

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA



DETERMINACION DE LAS CONCENTRACIONES DE CARBONO Y  
NITROGENO TOTAL EN SUELOS DE FINCAS CAFETALERAS CON MANEJO  
ORGANICO Y CONVENCIONAL

TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO POR

FRANCISCO DAVID MIRANDA SIXCO  
ALEX ERNESTO PARADA PARADA

PARA OPTAR AL GRADO DE  
LICENCIADO EN QUIMICA Y FARMACIA

MAYO 2020

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTROAMERICA

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR**

MAESTRO ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

**SECRETARIO GENERAL**

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCON SANDOVAL

**FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA**

**DECANA**

LICDA. REINA MARIBEL GALDAMEZ

**SECRETARIA**

LICDA. EUGENIA SORTO LEMUS

## **DIRECCION DE PROCESOS DE GRADUACION**

### **DIRECTORA GENERAL**

MSc. Cecilia Haydeé Gallardo de Velásquez

### **TRIBUNAL CALIFICADOR**

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

Licda. Rina Antonieta Toledo Mendoza

#### **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. MSc. Norbis Salvador Solano Melara

Lic. Mario Antonio Hernández Melgar

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por permitirnos concluir esta etapa de la carrera, por acompañarnos, cuidarnos, darnos sabiduría y guiarnos en todo momento.

A los docentes del tribunal calificador MSc. Eliseo Ernesto Ayala Mejía, Licda. Rina Antonieta Toledo Mendoza, quienes han dirigido el presente trabajo de investigación, por sus consejos, sugerencias y apoyo para alcanzar los objetivos propuestos, muchas bendiciones.

A los docentes asesores Lic. MSc. Norbis Salvador Solano Melara, Ing. MSc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia y Lic. Mario Antonio Melgar, quienes sin dudar un momento decidieron ayudarnos incondicionalmente en todo momento en el transcurso de esta investigación.

A los docentes del Departamento de Química Agrícola Aplicada, por su apoyo por dejarnos hacer uso de sus laboratorios y equipos.

A las personas de Montealegre Orgánico y PROCAFE por darnos la oportunidad de realizar la investigación en sus fincas.

A BANDESAL, por financiar esta investigación científica que será de mucha ayuda a los productores.

**David Sixco y Alex Parada**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por darme la fortaleza y la perseverancia para superar las dificultades, por brindarme sabiduría para lograr salir adelante y cumplir mis objetivos.

A mis padres Nohemí Miranda y Francisco Morales, por el cariño, afecto y todas las enseñanzas y consejos que me han brindado a lo largo de mi vida, a enseñarme con el ejemplo la manera correcta de actuar ante las adversidades.

A mi hermana Lesly Sixco, por brindarme su apoyo incondicional y por demostrarme con hechos todo su afecto por mí.

A mis abuelas María Antonia Morales y Juana Antonia Pinto, agradecerles su apoyo y amor incondicional, por siempre estar presente en todos mis logros y darme la fuerza para seguir adelante; a todos mis tíos por apoyarme y brindarme valiosas lecciones. Gracias totales a todos ustedes por siempre inspirarme a ser mejor.

A mi compañero y amigo Alex Parada por su amistad, apoyo, esfuerzo y dedicación durante este trabajo de investigación y años de estudio juntos.

A mis docentes asesores por su dedicación y esfuerzo en este trabajo de graduación, siempre estaré infinitamente agradecido y espero que Dios los bendiga siempre.

A mis amigos Cecilia, Clarisa, Adriana, Oscar, Napo, Diego, Alejandro, Lucy, Silvia, por su ayuda y apoyo durante todos estos años de estudio, por los buenos momentos que hemos compartido y espero que sean muchos años más de amistad y momentos inolvidables.

“En algún lugar algo increíble está esperando ser descubierto” -Carl Sagan.

**Francisco David Miranda Sixco**

## **DEDICATORIA**

A mi madre Ana Nelly Parada, gracias por apoyarme en cada etapa de este largo camino y enseñarme por medio del ejemplo la manera correcta de vivir la vida.

A mi padre José Simón Parada, que donde sea que Dios te tenga, tu siempre me enseñaste a ser perseverante en la vida.

A mis hermanos Simón Parada y Paty Parada, siempre me han demostrado su ayuda y su más sincero cariño.

A mis primos, quienes siempre con sus ocurrencias me han logrado sacar sonrisas en los días difíciles.

A mi compañero y buen amigo David Sixco, por siempre tener una gran actitud positiva al trabajo y gran dedicación a este trabajo de investigación.

A todos mis amigos y compañeros de la universidad Lucí Santos, Mimí Torres, Oscar Rivas, Gerardo Soto, Ing. Jaime Planas, a todos los que conocí en el transcurso de la carrera y me brindaron su ayuda, pero en especial a Clarisa por ayudarnos siempre en todo lo relacionado a la investigación.

A mi novia Karla Aguilar, que me impulsa a ser una mejor persona cada día y me brinda su apoyo.

**Alex Ernesto Parada Parada**

## INDICE

	Pg N°
Resumen	
Capitulo I	
1.0 Introducción	xvii
Capitulo II	
2.0 Objetivos	
2.1 Objetivo General	
2.2 Objetivos Especificos	
Capitulo III	
3.0 Marco Teorico	
3.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible	22
3.2 Cambio climático	22
3.3 Gases de efecto invernadero	23
3.4 Materia orgánica del suelo	23
3.5 Ciclo del carbono	23
3.5.1 Captura unitaria de carbono	25
3.6 Fijación biológica del Nitrógeno	25
3.7 Óxido Nitroso como gas de efecto invernadero	27
3.8 Agricultura Orgánica	29
3.9 Agricultura Convencional	31
3.10 El cultivo del café en El Salvador	31

3.11 Normativa legal de El Salvador	33
3.12 Métodos de determinación	34
3.12.1 Combustión Oxidativa	34
Capitulo IV	
4.0 Diseño Metodológico	
4.1 Tipo de Estudio	38
4.2 Investigación bibliográfica	38
4.3 Investigación de campo	38
4.4 Parte experimental	46
4.4.1 Tratamiento de las muestras de suelo	47
Capitulo V	
5.0 Resultados y Discusion de Resultados	57
5.1 Resultados de la determinación de carbono en suelos	58
5.2 Análisis estadístico	63
Capitulo VI	
6.0. Conclusiones	92
Capitulo VII	
7.0 Recomendaciones	94
Bibliografía	95
Anexos	100

## ABREVIATURAS, SIGLAS Y SIMBOLOGIAS

<b>Cd:</b>	Carbono en descomposición
<b>CH<sub>4</sub>:</b>	Metano
<b>CO<sub>2</sub>:</b>	Dióxido de Carbono
<b>COS:</b>	Carbono Orgánico en Suelos
<b>Cs:</b>	Carbono en suelos
<b>Cv:</b>	Carbono en vegetación
<b>FAO:</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
<b>GEI:</b>	Gases de Efecto Invernadero
<b>HNO<sub>3</sub>:</b>	Ácido nítrico
<b>N<sub>2</sub>:</b>	Nitrógeno molecular
<b>N<sub>2</sub>O:</b>	Óxido Nitroso
<b>NO<sub>2</sub>:</b>	Dióxido de Nitrógeno
<b>msnm:</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>Pg:</b>	Petagramos (1x10 <sup>15</sup> gramos)
<b>ppb:</b>	Partes por billón
<b>PROCAFE:</b>	Fundación Salvadoreña para Investigaciones del Café
<b>ton C/ha:</b>	Toneladas de Carbono por hectárea
<b>SAF:</b>	Sistemas Agroforestales

## ÍNDICE DE ANEXOS

### ANEXO N°

1. Zonas cafetaleras de El Salvador e identificación de los puntos de muestreo
2. Recolección de muestras
3. Tratamiento de las muestras de suelo
4. Materiales, cristalería, equipo, reactivos y preparación de reactivos para la determinación de carbono, nitrógeno total y densidad aparente
5. Determinación de carbono y nitrógeno total
6. Lecturas obtenidas de carbono por combustión oxidativa de sólidos, nitrógeno total por Kjeldhal, densidad por el método del cilindro y resultados de concentración
7. Análisis Kruskal-Wallis de las concentraciones promedio de carbono, nitrógeno total y densidad

