleza y la Sociedad. Sitio Web. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7831495.pdf>
18. LAR Process Analysers Ag. (2015). Carbono Orgánico Total (COT). 24 de febrero de 2019, Sitio web: <https://www.lar.com/es/productos/analisis-de-cot/toc-carbono-organico-total.html>
19. Laura R. (2020) Bosque perennifolio: Que es, flora y Fauna. Sitio Web. <https://www.ecologiaverde.com/bosque-perennifolio-que-es-caracteristicas-flora-y-fauna-2611.html>

20. Ley N° 233 DIARIO OFICIAL República de El Salvador, América Central TOMO No. 339, Número 79, San Salvador 4 de mayo de 1998.
21. Ley N° 852 DIARIO OFICIAL Republica de El Salvador, América Central TOMO N° 110, Número 355, San Salvador 17 de junio de 2002.
22. Leyson J. Luz R. (2018) El agroecosistema: ¿Objeto de estudio de la agroecología o agronomía ecologizada? Anotaciones para una tensión epistémica. Sitio Web. <http://www.scielo.org.mx/pdf/interdi/v6n14/2448-5705-interdi-6-14-89.pdf>
23. Luis B. (2006) UNAN Planificación de fincas. Sitio Web. <https://cenida.una.edu.ni/textos/ne20b194.pdf>
24. Martínez B, Darwin H, (2015). Caracterización de cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L) por su respuesta de defensa a *Moniliophthora roreri* y su polimorfismo de SSRs. 20 de febrero de 2019, de Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias Sitio web: <http://bdigital.unal.edu.co/46815/1/07790939.2015.pdf>
25. Martínez F et. al. (2009). Lombricultura. Manual práctico. 07 de febrero de 2019, de EcuRed Sitio web: [https://www.ecured.cu/Materia\\_org%C3%A1nica](https://www.ecured.cu/Materia_org%C3%A1nica)
26. Melgar K, Nieto M, (2017). Almacenamiento de carbono en sistemas con diferentes usos de suelos en el municipio de Comalapa, Chalatenango, El Salvador. (Tesis de Pregrado). Universidad de El Salvador. Facultad de Ciencias Agronómicas. El Salvador.

27. Ministerio del Ambiente, Viceministerio de Gestión Ambiental, Dirección General de Calidad Ambiental, (2014) Guía para el muestreo de suelos. Sitio Web. <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/2/2013/10/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELOS-final.pdf>
28. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2013) Estrategia Nacional del Medio Ambiente. Integrando los Procesos del Desarrollo Sostenible. Sitio web: <http://www2.ecolex.org/server2.php/libcat/docs/LI/MON-083740.pdf>
29. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2018) Inventario Nacional de Bosques de El Salvador. Sitio web: <http://www.marn.gob.sv/inventario-nacional-bosques/documento/>
30. Miranda F, Parada A, (2020). Determinación de las concentraciones de Carbono y Nitrógeno total en suelos de fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional, El Salvador (Tesis de Pregrado) Universidad de El Salvador Facultad de Química y farmacia.
31. Organización de las Naciones Unidas (2015). De los Objetivos del Milenio al desarrollo sostenible: Naciones Unidas y las metas globales post-2015. 20 de abril del 2019.
32. Pannell J. (2014) Evolución de la agregación y separación de sexos, ¿Que hemos aprendido de la población Ibérica de *Mercurialis annua*? Sitio Web. <https://www.redalyc.org/pdf/540/54032954003.pdf>
33. Paredes, M. C. (2013). Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas. Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad

de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina. Disponible en:  
<http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/fijacion-biologica-nitrogeno-leguminosas.pdf>