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N°		Pág. N°
1.	Resultados de la determinación de carbono en toneladas por hectárea de las muestras de suelo finca PROCAFE	58
2.	Resultados de la determinación de carbono en toneladas por hectárea de las muestras de suelo finca Montealegre Orgánico.	60
3.	Resultados de la determinación de Nitrógeno total en toneladas por hectárea de las muestras de suelo.	64
4.	Resultados de la determinación de Nitrógeno total en toneladas por hectárea de las muestras de suelo.	66
5.	Resultados de la determinación de la Densidad Aparente en los suelos.	69
6.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para carbono en las bandas de fertilización.	72
7.	Prueba de Kruskal - Wallis.	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

TABLA N°		Pág. N°
1.	Ubicación de los puntos de muestreo en la finca del Jardín de Variedades de PROCAFE.	38
2.	Ubicación de los puntos de muestreo en la finca Montealegre Orgánico.	39
3.	Resultados del análisis de carbono en la banda de fertilización y entre los surcos de café de la finca del Jardín de Variedades de PROCAFE, por el método de combustión oxidativa de sólidos.	63
4.	Resultados del análisis de carbono en la banda de fertilización y entre los surcos de café de la finca Montealegre Orgánico, por el método de combustión oxidativa de sólidos.	66
5.	Resultados del análisis de carbono en la banda de fertilización de la finca Jardín de Variedades de PROCAFE y de la Finca Montealegre Orgánico, por el método de combustión oxidativa de sólidos.	67
6.	Resultados del análisis de carbono entre los surcos de café de la finca del Jardín de Variedades de café de PROCAFE y de la finca Montealegre Orgánico, por el método de combustión oxidativa de sólidos.	59
7.	Resultados del análisis de nitrógeno total en la banda de fertilización y entre los surcos de café de la finca del Jardín de Variedades de PROCAFE, por el	62

	método de Kjeldhal.	
8.	Resultados del análisis de nitrógeno total en la banda de fertilización y entre los surcos de café de la finca Montealegre Orgánico, por el método de Kjeldhal.	65
9.	Resultados del análisis de nitrógeno total en la banda de fertilización de la finca de PROCAFE y de la finca Montealegre Orgánico, por el método de Kjeldhal.	67
10.	Resultados del análisis de nitrógeno total entre los surcos de café de la finca de PROCAFE y de la finca Montealegre Orgánico, por el método de Kjeldhal.	67
11.	Resultados del análisis de la densidad aparente en la finca de PROCAFE y en la finca Montealegre Orgánico, por el método del cilindro de volumen conocido.	68

## ÍNDICE DE CUADROS

TABLA N°		Pág. N°
1.	Codificación de las muestras de suelo recolectadas en los puntos de muestreo en la finca del Jardín de Variedades de PROCAFE.	45
2.	Codificación de las muestras de suelo recolectadas en los puntos de muestreo en la finca Montealegre Orgánico.	47
3.	Resumen de los análisis realizados a las muestras de suelo recolectadas.	50

## RESUMEN

El objetivo de la investigación fue determinar las concentraciones de Carbono y Nitrógeno total en muestras de suelo de dos fincas cafetaleras, una manejada en forma orgánica y otra en forma convencional.

Las muestras de suelo se recolectaron en la banda de fertilización de las plantas de café y entre los surcos de café (calle), en la época seca en el mes de marzo 2019, la parte experimental se realizó en el periodo de marzo a junio del 2019, en el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador. Los análisis que se realizaron fueron la determinación de Carbono total por el método de Combustión oxidativa de sólidos y la de Nitrógeno por el método de Kjeldahl.

Los resultados de los análisis de laboratorio de carbono y nitrógeno total obtenidos en la banda de fertilización de las plantas de café se compararon con los obtenidos entre los surcos de café de la misma finca; luego se compararon los valores obtenidos en cada una de las dos fincas.

En las dos fincas la mayor concentración de Carbono y Nitrógeno total se obtuvo en las muestras de suelo obtenidas entre los surcos de café, en la finca Montealegre Orgánico la mayor concentración de Carbono fue 23.6183 ton C/ha y la mayor concentración de Nitrógeno total fue de 0.7387%.

Los suelos de las dos fincas tienen una densidad aparente baja, ya que la densidad aparente de un suelo mineral seco es normalmente entre 1.0 y 1.6 g/cm<sup>3</sup>, por lo tanto, los suelos son porosos, bien aireados, con buen drenaje, lo que permite tener estos valores de Carbono y Nitrógeno total en suelos.

Por lo que se recomienda realizar un siguiente análisis de suelo en ambas fincas en época lluviosa para considerar el efecto de esta en las concentraciones de Carbono y Nitrógeno Total

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCION**

## 1.0 INTRODUCCION

El café (*Coffea arabica* L.) es un cultivo permanente y en combinación con una gran variedad de árboles de sombra sustituye al bosque original, está diseminado por todo El Salvador, teniendo mucha importancia desde el punto de vista ecológico, pues contribuye al mantenimiento de la cobertura de los suelos y alberga gran parte de la biodiversidad salvadoreña.

Las plantaciones de café que predominan en el país son las que tienen un manejo convencional, a través del cual se hace uso de agroquímicos para controlar plagas y optimizar la explotación del cultivo; sin embargo, en los últimos años un sector de los cafetaleros ha comenzado a producir el café en forma orgánica, el cual se basa en no hacer uso de ningún tipo de pesticidas, herbicidas ni fertilizantes sintéticos para el manejo de las plantaciones de café.

En la actualidad se proponen sistemas de producción orgánicos de café como una mejor opción en términos ambientales en comparación con los sistemas convencionales, por lo tanto, al utilizar dicho sistema es necesario demostrar las ventajas que puede ofrecer a través de un estudio experimental.

Los muestreos de suelo se realizaron en el jardín de variedades de café de la Fundación Salvadoreña para Investigaciones del Café (PROCAFE) en Santa Tecla, que es una finca de café manejada convencionalmente, y en la finca Montealegre Orgánico, que es una finca de café manejada orgánicamente, ubicada en Teotepeque, las dos en el departamento de La Libertad.

En las dos fincas de café se delimitaron áreas de tamaño similar, en las cuales se ubicaron 13 puntos de muestreo, donde se recolectó una muestra de suelo en la banda de fertilización de las plantas de café y otra muestra entre los surcos de café, dando como resultado 26 muestras de suelo por cada finca para

la determinación de carbono y nitrógeno total, además, se recolectaron en cada una de las fincas 4 muestras adicionales para determinar la Densidad aparente por el método del Cilindro de volumen conocido, obteniendo en las dos fincas un total de 52 muestras de suelo para determinación de carbono y nitrógeno total, y 8 muestras de suelo para determinar la densidad aparente.

La determinación de carbono se realizó a través del método de Combustión oxidativa de sólidos para carbono; y para la determinación de nitrógeno total se utilizó el método de Kjeldhal.

Se utilizó la prueba estadística de Kolmogorov-Smirnov para determinar el comportamiento de los resultados, la prueba estadística de Kruskal-Wallis para determinar si existe diferencia significativa entre las concentraciones de cada elemento.

La investigación se realizó en el periodo de marzo a noviembre del año 2019, los análisis se hicieron en el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador. Los resultados obtenidos demuestran que la mayor concentración de carbono y de nitrógeno total se encontró entre los surcos de las plantas de café tanto en la finca manejada en forma orgánica como en la finca manejada convencionalmente.

Además, se elaboró un manual de uso del equipo Analytik Jena 3100 con módulo para muestras solidas HT 1300, que es de reciente adquisición por el departamento de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

## **CAPITULO II**

### **OBJETIVOS**

## **2.0 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar las concentraciones de carbono y nitrógeno total en suelos de fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

2.2.1 Identificar los sitios de muestreo de suelo en plantaciones de café (*Coffea arabica*) convencional y orgánico.

2.2.2 Cuantificar la concentración de carbono y nitrógeno total en las muestras de suelos de los cafetales obtenidas en la banda de fertilización y entre los surcos.

2.2.3 Comprobar si existe diferencia significativa en las concentraciones de carbono y nitrógeno total en el suelo de la banda de fertilización y entre los surcos de los cafetales manejados en forma convencional y orgánica.

2.2.4 Calcular la Densidad aparente del suelo en la finca convencional y orgánica.

2.2.5 Elaborar un manual de procedimientos para la utilización del equipo Analytik Jena 3100 con modulo para muestras solidas HT 1300.

## **CAPITULO III**

### **MARCO TEORICO**

### 3.0 MARCO TEORICO

#### 3.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible. <sup>(21)</sup>

La Asamblea General de la ONU adoptó el 25 de septiembre de 2015 la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Representantes de 193 países, con un récord de más de 150 jefes de Estado y de Gobierno, adoptan un compromiso al aprobar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en la sede de la ONU en Nueva York. La Agenda plantea 17 Objetivos con 169 metas que abarcan las esferas económica, social y ambiental.

Con esta investigación se busca contribuir al cumplimiento de los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible: Objetivo 13, Acción por el clima, y al Objetivo 15, Vida de ecosistemas terrestres.

#### 3.2 Cambio climático

Según la FAO, el cambio climático amenaza la capacidad de alcanzar la seguridad alimentaria mundial, de erradicar la pobreza y lograr el desarrollo sostenible. Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) derivadas de la actividad humana y la ganadería, constituyen un importante factor causante del cambio climático, reteniendo calor en la atmósfera terrestre y desencadenando un calentamiento global. <sup>(5)</sup>

Según las Naciones Unidas, por cambio climático se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmosfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables. <sup>(16)</sup>

### **3.3 Gases de efecto invernadero**

Los gases de efecto invernadero son los componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. Esta propiedad produce el efecto invernadero. Los principales gases de efecto invernadero son el vapor de agua (H<sub>2</sub>O), Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>), Metano (CH<sub>4</sub>) y el Ozono (O<sub>3</sub>). (7)

La fuente de gases de efecto invernadero es cualquier proceso, actividad o mecanismo que libera en la atmósfera un gas de efecto invernadero o un precursor de gas de efecto invernadero.

Un sumidero de gases de efecto invernadero es un proceso, actividad o mecanismo que elimine de la atmósfera un gas de efecto invernadero. (5)

### **3.4 Materia orgánica del suelo**

La biomasa microbiana al ser la parte viva de la materia orgánica del suelo actúa como un indicador ecológico importante y responde tempranamente a cambios en las condiciones del suelo, antes de que pueda ser detectado en el carbono orgánico del suelo. El mayor contenido de biomasa microbiana en las parcelas bajo manejo orgánico y tradicional está asociado a una mayor incorporación de materia orgánica y nutrientes vía la hojarasca del café y de los árboles de sombra, a pesar de las diferencias en condiciones climáticas, tipos de suelo y cultivos. (20)

### **3.5 Ciclo del carbono**

El carbono es el elemento químico clave en los compuestos de naturaleza orgánica, elemento que circula entre los océanos, la atmósfera, el suelo y el

subsuelo, instancias que conforman los depósitos, reservorios o almacenes de carbono. El paso entre los depósitos ocurre mediante procesos de orden químico, físico y biológico. El intercambio de carbono entre el reservorio terrestre y el atmosférico es el resultado de procesos naturales como la fotosíntesis y la respiración, así como de la emisión de gases de origen antrópico. (24)

El ciclo del carbono se inicia con la fijación del dióxido de carbono atmosférico mediante la fotosíntesis que realizan las plantas y algunos microorganismos. En la fotosíntesis el dióxido de carbono y el agua reaccionan para formar carbohidratos y a la vez, liberar oxígeno, que va a la atmósfera. Parte de los carbohidratos se consumen directamente para suministrar energía a la planta y el dióxido de carbono que así se forma, se libera a través de sus hojas o de sus raíces. Otra parte la consumen los animales, que también liberan dióxido de carbono en sus procesos metabólicos. Las plantas y los animales muertos, en últimas, son descompuestos por los microorganismos del suelo y por ello el carbono de sus tejidos se oxida, forma dióxido de carbono y retorna a la atmósfera. (17)

Globalmente el equilibrio del carbono en la Tierra está en función de tres reservorios, los océanos con una cantidad estimada de carbono de 38,000 Pg, la atmósfera con 750 Pg y el sistema terrestre con 550 Pg como biomasa-vegetación y 1,550 Pg como gases de efecto invernadero (COS). Los tres reservorios se hallan en un equilibrio dinámico, con interacciones entre unos y otros. Surge un cuarto reservorio, el geológico, que se estima tiene  $65,5 \times 10^6$  Pg C y sólo una pequeña porción de éste que se podría aproximar a 4,000 Pg correspondería a combustible fósil. En el ecosistema terrestre el mayor componente es el carbono orgánico en suelo con 1,550 Pg C, seguido por el carbono inorgánico en suelo con 750-950 Pg C. (19)

### 3.5.1 Captura unitaria de carbono

Para estimar la captura unitaria de carbono se considera el carbono contenido en diferentes almacenes (que pueden ser emitidos):

- Carbono en vegetación (Cv): Es la suma del carbono contenido en la biomasa aérea y en las raíces. La biomasa aérea comprende el tronco, hojas, ramas y follaje; mientras que el carbono contenido en las raíces es la biomasa de las raíces.
- Carbono en descomposición (Cd): Es el carbono contenido en la materia orgánica que se encuentra en proceso de descomposición, ésta es originada cuando las estructuras vegetales como hojas, ramas y troncos, son depositadas en el suelo.
- Carbono en el suelo (Cs): Es el carbono contenido en las capas que conforman el suelo forestal, este suelo es originado por fragmentación de la roca madre expuesta (material parental), donde se establece un organismo vegetal, que a lo largo del tiempo va formando capas por deposición de materiales, las que al irse acumulando y compactando almacenan una cierta cantidad de carbono, misma que se incrementará por la continuidad del proceso de formación del suelo. (24)

### 3.6 Fijación biológica del Nitrógeno

A pesar que el nitrógeno molecular ( $N_2$ ) se encuentra en la atmósfera en una concentración de casi el 80%, ni plantas ni animales tienen una forma fácil para obtener el nitrógeno suficiente para su crecimiento. Esta situación se hace aún más crítica ya que el  $N_2$  es una molécula muy estable químicamente y de esta forma no está disponible para la mayoría de los organismos vivos. Este debe ser fijado antes que pueda ser asimilado. La forma más común de encontrar el nitrógeno fijado es en forma de iones amonio y nitrato. La fijación de nitrógeno es el proceso mediante el cual se lleva a cabo la reducción de nitrógeno molecular a amonio. (5)

En la naturaleza existen dos formas de fijar nitrógeno, un mecanismo es mediante energía lumínica en la cual la enorme cantidad de luz ioniza las moléculas en la atmósfera y las hace aptas para combinarse y formar óxidos de nitrógeno, los cuales se disuelven en la lluvia y forman nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) y nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), que son llevados a la tierra; sin embargo, a pesar de la gran cantidad de energía lumínica alrededor del mundo, esta no es una forma efectiva de producir compuestos nitrogenados que puedan ser utilizados por plantas y animales. Esta forma de fijación de nitrógeno atmosférico probablemente contribuye con el 10% del total anual fijado.

La fuente más importante de nitrógeno fijado deriva de la actividad de ciertas bacterias del suelo que absorben el nitrógeno atmosférico y lo convierten en amonio. Algunas de estas bacterias son libres en el suelo y se alimentan de materia orgánica muerta. Otras bacterias fijadoras de nitrógeno son encontradas creciendo en asociación con las raíces de plantas mayores. Las plantas suplen a la bacteria con la energía para crecer, mientras que la bacteria suple a la planta con nitrógeno fijado. Debido a que tanto la planta como la bacteria se benefician a partir de esta relación, esta interacción se denomina simbiosis. Los procesos biológicos contribuyen con alrededor del 65% de la producción total anual de nitrógeno fijado. (5)

La síntesis comercial de amonio es otra forma diferente de fijar nitrógeno y contribuye aproximadamente con el 25% del total de nitrógeno fijado anualmente. Aquí el  $\text{N}_2$  y el hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) son combinados a alta presión y temperatura para formar amonio, el método se denomina Haber-Bosch en honor a sus creadores, sin embargo, este no es un proceso ambiental y energéticamente costoso. (5)

### 3.6.1 Ciclo del Nitrógeno

La interacción de este elemento en la biosfera comprende principalmente la fijación de nitrógeno ( $N_2$ ), la mineralización, la nitrificación, la desnitrificación y la oxidación anaeróbica del amonio, procesos mediados principalmente por microorganismos presentes en el suelo que realizan el proceso de Anammox (acrónimo de Oxidación anaeróbica del ion amonio) realizado por el género de bacterias Anammoxoglobus. <sup>(7)</sup>

El nitrógeno entra en la biosfera por fijación química y biológica del nitrógeno molecular ( $N_2$ ) y se remueve de la misma por desnitrificación. <sup>(6)</sup>

Los procesos de fijación los llevan a cabo gran variedad de bacterias que poseen nitrogenasas, enzimas que rompen el triple enlace del nitrógeno molecular y producen amonio.