34. Pedrosa I, (2014). Pruebas de bondad de ajuste en distribuciones simétricas, ¿qué estadístico utilizar? Universidad de Oviedo, España. Sitio web <https://www.redalyc.org/journal/647/64739086029/html/>
35. Reynaldo B, (2016) Universidad Nacional Agraria y Catholic Relief Services (CRS), Guía técnica para muestra de suelo. Sitio web. <https://repositorio.una.edu.ni/3613/1/P33M539.pdf>
36. Romero N, (2010). Métodos de Análisis para la Determinación de Nitrógeno y Constituyentes Nitrogenados en Alimentos. 25 de febrero de 2019. Sitio Web: <http://www.fao.org/3/AH833S17.htm>
37. Romero U, Humberto M, (2017). Cambio en el Almacén de carbono y Nitrógeno Edáfico en Diferentes Tipos de Usos de suelos y a Diferentes profundidades, en el Centro de Veracruz, México. (Tesis de Posgrado), INECOL, Instituto de Ecología. A.C. Sitio web [http://posgrado.inecol.edu.mx/SCE/\\_lib/file/doc\\_estud\\_tesis/MM14019\\_tesis.PDF](http://posgrado.inecol.edu.mx/SCE/_lib/file/doc_estud_tesis/MM14019_tesis.PDF)
38. Sánchez N, Irias N, (2018). Biomasa forestal, carbono fijado y almacenado en sistema bosque y sistema silvopastoril en siete fincas del municipio de Mulukukú, RACN (Tesis de pregrado) Universidad Nacional Agraria, Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente, Nicaragua

39. Savala W, (2018). Influencia de Tres Sistemas Agroforestales del Cultivo de Cacao en la Captura y Almacenamiento de Carbono, Scientia Agropecuaria  
Sito web [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2077-99172018000400004](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172018000400004)
40. SCAE (2017) Sistemas de Contabilidad y Ambiental y Economía.  
[https://www.cepal.org/sites/default/files/courses/files/modulo6\\_intro-cuentas-emisiones-aire.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/courses/files/modulo6_intro-cuentas-emisiones-aire.pdf)
41. STUDDERT, (2017) Carbono orgánico del suelo bajo sistemas de cultivo contrastantes y su relación con la capacidad de proveer nitrógeno. Scielo.
42. Tadeo A, (2014). Muestreo por conglomerado para manejo forestal, Quintana Roo. Sitio web: [https://www.researchgate.net/publication/324959203\\_Muestreo\\_por\\_conglomerados\\_para\\_manejo\\_forestal\\_en\\_el\\_Ejido\\_Noh\\_Bec\\_Quintana\\_Roo/fulltext/5aed09490f7e9b01d3e16dcb/Muestreo-por-conglomerados-para-manejo-forestal-en-el-Ejido-Noh-Bec-Quintana-Roo.pdf](https://www.researchgate.net/publication/324959203_Muestreo_por_conglomerados_para_manejo_forestal_en_el_Ejido_Noh_Bec_Quintana_Roo/fulltext/5aed09490f7e9b01d3e16dcb/Muestreo-por-conglomerados-para-manejo-forestal-en-el-Ejido-Noh-Bec-Quintana-Roo.pdf)
43. TRANSBIOMA FP, (2012) Biomasa, Biocombustibles y Sostenibilidad, Sitio Web. <http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%20C%20Biocombustibles%20y%20Sostenibilidad.pdf>
44. UBA. 2000. Principios de Edafología, con énfasis en suelos argentinos. Editorial Facultad de Agronomía.
45. Umaña J, (2012). Huella de carbono en los sistemas de producción agrícola dominantes en el municipio de Falán, Tolima. (Tesis de pregrado). facultad de estudios ambientales y rurales pontificia Universidad Javeriana. Colombia 14, 15

46. UNAM, (2019) Humus. Sitio Web. <http://www.telematica.ccadet.unam.mx/bio/narrativas/libros-electronicos/libros-pdf/Humus.pdf>
47. UNL Universidad Nacional del Litoral (2014) Química Conceptos básico Sitio Web. <http://www.unl.edu.ar/ingreso/cursos/quimica/wp-content/uploads/sites/4/2021/11/Unidad-2-Sistemas-materiales.pdf>
48. Víctor L. (2019) importancia de los humedales naturales y artificiales en el ámbito socio - ambiental. Una revisión bibliográfica. Sitio Web <https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/20.500.12421/4453/IMPORTANCIA%20DE%20LOS%20HUMEDALES%20.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
49. Villegas V, (2014). Variación del Carbono Orgánico en suelos del altiplano potosino oeste. (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma de San Luis Potosí facultad de agronomía y veterinaria. México 4, 5,

## GLOSARIO

**Agroecosistema:** Es un medio ambiente o un hábitat sujeto a constantes y prolongados estudios de rectificación, correcciones o modificaciones en sus componentes bióticos y abióticos para la producción de alimentos. 22

**Banda de fertilización:** Costado del surco donde se aplica el fertilizante a lo largo del mismo. 8

**Barreno:** instrumento utilizado para realizar agujeros cilíndricos en los terrenos a diferente profundidad y extraer suelo. 14

**Biomasa:** Fracción biodegradable de los productos, desechos y residuos de origen biológicos. 42

**Calle:** Espacio que hay entre los surcos de plantas. 8

**Cilindro:** Cilindro metálico utilizado para la extracción de un volumen conocido de suelo. 3

**Dismórfico:** Condiciones de las especies vegetales que presentan dos formas diferentes. 32

**Ecosistema:** Conjunto de organismos vivos en un hábitat en particular, junto con el ambiente físico en el que viven y los factores abióticos con el que interactúan. 13

**Emisiones:** Vertido de sustancias gaseosas y partículas a la atmosfera. 40

**Fijación:** Conversión de sustancia de forma inorgánica a forma orgánica en la que es almacenada. 17

**Finca:** Extensión de terreno rustico o urbanizada utilizada generalmente para cultivos agrícolas. 23

**Georreferencia:** Posicionamiento espacial de un cuerpo en una localización geográfica de acuerdo con sistema de coordenadas y datos específicos. 27

**Heterogéneo:** Adjetivo que indica que una sustancia no es uniforme en su composición. 44

**Homogéneo:** Adjetivo que indica que una sustancia es uniforme en su composición. 47

**Humedales:** Terreno con presencia de aguas superficiales o subterráneas con escasa profundidad. 48

**Húmus:** Son macromoléculas altamente alteradas con múltiples propiedades y estructura compleja que representan la mayor cantidad de carbón orgánico en el suelo. 46

**Muestra:** Cantidad pequeña que se considera representativa del total y que se colecta en un lugar y tiempo en particular. 35

**Muestreo:** Proceso utilizado en la obtención de una muestra. 35

**Ortótropico:** Planta cuyo eje de crecimiento es perpendicular al suelo. 15

**Parcela:** Porción pequeña en la que se divide el terreno. 23

**Perennifolio:** Árbol, planta o arbusto que conserva su follaje todo el año. 19

**Reservorio o sumidero:** Lugar o sitio donde se deposita cierto material o elemento para su posterior utilización. 35

**Suelo:** Material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, material orgánico, aire, agua y organismos que comprenden desde la capa superior de la superficie hasta los diferentes niveles de profundidad. 27

## **ANEXOS**

**ANEXO N°1**  
**UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL SITIO DE MUESTREO**  
**RECONOCIMIENTO DE LA FINCA DEL SEÑOR JAIME ARÉVALO**



Figura N°9. Ubicación de la finca de cacao del señor Jaime Arévalo en el cantón Cangrejera, municipio de Izalco, Sonsonate, El Salvador.