### 3.7 Óxido Nitroso como gas de efecto invernadero

Las concentraciones de óxido nitroso en el ambiente se han incrementado desde la época pre-industrial hasta la actualidad, pasando de 270 a 315 ppb en 2007. Una molécula de este gas tiene un potencial de calentamiento de 298 veces que una de dióxido de carbono en un periodo de 100 años. Se ha estimado que alrededor de 1,5 teragramos de nitrógeno son inyectados directamente a la atmósfera cada año bajo la forma de óxido nitroso, en donde las aplicaciones de fertilizantes a ecosistemas agrícolas (sin tener en cuenta abonos animales ni fijación biológica de nitrógeno) representa un 15,8% de estas emisiones. <sup>(4)</sup>

### 3.7.2 Emisiones de componentes nitrogenados en campo

Durante el ciclo del nitrógeno se generan normalmente varios compuestos que coexisten en equilibrio con el medio ambiente. Al igual que sucede con el efecto invernadero, sus concentraciones en la atmósfera y el suelo siempre han existido; no obstante, durante las últimas décadas las personas han incrementado las entradas de nitrógeno en el sistema a través de la fertilización, resultando en una mayor cantidad de este elemento transformándose en el suelo, lo que conlleva al consecuente aumento de las emisiones de nitratos en el suelo, y, amoníaco y óxido nitroso a la atmósfera. (20)

Por medio de los nitratos y el amonio las plantas obtienen el nitrógeno necesario para sus ciclos vitales, pero, debido al incremento en el afluente de nitrógeno en el suelo por la fertilización, la cantidad de nitratos transformada en el ciclo supera lo que las plantas pueden aprovechar, pudiéndose lixiviar por aguas subterráneas y terminando en pozos de agua, lo cual genera eutrofización. (22)

Con el incremento de nitrógeno en las entradas al sistema se produce una mayor volatilización de amoníaco a la atmósfera; este gas, aunque no tiene un efecto invernadero, puede adoptar diversas formas, actuando como un precursor del óxido nitroso ( $N_2O$ ) y del óxido nítrico ( $NO$ ), el cual puede reaccionar en la estratosfera debilitando la capa de ozono, para caer finalmente al suelo en forma de ácido nítrico ( $HNO_3$ ) (componente de la lluvia ácida). (4)

Al haber condiciones anaeróbicas en el suelo, el nitrato que no se lixivía o absorbe por las plantas se transforma en nitrógeno atmosférico ( $N_2$ ) por medio de la desnitrificación, realizada por bacterias del género *Nitrosoma*, *Pseudomonas* y *Nitrobacter*, las cuales pueden usar el nitrato en lugar del oxígeno como un aceptador de electrones en sus procesos de respiración,

generando  $N_2O$  como un eslabón obligado en el proceso químico. Estos gases se incorporan en la atmósfera como parte del ciclo natural. <sup>(15)</sup>

### 3.7.3. Densidad aparente

La densidad aparente para el crecimiento de las raíces de las plantas varía según la textura que presenta el suelo y de la especie que se trate. Los valores bajos de densidad aparente son propios de suelos porosos, bien aireados, con buen drenaje y buena penetración de raíces, lo que permite un buen desarrollo de las raíces. Los valores altos de densidad aparente son propios de suelos compactos y poco porosos, con aireación deficiente e infiltración lenta del agua, lo cual puede provocar anegamiento, anoxia y que las raíces tengan dificultades para elongarse y penetrar hasta alcanzar el agua y los nutrientes necesarios.

<sup>(24)</sup>

La densidad aparente (seca) de un suelo mineral es normalmente aproximadamente entre 1.0 y 1.6  $g/cm^3$ . En contraste, los suelos ricos en carbono orgánico del suelo y algunas arcillas friables tienden a tener densidades aparentes más bajas (menos de 1.0  $g/cm^3$ ) debido a una combinación de la baja densidad de los materiales orgánicos en sí mismos y una mayor porosidad. Por ejemplo, los suelos de turba tienen densidades aparentes de 0.02  $g/cm^3$  a 0.98  $g/cm^3$ . <sup>(27)</sup>

## 3.8 Agricultura Orgánica

El Codex Alimentarius define agricultura orgánica como un sistema holístico de producción que promueve y mejora la salud del agro ecosistema, incluyendo la biodiversidad, los ciclos biológicos y la actividad biológica del suelo, prefiriendo el uso de prácticas de manejo dentro de la finca al uso de insumos externos a la finca, tomando en cuenta que condiciones regionales requieren de sistemas adaptados a las condiciones locales. Esto se logra utilizando en lo posible

métodos culturales, biológicos y mecánicos en oposición a materiales sintéticos para satisfacer cualquier función específica dentro del sistema. (7)

Un sistema de producción orgánico debe: 1. mejorar la diversidad biológica del sistema; 2. aumentar la actividad biológica del suelo; 3. mantener la fertilidad del suelo a largo plazo; 4. reciclar desechos de origen animal o vegetal para devolver los nutrientes al sistema, minimizando el uso de fuentes no renovables; 5. contar con recursos renovables en sistemas agrícolas localmente organizados; 6. promover el uso saludable del agua, el suelo y el aire, así como minimizar todas las formas de contaminación que pueden resultar de la producción agrícola; 7. manejar los productos agrícolas en su procesamiento con el cuidado de no perder la integridad orgánica en el proceso; 8. establecerse en fincas después de un período de conversión, cuya duración estará determinada por factores específicos de cada sitio, tales como el historial del terreno y el tipo de cultivos y ganado producido. (7)

Por su origen la agricultura orgánica surge desde una concepción integral, donde se involucran elementos técnicos, sociales, económicos y agroecológicos. No se trata de la mera sustitución del modelo productivo o de insumos de síntesis artificial por insumos naturales. La agricultura orgánica es una opción integral de desarrollo capaz de consolidar la producción de alimentos saludables en mercados altamente competitivos y crecientes. (3)

La agricultura orgánica es un sistema de producción que trata de utilizar al máximo los recursos de la finca, dándole énfasis a la fertilidad del suelo, a la actividad biológica, al mismo tiempo, a minimizar el uso de recursos no renovables y no utilizar fertilizantes y plaguicidas sintéticos para proteger el medio ambiente y la salud humana. En Centroamérica se está produciendo una gran variedad de productos agrícolas orgánicos para exportación. (9)

### **3.9 Agricultura Convencional**

Desde la Segunda Guerra Mundial (principalmente en el mundo industrializado) la agricultura convencional se ha convertido en una forma industrializada de agricultura caracterizada por la mecanización, los monocultivos y el uso de insumos sintéticos como fertilizantes químicos, plaguicidas y organismos modificados genéticamente, que se centra en lograr productividades y rentabilidades máximas, y que trata los productos agrícolas como mercancías. En grandes zonas del mundo en desarrollo, la agricultura sigue siendo "tradicional", con sistemas diversos, desde sistemas de policultivo bien gestionados hasta sistemas de pastoreo extensivo y erosionante.

La comunidad orgánica utiliza la expresión "agricultura convencional" para referirse a todos los sistemas agrícolas no orgánicos, desde los monocultivos más industriales hasta las prácticas de gestión integrada de plagas que se basan en comunidades ecológicas, pero permiten el uso de insumos sintéticos.

(7)

### **3.10 El Cultivo del café en El Salvador**

El cultivo del café es una de las principales fuentes de empleo para la población rural y una de las actividades agrícolas más importantes en la generación de divisas; además, contribuye en forma significativa a mantener el balance ecológico y energético del país.

Las plantaciones de café ocupan actualmente un área aproximada de 229,921 manzanas (160,945 hectáreas), de las cuales el 53% del área cafetalera está distribuida en fincas o tierras de bajo, el 32% corresponde a terrenos de media altura, y el 15% a fincas de estricta altura. (9)

### **3.10.1 Importancia ecológica del café**

Desde el punto de vista ecológico y de la biodiversidad, el café es de vital importancia, pues es el principal contribuyente en el mantenimiento de la cobertura de los suelos y ha sustituido a diferencia de otros cultivos el bosque original por un sistema arbóreo adecuado, constituido por cafetales, árboles de sombra, cortinas rompe vientos, hierbas, otros, por lo que se le considera como un "Bosque Húmedo Subtropical".