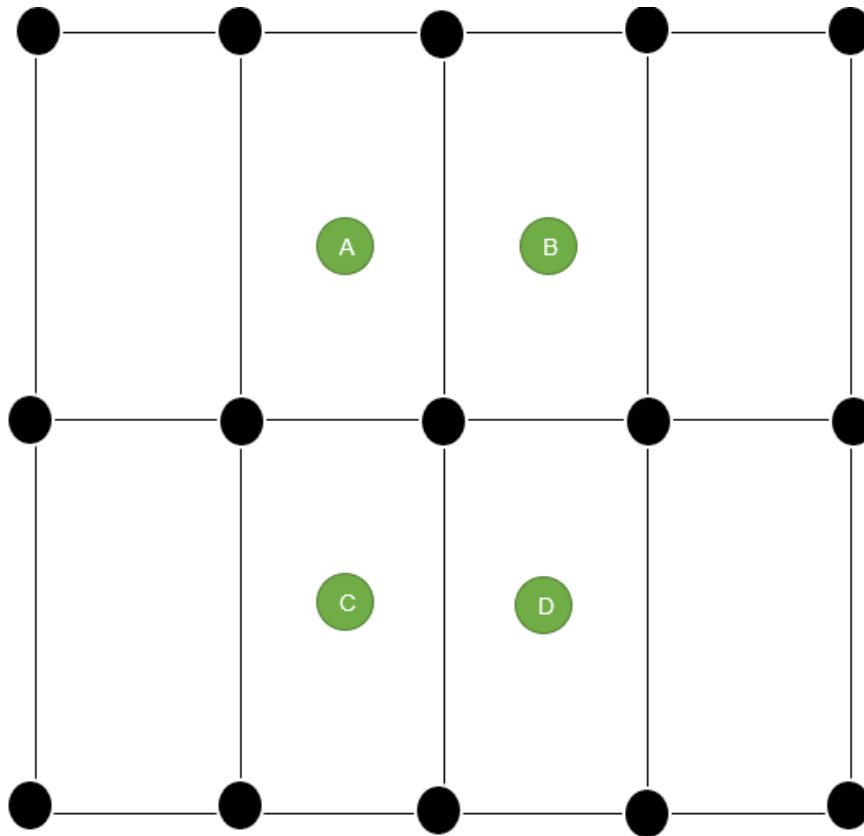


Figura N°10. Reconocimiento de la finca del señor Jaime Arévalo.



Figura N°11. Finca del Señor Jaime Arévalo dividida en tres parcelas.

**ANEXO N° 2**  
**MUESTREO POR CONGLOMERADO**



● Puntos de muestreo en la banda de fertilización y en la calle entre surcos de plantas de cacao en cada parcela, se numerará cada punto con la ubicación geográfica.

● Puntos de muestreo de densidad en cada parcela.

Figura N°12. Muestreo por conglomerado.

**ANEXO N°3**  
**DETERMINACIÓN DE CARBONO Y NITRÓGENO TOTAL**



Pesar 20 mg de muestra de suelo.



Las muestras pesadas se transportan en bandejas de 12 unidades.



Esperar que la muestra se calcine y se obtenga la lectura en el programa



Introducir las navcillas al horno horizontal del equipo de COT.



Muestras calcinadas luego de la lectura.

Figura N° 13. Lectura de muestras para análisis de Carbono Orgánico Total.



Pesar 0.3 g de suelo.



Muestras pesadas en tubos para micro Kjeldahl.



Digerir las muestras por 2 horas.



Agregar 6 mL de ácido sulfúrico concentrado y 3 g de mezcla catalizador (sulfato de potasio y sulfato de cobre).

Figura N° 14. Digestión de las muestras de suelo.



Agregar 80 mL de agua destilada.

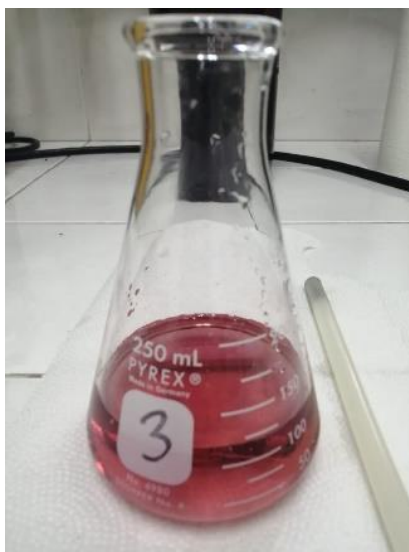


Agregar 60 mL de NaOH 40%, destilarlo y recibirlo en un Erlenmeyer con ácido bórico.

Figura N° 15. Destilación de muestras de suelo.



Titular con HCl 0.1 N el Erlenmeyer hasta un tono rojo intenso.



Erlenmeyer al punto final de la titulación.

Figura N° 16. Titulación del suelo.

**ANEXO N°4**  
**GASES DE EFECTO INVERNADERO**

Cuadro N° 3. Gases de efecto invernadero.

Gases de Efecto Invernadero	Fuente de emisión
Vapor de Agua	Por evaporación, ebullición del agua líquida o por sublimación del hielo.
CO <sub>2</sub>	Gas de invernadero producido por uso de combustible fósil (petróleo, gas, carbón, otras) y por el cambio de uso de la tierra (deforestación). Este gas ha contribuido a mantener una temperatura constante dentro de la tierra, sin embargo, en la actualidad, es responsable de casi el 76% del calentamiento global previsto para los próximos años.
CH <sub>4</sub>	Es producido por la combustión de combustible fósil, asimismo, se produce en los pozos de petróleo, minas de carbón al aire libre, cultivos de arroz y por la digestión alimenticia de los animales.
N <sub>2</sub> O	Liberado por la combustión de vehículos motorizados Diesel, así como el empleo de fertilizantes nitrogenados.
HFC	Es usado por las personas como disolvente para los aerosoles, refrigerantes y dispersores de espuma de uso industrial y doméstico.
O <sub>3</sub>	Presente en la estratosfera y la troposfera.

**ANEXO N°5**  
**MUESTREO DE LA FINCA DEL SEÑOR JAIME ARÉVALO Y PRE-**  
**TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE SUELO**

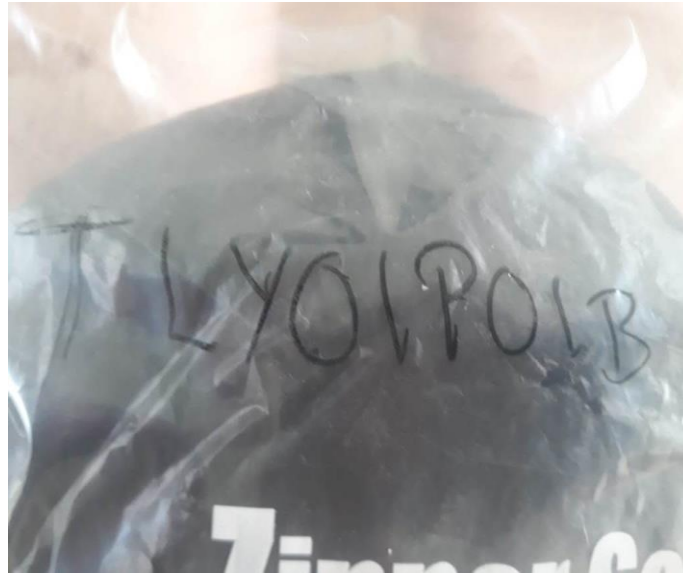


Figura N° 17. Código de muestreo en parcela 1 punto 1 banda.

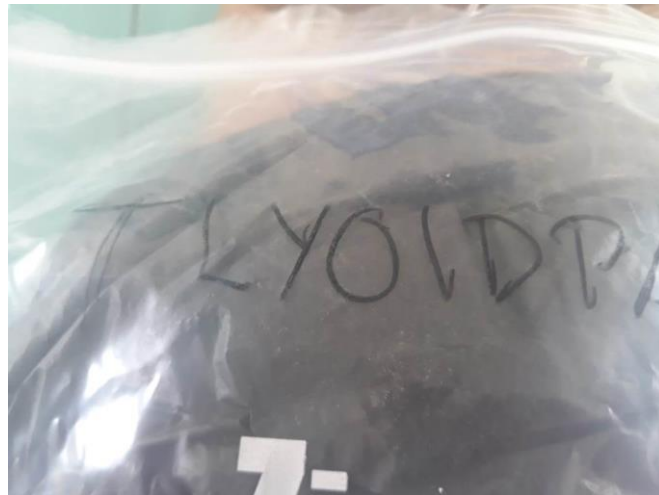


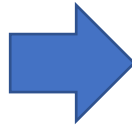
Figura N° 18. Código de muestras de densidad parcela 1 punto A.

Tabla N° 3. Ejemplos de la identificación de las muestras.

<b>Código</b>	<b>Significado</b>
TLY01P01B	Tesis Luis Yunior parcela 01 Punto 01 Banda
TLY01P01C	Tesis Luis Yunior parcela 01 Punto 01 Calle
TLY01P02B	Tesis Luis Yunior parcela 01 Punto 02 Banda
TLY02P01B	Tesis Luis Yunior parcela 02 Punto 01 Banda
TLY03P02C	Tesis Luis Yunior parcela 03 Punto 02 Calle
TLY01DPA	Tesis Luis Yunior parcela 01 Densidad Punto A



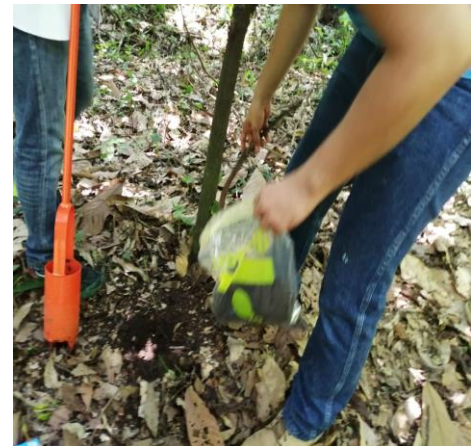
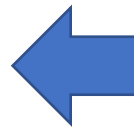
Medición de los puntos.