En El Salvador los cafetales cubren aproximadamente el 8.3% del territorio nacional y se encuentran a partir de los 400 metros sobre el nivel del mar (msnm) hasta los 1,600 metros de altura. Es en estas altitudes donde el cafeto crece y se desarrolla favorablemente, debido al efecto de las condiciones ambientales. <sup>(9)</sup>

Los cafetales albergan gran parte de la biodiversidad salvadoreña, formada por especies animales y vegetales, cuya presencia hace que el ecosistema sea más estable. La multitud de cadenas alimenticias existentes impide que un solo organismo se multiplique aceleradamente, esto es importante ya que ayuda al mantenimiento del material genético diverso y por ende a la flora y fauna. El bosque en sus diferentes expresiones es un sistema complejo, capaz de generar oxígeno, almacenar agua, generar nuevos suelos y guardar en sus especies la diversidad de la vida en la tierra. En el país, "hablar de cafetales es hablar de bosques". <sup>(23)</sup>

### **3.10.2 Zonas productoras de café en El Salvador**

Las zonas cafetaleras se encuentran sobre la cadena volcánica de El Salvador y en función de su altitud se distinguen tres zonas climáticas: i) Estricta Altura (de 1,200 a 1,600 msnm) con 35,586 mz, ii) Media Altura (de 800 a 1,200

msnm) con 73,140 mz y iii) Central Estándar o Bajío (de 400 a 800 msnm) con 121,195 mz. Siendo las más importantes las que se mencionan a continuación: sierra Apaneca Ilamatepec, cordillera El Bálsamo Cinturón Central, Chichontepec, sierra Tecapa Chinameca, cordillera Cacahuatique, aunque también existen zonas aisladas como Metapán (El Trifinio), Chalatenango, La Unión y Perquín (**Ver Anexo N° 1**).

### **3.11 Normativa Legal de El Salvador**

#### **3.11.1 Ley de Medio Ambiente y Ley Forestal**

Estas leyes tienen por objeto desarrollar las disposiciones de la Constitución de la República, que se refieren a la protección, conservación, recuperación del medio ambiente, establecer disposiciones que permitan el incremento, manejo y aprovechamiento en forma sostenible de los recursos forestales y el desarrollo de la industria maderera; el uso sostenible de los recursos naturales que permitan mejorar la calidad de vida de las presentes y futuras generaciones; buscan establecer las condiciones para estimular la participación del sector privado en la reforestación del territorio nacional con fines productivos, sin incluir las áreas protegidas, parques nacionales y los bosques salados, ya que estos no deben ser objeto de explotación comercial por parte del Estado ni de la inversión privada; 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>(14)</sup>

#### **3.11.2 Estrategia Nacional de Medio Ambiente y Biodiversidad**

La Estrategia Nacional de Medio Ambiente es uno de los instrumentos de la Política Nacional de Medio Ambiente 2012, que tiene como gran objetivo revertir

la degradación ambiental y reducir la vulnerabilidad frente al cambio climático.

(13)

La Estrategia Nacional de Biodiversidad reconoce que la degradación ambiental y los factores que la generan, junto con el cambio climático, son las principales amenazas a la biodiversidad en El Salvador. Además, considera que al revertir la degradación ambiental no solo se mejoran las condiciones para conservar la riqueza biológica, sino que también se reduce la enorme vulnerabilidad del país frente al cambio climático. Esta Estrategia se articula alrededor de tres ejes fundamentales: Integración estratégica de la biodiversidad en la economía; restauración y conservación inclusiva de ecosistemas críticos; y biodiversidad para la gente, por lo que es importante realizar análisis cuantitativos que respalden dichas estrategias. (12)

### **3.12 Métodos de determinación de Carbono y Nitrógeno total.**

#### **3.12.1 Combustión Oxidativa**

La Combustión Oxidativa tiene como fundamento la combustión de la muestra y posterior oxidación de los gases liberados utilizando un gas oxidante, se realiza la absorción de la radiación de los gases oxidados a una longitud de onda determinada. Esta radiación es absorbida selectivamente por átomos que tengan niveles energéticos cuya diferencia en energía corresponda en valor a la energía de los fotones incidentes. La cantidad de fotones absorbidos está determinada por la ley de Beer, que relaciona ésta pérdida de poder radiante.

La técnica que se utiliza para muestras solidas es Combustión Oxidativa acoplado a un módulo para solidos que consiste en hacer que las muestras solidas combustionen, para ello se colocan las muestras dentro de un horno a una temperatura de 1,200° C, haciendo que los gases de la combustión sean

oxidados a CO<sub>2</sub>, luego estos gases son llevados al detector Infrarrojo cercano no dispersivo (NDIR) y la cantidad de radiación absorbida está en función de su concentración.



Dónde:

R: Sustancia carbónica.

O<sub>2</sub>: Gas oxidante.

CO<sub>2</sub>: Gas medido por el detector NDIR.

El equipo del método de Combustión Oxidativa es:

- a) Horno: es la parte del equipo donde se coloca la muestra para que se lleve a cabo el proceso de combustión de la muestra, dicho horno puede alcanzar temperaturas de trabajo de 1,300° C hasta 1,800° C utilizando aditivos a la muestra. El horno es capaz de hacer combustionar muestras de hasta 3 g de peso y los gases de CO<sub>2</sub> producto de la combustión son analizados.
- b) Sistema de arrastre: El equipo cuenta con un sistema para arrastrar los vapores oxidados hasta el detector.
- c) Detector: El detector es un NIRD (infrarrojo no dispersivo) el cual absorbe la radiación de una determinada longitud de onda y es enfocada la radiación con la ayuda de un equipo de lentes ópticos.

### 3.12.2 Método de Kjeldahl

Este método se divide en tres etapas:

- a. Digestión: destrucción de la materia orgánica por acción del ácido sulfúrico concentrado y caliente. Este actúa sobre la materia orgánica

deshidratándola y carbonizándola. El carbón es oxidado y el nitrógeno reducido a amoníaco en presencia de reactivos específicos que actúan como catalizadores. El amoníaco desprendido queda fijado en el ácido sulfúrico como sulfato de amonio, que es estable en las condiciones de trabajo.

- b. Destilación: liberación del amoníaco formado, recogiénolo en un volumen conocido de ácido bórico, formándose borato de amonio.
- c. El borato de amonio se titula con ácido clorhídrico, empleando como indicador una mezcla de verde de bromocresol y rojo de metilo.

Los equipos utilizados en el método de Kjeldahl son:

- a) Tubos Velp: Son tubos de vidrio resistentes a altas temperaturas y se utilizan porque es donde se lleva a cabo la digestión ácida de la muestra
- b) Digestor: tiene una base donde se colocan los tubos Velp y cuenta con un sistema de calentamiento gradual que alcanza los 420° C en 60 minutos, cuenta con un brazo mecanizado que tapa la parte superior de los tubos, extrae los gases que se desprenden de la digestión generada y luego esos vapores son neutralizados con álcali fuerte.
- c) Destilador: Tiene una base donde se colocan los Tubos Velp y se fijan, el equipo inyecta a los tubos un álcali caliente y agua, luego se libera amonio que es capturado y enviado por un mecanismo de tuberías a un depósito donde se fijará al ácido bórico y se formará borato de amonio

## **CAPITULO IV**

### **DISEÑO METODOLOGICO**

## 4.0 DISEÑO METODOLOGICO

### 4.1 Tipo de Estudio

- **Campo:** se empleó para recabar datos e información sobre las zonas de estudio a través del uso de técnicas de recopilación (opinión y entrevista) para lograr una mejor identificación de los sitios donde se realizaron los muestreos, el compendio de estas y su futuro análisis.
- **Experimental:** se llevó a cabo el análisis cuantitativo en las instalaciones del laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.
- **Exploratorio:** en el país no se han realizado investigaciones sobre carbono y nitrógeno en suelos cultivados con café, por lo que es un tema inexplorado.

### 4.2 Investigación Bibliográfica

Se efectuaron consultas en las siguientes bibliotecas:

- Dr. Benjamín Orozco de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador.
- Central de la Universidad de El Salvador.
- De la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.
- Internet.

### 4.3 Investigación de Campo

La recolección de las muestras de suelo se realizó en la finca del Jardín de Variedades de café de PROCAFE en Santa Tecla y en la finca Montealegre Orgánico en Teotepeque, ambas ubicadas en el departamento de La Libertad, en El Salvador.

**-Universo:** Está conformado por los suelos de las fincas que poseen cultivo de café de manejo convencional y orgánico en El Salvador.

**-Muestra:** Está conformada por 13 puntos de muestreo en cada finca, en la cual se tomaron dos muestras de suelo por punto, una muestra se obtuvo en la banda de fertilización de las plantas de café y la otra muestra entre los surcos de café, a una profundidad de 20 cm, extrayendo muestras de un peso aproximado de 453 gramos con ayuda de un barreno, haciendo un total de 26 muestras de suelo en cada finca para determinación de carbono y nitrógeno total, las cuales fueron almacenadas en bolsas de polietileno transparente (tipo ziploc) y transportadas en hielera. Simultáneamente se recolectaron cuatro muestras de suelo al azar en cada finca para determinación de la Densidad aparente.



**Figura N° 1.** Sitios de muestreo finca de café

#### **4.3.1 Descripción de las zonas de estudio**

a) Finca de café cultivada en forma convencional o tradicional

La finca del Jardín de Variedades de café de PROCAFE es manejada en forma convencional, con una extensión de 2.5 manzanas (1.75 hectáreas), ubicada geográficamente entre los 13°41'05"6 Latitud Norte y 89°17'14"7 Latitud Oeste,

a una altura de 995 msnm, en el municipio de Santa Tecla, departamento de La Libertad, cultivada con café de las variedades Tekisic, Bourbon, Cuscatleco, Pacas, Pacamara, Costa Rica, Sarchimor, otras, y cuenta con árboles de sombra como pepeto (*Inga sp.*), laurel blanco (*Cordia alliodora*) y guapinol (*Hymenaea courbaril*). Los métodos de labranza de la finca son tradicionales, utilizando insumos químicos como fertilizantes, pesticidas y herbicidas.

b) Finca de café cultivada en forma orgánica

La finca Montealegre Orgánico es manejada en forma orgánica, con una extensión de 36 manzanas de terreno (25.2 hectáreas), ubicada geográficamente entre los 13°37'54"5 Latitud Norte y los 89°30'05"4 Latitud Norte, a una altura de 900 msnm, en el cantón El Matazano, municipio de Teotepeque, departamento de La Libertad, en dicha finca el sitio de interés es el lote # 5 llamado El Mezcal, con un área de 2.5 manzanas (1.75 hectáreas), el cual se encuentra cultivado con café de las variedades Pacas, Bourbon, Costa Rica y Sarchimor, posee árboles de sombra como laurel (*Laurus nobilis*), amate (*Ficus trigonata* L.), bálsamo (*Myroxylon pereirae*) y volador (*Terminalia oblonga*); presenta una cantidad considerable de hojarasca en el suelo (materia orgánica).

Utilizan como fertilizante bocashi, pulpa de café y estiércol de ganado, aplican diferentes nutrientes como cobre, nitrógeno, potasio y fósforo a través de un sistema de riego por goteo o de manera manual utilizando equipos con rociadores y esparciéndolos sobre el cultivo. No utilizan pesticidas ni herbicidas para control de plagas y malezas ya que todo lo realizan de forma manual.

Desde el año 2012 la finca es manejada de forma orgánica y posee una Certificación bajo estándares de la Comunidad Europea y de los Estados Unidos de Norteamérica, los que obtuvieron con apoyo de la National

Cooperative Bussines Association (NCBA) y Clusa El Salvador, cuyo sello está presente en su empaque como USDA Organic, por sus siglas en inglés, (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos).

#### **4.3.2 Recolección de muestras**

**-Tipo de muestreo:** Muestreo por conglomerados, para lo cual se delimitaron zonas de terreno de igual tamaño y que tuvieran plantas de café de edades similares, a fin de obtener la mayor homogeneidad posible al momento de recolectar las muestras de suelo, posteriormente se subdividió cada zona en cuadrantes de tamaño similar, en los cuales se seleccionaron al azar y de manera individual los sitios de muestreo.

Se realizaron visitas de campo a las dos fincas de café seleccionadas, en cada una de ellas se ubicaron al azar los 13 sitios de muestreo, los cuales fueron codificados por criterio propio (cuadro **Nº 1** y **Nº 2**). En cada sitio se tomaron dos muestras de suelo, una muestra en la banda de fertilización de las plantas de café y la otra muestra entre los surcos de las plantas de café, a una profundidad de 20 cm, extrayendo muestras de un peso aproximado de 453 gramos con ayuda de un barreno, haciendo un total de 26 muestras de suelo en la finca de manejo convencional y 26 muestras de suelo en la finca de manejo orgánico, dando como resultado 52 muestras de suelo para la determinación de carbono y nitrógeno total, las cuales fueron almacenadas en bolsas de polietileno transparente (tipo ziploc) y transportadas en una hielera de polietileno de 20 litros de capacidad.

Simultáneamente en cada finca se recolectaron cuatro muestras de suelo para determinación de la Densidad aparente por el método del cilindro de volumen conocido.

En total se obtuvieron 60 muestras, las cuales fueron trasladadas al laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador (**Ver Anexo N° 2**).

#### 4.3.3 Ubicación de los puntos de recolección de las muestras de suelo

El terreno de la finca de PROCAFE es de topografía plana, con abundantes arboles de sombra de diferentes especies de frutales y maderables, y cortinas rompevientos, las cuales ayudan a proteger las plantas de café.



**Figura N° 2.** Puntos de muestreo en la finca de PROCAFE.

Dónde:

P1CNP: Punto de recolección 1, Carbono y Nitrógeno PROCAFE.

P1DP: Punto de recolección 1, Densidad PROCAFE

El terreno de la finca Montealegre Orgánico es de topografía accidentada, tiene una gran variedad de árboles maderables incluyendo bálsamo, el terreno cuenta con su propio nacimiento de agua.



**Figura N° 3.** Puntos de muestreo en la finca Montealegre Orgánico.  
Dónde:

P1CNM: Punto de recolección 1, Carbono y Nitrógeno Montealegre.

P1DM: Punto de recolección 1, Densidad Montealegre.

**Cuadro N° 1.** Codificación de las muestras de suelos de la finca de PROCAFE.

Sitio de muestreo	Número de muestras	Código	Georreferencia
Banda de fertilización.  Finca del Jardín de Variedades de café de PROCAFE.	Determinación de y Carbono Nitrógeno total  13	P1BCNP	N= 13°41'07.3'' W= 89°17'15.2''
		P2BCNP	N= 13°41'07.3'' W= 89°17'14.1''
		P3BCNP	N= 13°41'07.2'' W= 89°17'13.3''
		P4BCNP	N= 13°41'07.1'' W= 89°17'12.6''
		P5BCNP	N= 13°41'06.5'' W= 89°17'12.4''
		P6BCNP	N= 13°41'06.4'' W= 89°17'13.2''
		P7BCNP	N= 13°41'06.5'' W= 89°17'14.1''
		P8BCNP	N= 13°41'06.5'' W= 89°17'14.9''
		P9BCNP	N= 13°41'05.4'' W= 89°17'15.1''
		P10BCNP	N= 13°41'05.5'' W= 89°17'14.3''
		P11BCNP	N= 13°41'05.5'' W= 89° 17'13.5''
		P12BCNP	N= 13°41'05.5'' W= 89°17'12.6''
		P13BCNP	N= 13°41'05.9'' W= 89°17'15.1''
Entre los surcos de café.  Finca del Jardín de Variedades de café de PROCAFE	Determinación de y Carbono Nitrógeno total  13	P1SCNP	N= 13°41'07.3'' W= 89°17'15.2''
		P2SCNP	N= 13°41'07.3'' W= 89°17'14.1''
		P3SCNP	N= 13°41'07.2'' W= 89°17'13.3''
		P4SCNP	N= 13°41'07.1'' W= 89°17'12.6''
		P5SCNP	N= 13°41'06.5'' W= 89°17'12.4''
		P6SCNP	N= 13°41'06.4'' W= 89°17'13.2''
		P7SCNP	N= 13°41'06.5'' W= 89°17'14.1''
		P8SCNP	N= 13°41'06.5'' W= 89°17'14.9''
		P9SCNP	N= 13°41'05.4'' W= 89°17'15.1''
		P10SCNP	N= 13°41'05.5''

**Cuadro N°1 Continuación**

			W= 89°17'14.3''
		P11SCNP	N= 13°41'05.5'' W= 89° 17'13.5''
		P12SCNP	N= 13°41'05.5'' W= 89°17'12.6''
		P13SCNP	N= 13°41'05.9'' W= 89°17'15.1''
Finca del Jardín de Variedades de café de PROCAFE	Determinación de Densidad aparente.  4	P1DP	N= 13°41'05.9'' W= 89°17'14.1''
		P2DP	N= 13°41'06.0'' W= 89°17.12.4''
		P3DP	N= 13°41'06.6'' W= 89°17'12.7''
		P4DP	N= 13°41'06.6'' W= 89°17'12.7''