Muestreo de suelos.



Recolección de muestras.



Muestreo de banda.

Figura N° 19. Muestreo de suelos.



Muestra de densidad.



Almacenamiento de muestras de densidad.

Figura N°20. Muestreo de densidad aparente.



Figura N° 21. Muestras húmedas para los análisis de carbono y nitrógeno total.



Figura N° 22. Muestras de densidad húmedas.



Estufa de aire circulante.



Introducción de muestras a 40° C en estufa.



Micronizado de suelos.



Cuardeo de suelos.

Figura N° 23. Pre-tratamiento de las muestras.

Continuación de figura N° 23.



Tamiz de suelos.



Almacenamiento de muestras.

**ANEXO N°6**  
**RESULTADOS OBTENIDOS DE CARBONO Y NITROGENO TOTAL**

Tabla N° 4. Resultados de Carbono y Nitrógeno Total en parcela 1.

Muestra	Porcentaje de carbono orgánico	Porcentaje de nitrógeno	Densidad	Carbono total
ID usuario	TOC	micro-Kjedahl	Promedio por parcelas	Profundidad 20 cm
TLY01P01C	5.54	0.36	<b>0.7872375</b>	87.2259
TLY01P01B	5.41	0.38		85.1791
TLY01P02C	4.84	0.38		76.2046
TLY01P02B	4.95	0.43		77.9365
TLY01P03C	4.91	0.45		77.3067
TLY01P03B	4.70	0.33		74.0003
TLY01P04C	5.40	0.41		85.0217
TLY01P04B	5.20	0.48		81.8727
TLY01P05C	5.42	0.51		85.3365
TLY01P06B	5.30	0.31		83.4472
TLY01P06C	5.01	0.46		78.8812
TLY01P06B	4.89	0.25		76.9918
TLY01P07C	4.85	0.40		76.3620
TLY01P07B	4.86	0.37		76.5195
TLY01P08C	4.95	0.30		77.9365
TLY01P08B	5.00	0.36		78.7238
TLY01P09C	4.68	0.35		73.6854
TLY01P09B	4.78	0.45		75.2599
TLY01P10C	5.78	0.51		91.0047
TLY01P10B	5.75	0.52		90.5323
TLY01P11C	4.58	0.36		72.1110
TLY01P11B	4.65	0.48		73.2131
TLY01P12C	6.15	0.43		96.8302
TLY01P12B	6.18	0.44		97.3026
TLY01P13C	5.06	0.38		79.6684
TLY01P13B	5.09	0.45		80.1408
TLY01P14C	5.10	0.49		80.2982
TLY01P14B	5.14	0.40		80.9280
TLY01P05C	5.17	0.41		81.4004
TLY01P15B	5.39	0.57		84.8642

Tabla N° 5. Resultados de Carbono y Nitrógeno Total en parcela 2.