**Cuadro N° 2. Codificación de las muestras de suelo recolectadas en la finca Montealegre Orgánico.**

Sitios de muestreo	Número de muestras	Código	Georreferencia
Banda de fertilización.  Finca Montealegre Orgánico.	Determinación de Carbono y Nitrógeno total  13	P1BCNM	N= 13°37'46.8'' W= 89°29'43.5''
		P2BCNM	N= 13°37'46.3'' W= 89°29'44.1''
		P3BCNM	N= 13°37'46.6'' W= 89°29'45.0''
		P4BCNM	N= 13°37'47.0'' W= 89°29'45.7''
		P5BCNM	N= 13°37'47.4'' W= 89°29'43.7''
		P6BCNM	N= 13°37'47.1'' W= 89°29'44.2''
		P7BCNM	N= 13°37'47.2'' W= 89°29'46.5''
		P8BCNM	N= 13°37'47.4'' W= 89°29'46.5''
		P9BCNM	N= 13°37'47.5'' W= 89°29'46.5''
		P10BCNM	N= 13°37'47.1'' W= 89°29'43.0''
		P11BCNM	N= 13°37'47.7'' W= 89° 29'43.7''
		P12BCNM	N= 13°37'47.4'' W= 89°29'44.6''
		P13BCNM	N= 13°37'46.5'' W= 89°29'45.7''
		P1SCNM	N= 13°37'46.8'' W= 89°29'43.5''

### Cuadro N°2 Continuación

Entre los surcos de café.  Finca Montealegre Orgánico.	Determinación de Carbono y Nitrógeno total  13	P2SCNM	N= 13°37'46.3'' W= 89°29'44.1''
		P3SCNM	N= 13°37'46.6'' W= 89°29'45.0''
		P4SCNM	N= 13°37'47.0'' W= 89°29'45.7''
		P5SCNM	N= 13°37'47.4'' W= 89°29'43.7''
		P6SCNM	N= 13°37'47.1'' W= 89°29'44.2''
		P7SCNM	N= 13°37'47.2'' W= 89°29'46.5''
		P8SCNM	N= 13°37'47.4'' W= 89°29'46.5''
		P9SCNM	N= 13°37'47.5'' W= 89°29'46.5''
		P10SCNM	N= 13°37'47.1'' W= 89°29'43.0''
		P11SCNM	N= 13°37'47.7'' W= 89°29'43.7''
		P12SCNM	N= 13°37'47.4'' W= 89°29'44.6''
		P13SCNM	N= 13°37'46.5'' W= 89°29'45.7''
		Finca Montealegre Orgánico.	Determinación de Densidad aparente.  4
P2DM	N= 13°37'46.5'' W= 89°29'44.6''		
P3DM	N= 13°37'47.3'' W= 89°29'45.1''		
P4DM	N= 13°37'47.0'' W= 89°29'43.2''		

#### 4.4 Parte experimental (Material, equipo y reactivos, Ver anexo N° 4)

El pretratamiento de las muestras de suelo para el análisis de carbono y nitrógeno se realizó colocándolas en bandejas de aluminio para su secado en estufa de aire circulante a una temperatura de  $40 \pm 5$  °C. Las muestras de suelo para análisis de la densidad se llevaron dentro de los cilindros y se colocaron en las estufas de aire circulante para su tratamiento.

El análisis del contenido de carbono se realizó por el método de combustión oxidativa de sólidos, el análisis del contenido de nitrógeno se realizó por el método de Kjeldhal y la determinación de la densidad del suelo se realizó por el

método del cilindro. Posteriormente se compararon los valores de carbono y nitrógeno con los datos obtenidos de la densidad, se calcularon las toneladas de carbono por hectárea para cada finca evaluada y fueron contrastados a fin de determinar qué tipo de finca posee la mayor captación de carbono y nitrógeno total en el suelo, y de esta manera determinar qué tipo de manejo de suelo influye de manera más significativa en la concentración de carbono y nitrógeno total en suelos.

Las lecturas se realizaron por triplicado, siendo un total de 156 lecturas para carbono y 156 lecturas para nitrógeno total; la determinación de la densidad aparente se realizó solo una vez por muestra siendo un total de 8 lecturas y cuyo valor sirvió para realizar el cálculo de toneladas de carbono por hectárea, siendo un total de 320 análisis (**cuadro N° 3**).

**Cuadro N° 3.** Análisis de laboratorio realizados a las muestras de suelo.

Método	Análisis realizado	Número de muestras	Número de repeticiones	Total de análisis realizados
Combustión oxidativa de sólidos	Carbono	52	3	156
Micro Kjeldhal	Nitrógeno total	52	3	156
Cilindro	Densidad aparente	8	1	8

#### 4.4.1 Tratamiento de las muestras de suelo (Ver anexo N° 2)

A las 52 muestras de suelo se les analizó carbono y nitrógeno total, según el procedimiento siguiente:

- Las muestras de suelo se colocaron en bandejas de aluminio.
- Las bandejas de aluminio se colocaron en una estufa de aire forzado a temperatura de  $40 \pm 5^{\circ}$  C durante 48 horas.
- Retirar las bandejas de la estufa y dejar enfriar, posteriormente realizar el método del cuarteo y eliminar los dos extremos opuestos.

- Tamizar los dos extremos restantes a través de un tamiz de 2 mm.
- Realizar nuevamente el método del cuarteo y eliminar los dos extremos opuestos.
- Tamizar los 2 extremos restantes a través de un tamiz de 0.5 mm.
- Guardar las muestras tamizadas en tubos Falcon de 50 mL, para su posterior análisis.

A las 8 muestras de suelo a las que se les determino densidad se les realizo el siguiente tratamiento:

- Colocar los cilindros con suelo en una estufa de aire forzado a  $105 \pm 5^{\circ} \text{C}$  por 48 horas o hasta peso constante.
- Determinar el valor de la densidad aparente del suelo.

#### **4.4.2 Procedimiento para la cuantificación del carbono**

##### **Fundamento**

Consiste en la conversión del carbono presente en la muestra sólida por combustión a una temperatura de  $1,200^{\circ} \text{C}$  a  $\text{CO}_2$ , este gas luego es acarreado utilizando oxígeno y se realiza la detección del  $\text{CO}_2$  mediante un detector infrarrojo cercano no dispersivo (NDIR).

Las muestras de suelo previamente tratadas se leerán directamente en un detector de carbono Analyzer Multi N/C 3100, el cual tiene acoplado un módulo de sólidos TOC HT 1300, ambos de la marca Analytikjena, utilizando porta muestra de cerámica. Los resultados se obtendrán en porcentaje de Carbono.

## **Equipo y reactivos (Ver anexo N° 4)**

### **a. Determinación de carbono (Ver anexo N° 5)**

- Pesar 20 mg de la muestra en el porta muestra de cerámica.
- Precalentar el horno del equipo a 1,200° C.
- Realizar la lectura en el equipo de cada una de las muestras estándar.
- Ajustar los parámetros del equipo por medio de la curva de calibración.
- Hacer la lectura del porcentaje de Carbono de cada muestra.
- Anotar los resultados en la bitácora de trabajo.

### **b. Realizar el cálculo de toneladas de carbono por hectárea (ton C/ha)**

- Con el dato del porcentaje de Carbono se obtendrán las toneladas de Carbono por hectárea mediante la siguiente fórmula:

$$CS = CC \times DA \times P$$

Dónde:

CS = Carbono en Suelo (ton C/ha).

CC = Contenido de C (%).

DA = Densidad Aparente (g/mL).

P = Profundidad de muestreo (20 cm).

## **4.4.3 Procedimiento para cuantificar el nitrógeno por el método de Kjeldhal (Ver anexo N° 5)**

### **Fundamento**

Destrucción de la materia orgánica por acción del ácido sulfúrico concentrado y caliente. Este actúa sobre la materia orgánica deshidratándola y carbonizándola. El carbón es oxidado y el nitrógeno reducido a amoníaco en presencia de reactivos específicos que actúan como catalizadores. El amoníaco

desprendido queda fijado en el ácido sulfúrico como sulfato de amonio. Posteriormente se libera el amoníaco formado, atrapándolo en un volumen conocido de ácido bórico formándose borato de amonio.

El borato de amonio se titula con ácido clorhídrico 0.1 N empleando como indicador una mezcla de verde de bromocresol y rojo de metilo, obteniendo un viraje de color de verde a rojo pálido. Los resultados se obtienen en porcentaje de Nitrógeno.