Muestra	Porcentaje de carbono orgánico	Porcentaje de nitrógeno	Densidad	Carbono total
ID usuario	TOC	micro-Kjedahl	Promedio por parcelas	Profundidad 20 cm
TLY02P01C	6.46	0.75	0.6593725	85.1909
TLY02P01B	5.64	0.50		74.3772
TLY02P02C	5.79	0.51		76.3553
TLY02P02B	6.22	0.63		82.0259
TLY02P03C	5.22	0.84		68.8385
TLY02P03B	6.81	0.80		89.8065
TLY02P04C	5.44	0.58		71.7397
TLY02P04B	5.50	0.46		72.5310
TLY02P05C	5.78	0.46		76.2235
TLY02P06B	5.74	0.41		75.6960
TLY02P06C	5.66	0.91		74.6410
TLY02P06B	5.68	0.48		74.9047
TLY02P07C	5.11	0.52		67.3879
TLY02P07B	5.64	0.96		74.3772
TLY02P08C	6.59	0.65		86.9053
TLY02P08B	6.45	0.42		85.0591
TLY02P09C	4.69	0.37		61.8491
TLY02P09B	5.58	0.79		73.5860
TLY02P10C	5.25	0.54		69.2341
TLY02P10B	5.23	0.64		68.9704
TLY02P11C	5.41	0.49		71.3441
TLY02P11B	5.46	0.47		72.0035
TLY02P12C	5.09	0.62		67.1241
TLY02P12B	5.12	0.43		67.5197
TLY02P13C	5.91	0.40		77.9378
TLY02P13B	5.85	0.39		77.1466
TLY02P14C	5.66	0.55		74.6410
TLY02P14B	5.65	0.58		74.5091
TLY02P15C	5.54	0.45	73.0585	
TLY02P15B	5.80	0.92	76.4872	

Tabla N° 6. Resultados de Carbono y Nitrógeno Total en parcela 3.

Muestra	Porcentaje de carbono orgánico	Porcentaje de nitrógeno	Densidad	Carbono total
ID usuario	TOC	micro-Kjedahl	Promedio por parcelas	Profundidad 20 cm
TLY03P01C	5.08	0.52	0.58871	59.8129
TLY03P01B	5.59	0.51		65.8178
TLY03P02C	5.88	0.64		69.2323
TLY03P02B	5.82	0.73		68.5258
TLY03P03C	4.82	0.55		56.7516
TLY03P03B	6.07	0.72		71.4694
TLY03P04C	6.97	0.51		82.0662
TLY03P04B	6.95	0.64		81.8307
TLY03P05C	6.90	0.56		81.2420
TLY03P06B	6.93	0.50		81.5952
TLY03P06C	6.56	0.49		77.2388
TLY03P06B	6.60	0.51		77.7097
TLY03P07C	4.92	0.58		57.9291
TLY03P07B	4.90	0.61		57.6936
TLY03P08C	4.80	0.55		56.5162
TLY03P08B	5.95	0.55		70.0565
TLY03P09C	6.87	0.57		80.8888
TLY03P09B	6.80	0.62		80.0646
TLY03P10C	6.32	0.68		74.4129
TLY03P10B	5.76	0.71		67.8194
TLY03P11C	6.09	0.74		71.7049
TLY03P11B	6.10	0.50		71.8226
TLY03P12C	4.96	0.46		58.4000
TLY03P12B	5.00	0.53		58.8710
TLY03P13C	6.42	0.42		75.5904
TLY03P13B	7.44	0.65		87.6000
TLY03P14C	6.25	0.48		73.5888
TLY03P14B	6.20	0.76		73.0000
TLY03P15C	6.03	0.53		70.9984
TLY03P15B	6.23	0.76		73.3533

**ANEXO N°7**

**ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR KOLMOGOROV SMIRNOV  
Y ANOVA PARA MUESTRAS DE CARBONO Y NITRÓGENO TOTAL.**

Tabla N° 7. Análisis descriptivo de carbono total entre parcelas.

Análisis estadístico por Parcela		Datos
<b>Carbono Total</b>		
Media		75.6807
Desviación estándar		8.35160466
Mínimo		56.5162
Máximo		97.3026
Rango		40.7864
numero de datos		90
Regla de sturges		7.49199362
Raíz de n		9.48683298
tamaño de intervalo >100		4.29926352

Tabla N° 8. Tabla de frecuencias de carbono total entre parcelas.

Tabla de Frecuencias							
Carbono Total entre parcelas							
Lim Inf	Lim sup	Frec absoluta u observada	Frec acumulada	Frec observada relativa	Frec observada relativa acumulada	Frec esperada relativa acumulada	Abs (Fora-Fera)
56.5162	61.9602	8	8	0.08888889	0.08888889	0.05020621	0.03868268
61.9602	67.4042	3	11	0.03333333	0.12222222	0.16084109	0.03861886
67.4042	72.8482	17	28	0.18888889	0.31111111	0.36724592	0.05613481
72.8482	78.2922	32	60	0.35555556	0.66666667	0.62274342	0.04392325
78.2922	83.7361	16	76	0.17777778	0.84444444	0.83261349	0.01183095
83.7361	89.1801	9	85	0.1	0.94444444	0.94699553	0.00255108
89.1801	94.6241	3	88	0.03333333	0.97777778	0.98834287	0.0105651
94.6241	100.0681	2	90	0.02222222	1	0.99825038	0.00174962

Tabla N° 9. Prueba de Kolmogorov Smirnov para estimación de normalidad de datos de carbono total entre parcelas.

Tabla de Kolmogorov Smirnov	
Carbono Total entre parcelas	
Estadístico Kolmogorov	0.05613481
nivel de significancia 0.05	0.24830089
grados de libertad	90
Se acepta la hipótesis nula	

Tabla N° 10. Análisis de varianza de un factor entre parcelas de carbono total.

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Parcela 1	30	2436.18517	81.2061723	42.0667506
Parcela 2	30	2241.47088	74.7156959	39.130308
Parcela 3	30	2133.60278	71.1200927	78.797813

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1567.8365	2	783.91823	14.698938	3.16576E-06	3.1012958
Dentro de los grupos	4639.8513	87	53.331624			
Total	6207.6877	89				
Se rechaza la hipótesis nula						

Tabla N° 11. Análisis descriptivo de nitrógeno total entre parcelas.

Análisis estadístico por Parcela		Datos
<b>Nitrógeno Total</b>		
Media		0.5280
Desviación estándar		0.14457376
Mínimo		0.25
Máximo		0.96
Rango		0.71
numero de datos		90
Regla de sturges		7.49199362
Raíz de n		9.48683298
tamaño de intervalo >100		0.07484057

Tabla N° 12. Tabla de frecuencias de carbono total entre parcelas.

Tabla de Frecuencias							
Nitrógeno Total entre parcelas							
Lim Inf	Lim sup	Frec absoluta u observada	Frec acumulada	Frec observada relativa	Frec observada relativa acumulada	Frec esperada relativa acumulada	Abs (Fora-Fera)
0.25	0.34	4.00	4.00	0.04444444	0.04444444	0.10250692	0.05806247
0.34	0.44	21.00	25.00	0.23333333	0.27777778	0.27030277	0.00747501
0.44	0.53	31.00	56.00	0.34444444	0.62222222	0.5173886	0.10483362
0.53	0.63	14.00	70.00	0.15555556	0.77777778	0.75775483	0.02002295
0.63	0.72	9.00	79.00	0.1	0.87777778	0.91222698	0.0344492
0.72	0.82	7.00	86.00	0.07777778	0.95555556	0.97778943	0.02223388
0.82	0.91	2.00	88.00	0.02222222	0.97777778	0.99615737	0.01837959
0.91	1.01	2.00	90.00	0.02222222	1	0.99955167	0.00044833

Tabla N° 13. Prueba de Kolmogorov Smirnov para estimación de normalidad de datos de nitrógeno total entre parcelas.

Tabla de Kolmogorov Smirnov	
Nitrogeno Total entre parcelas	
Estadístico Kolmogorov	0.10483362
nivel de significancia 0.05	0.24830089
grados de libertad	90
Se acepta la hipótesis nula	

Tabla N° 14. Análisis de varianza de un factor entre parcelas de carbono total.

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Parcela 1	30	12.42	0.414	0.00524552		
Parcela 2	30	17.52	0.584	0.02941103		
Parcela 3	30	17.58	0.586	0.00932138		

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.58488	2	0.29244	19.9490967	7.3922E-08	3.10129576
Dentro de los grupos	1.27536	87	0.01465931			
Total	1.86024	89				
Se rechaza la hipótesis nula						

**ANEXO N°8**  
**MATERIAL Y EQUIPO UTILIZADO**

- **Herramientas y equipos usados en el muestreo y tratamiento de muestras**



Barreno.



Barreno de Densidad.



Cilindro de Densidad.



GPS de campo.



Hielera porta muestras.



Cinta métrica.

Figura N° 24. Materiales y equipo utilizado.

Continuación Figura N° 24. Materiales y equipo utilizado.



Bandeja de aluminio.



Estufa de aire circulante.