### **Equipo de Micro Kjeldhal (Ver anexo N° 4)**

#### **a. Preparación de reactivos (anexo N° 4)**

- Solución de Ácido Clorhídrico 0.1 N.
- Mezcla catalizadora ( $K_2SO_4 + CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ).
- Solución de Hidróxido de Sodio (35% p/v).
- Solución de Ácido Bórico (4% p/v).
- Solución de rojo de metilo en verde de bromocresol.

#### **b. Preparación de la muestra (Ver anexo N° 5)**

- Pesar en papel filtro 0.3 g de muestra y colocarla en un tubo tecator para Kjeldahl de 250 mL.
- Agregar al tubo que contiene la muestra pesada:
  - 12 mL de ácido sulfúrico.
  - 3 g de la mezcla de catalizador (sulfato de potasio y sulfato de cobre).

#### **c. Procedimiento para determinación de nitrógeno en el suelo (Ver anexo N° 5)**

- Colocar los tubos en el equipo de digestión Kjeldhal, al mismo tiempo conectar el sistema de extracción de vapores y condensación de gases.
- Mover constantemente (por medio de rotación) los tubos y esperar hasta que la solución esté de color azul o verde.

- Enfriar los tubos, agregando aproximadamente 80 mL de agua destilada y esperar a que enfríen por completo.
- Colocar el tubo en el equipo de destilación.
- Colocar en un Erlenmeyer de 250 mL, 25 mL de la solución de ácido bórico más indicadores y colocarlo en el aparato de destilación (solución de color rojo).
- Colocar los tubos en el equipo de destilación de Kjeldhal, el cual añadirá 60 mL de solución de hidróxido de sodio al 35%.
- Recibir el destilado en el Erlenmeyer de 250 mL, el que debe estar en el aparato de destilación después de 5 minutos de trabajo del mismo (hasta que complete la destilación se observará un cambio del indicador de rojo a verde turquesa).
- Titular el destilado obtenido con solución de ácido clorhídrico 0.1 N hasta cambio de color del indicador que va de verde a rojo pálido.
- Repetir el procedimiento para cada muestra.
- Anotar los resultados en la bitácora de trabajo.
- El porcentaje de nitrógeno se calculará utilizando la siguiente formula:

d. Cálculo del porcentaje de nitrógeno total.

$$\% \text{ Nitrógeno} = \frac{\text{mL HCl muestra} \times \text{N de HCl} \times 0.014}{\text{Peso muestra (g)}} \times 100$$

0.014= Mili equivalente del nitrógeno

#### **4.4.4 Determinación de la densidad por el método del cilindro**

##### **Fundamento**

El método más comúnmente utilizado para determinación de la densidad es el "método del cilindro", que consiste en introducir un cilindro metálico en el suelo y luego de enrasarlo una vez extraído, determinar la masa de suelo seco que quedó en su interior.

#### **Equipo (Ver anexo N° 4)**

##### a. Recolección de la muestra

- Colocar los cilindros dentro del barreno.
- Tomar la muestra, cerrar el cilindro y transportarlos al laboratorio.

##### b. Procedimiento para determinación de la densidad en suelos

- Colocar los cilindros con suelo en una estufa de aire forzado a  $105 \pm 5^{\circ}$  C por 48 horas.
- Pesar los cilindros hasta peso constante.
- Medir el diámetro y la altura de los cilindros y calcular su densidad.
- Realizar este procedimiento 8 veces.

##### c. Realizar el cálculo de Densidad y expresar resultados en g/mL

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Dónde:

m = masa

v = volumen

#### **4.4.5 Manual de Procedimientos**

Debido a que el equipo Analyk Jena 3100 con módulo para muestras sólidas HT 1300 es de reciente adquisición y a la vez de gran importancia para la realización de los análisis, debido a su rapidez y precisión, se elaboró un

manual de procedimientos, utilizando para ello fotografías del equipo y de su interfaz gráfica, el cual contiene información detallada y ordenada del equipo con las instrucciones para llevar a cabo un buen manejo de este, que garanticen el buen funcionamiento.

En el manual se explica de manera sencilla el manejo del equipo y será de uso en el área de trabajo del laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, donde se encuentra el equipo.

#### **4.4.6 Análisis estadístico**

Con la finalidad de determinar el comportamiento de los datos obtenidos experimentalmente en el análisis de carbono, nitrógeno total y densidad aparente realizado en las muestras de suelos de las fincas manejadas de forma convencional y orgánica, se dividió el estudio estadístico en 2 etapas:

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, que permite 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.

Para determinar el comportamiento de los datos obtenidos se utilizó la prueba de Kolmogorov- Smirnov a un nivel de confianza del 95%, en el cual si el "Valor P" es menor a 0.05 se confirma la hipótesis alternativa. Para llevar a cabo dicho análisis se utilizó el programa SPSS Statistics 24, las hipótesis planteadas fueron las siguientes:

- 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 hipótesis nula indica homogeneidad, es decir, los datos presentan una distribución continua en la cual sus medidas de tendencia central son idénticas; la hipótesis alternativa indica diferencia, es decir, una tendencia no paramétrica en la cual sus medidas de tendencia central son distintas, el criterio de aceptación que se utilizó para saber si existe diferencia significativa a un 95% de confianza fue el "Valor P" (un valor P menor a 0.05 ratifica la hipótesis alternativa y descalifica la hipótesis nula).

Para determinar el comportamiento de los datos obtenidos experimentalmente por el método de combustión oxidativa de sólidos para carbono, método de Kjeldhal para nitrógeno total y método del cilindro para densidad aparente, se aplicó la prueba de Kolmogorov- Smirnov, obteniendo como resultado una distribución no paramétrica, por lo cual se prosigue a utilizar la prueba no paramétrica de Kruskal- Wallis, el cual contrasta si las diferentes muestras están equidistribuidas y por lo tanto pertenecen a la misma distribución (población).

En la segunda etapa, debido a que los datos obtenidos presentan un comportamiento no paramétrico, se utilizó la prueba de Kruskal- Wallis, la cual es una prueba no paramétrica, equivalente a la prueba paramétrica ANOVA de una vía. Dicha prueba permite determinar si existen diferencias considerables entre las concentraciones de carbono y nitrógeno total en la finca manejada de

forma convencional y la finca manejada en forma orgánica, y de acuerdo a ello aceptar o rechazar las hipótesis planteadas.

## **CAPITULO V**

### **RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS**

## 5.0 RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS

Uno de los objetivos de esta investigación es cuantificar la concentración de carbono y de nitrógeno total en las muestras de suelo obtenidas en la banda de fertilización y entre los surcos (calle) de una finca de café manejada en forma orgánica y de otra manejada en forma convencional.

### 5.1 Determinación de Carbono

Para determinar la concentración de carbono en las muestras de suelo analizadas se realizaron lecturas por triplicado de cada muestra de suelo en el equipo Analytik Jena 3100 con modulo para muestras solidas HT 1300, el cual funciona por el método de combustión oxidativa de sólidos y brinda los resultados en porcentaje de carbono, los cuales mediante el valor de la densidad aparente y la profundidad a la que se realizó el muestreo son convertidos y expresados como toneladas de carbono por hectárea (ton C/ha) **(ver anexo N° 6)**.

En la Tabla N° 1 y N° 2 se presentan las concentraciones promedio de carbono de cada punto de muestreo, obteniendo los resultados en porcentaje de carbono y convirtiéndolos a toneladas de carbono mediante la fórmula siguiente:

$$CS = CC \times DA \times P$$

Dónde:

CS = Carbono en Suelo (ton C/ha).

CC = Contenido de C (%).

DA = Densidad Aparente (g/mL).

P = Profundidad de muestreo (20 cm).

### 5.1.1 Análisis de carbono en la finca manejada convencionalmente (PROCAFE)

En la finca del Jardín de Variedades de café de PROCAFE, la mayor concentración de Carbono se encontró en las muestras de suelo obtenidas entre los surcos de café con un valor de 2.7165 ton C/ha; en la banda de fertilización la mayor concentración fue 2.3920 ton C/ha, con una diferencia de 11.94% (Ver **Tabla N° 1** y **Figura N° 4**).

**Tabla N° 1.** Concentraciones promedio de carbono en la finca de PROCAFE.

Sitio de Muestreo	Código	Promedio de concentraciones (ton C/ha)
Banda de fertilización	P1BCNP	2.2375
	P2BCNP	2.0315
Finca del Jardín de Variedades de café de PROCAFE	P3BCNP	1.8318
	P4BCNP	1.6820
	P5BCNP	1.8179
	P6BCNP	2.1729
	P7BCNP	2.3920
	P8BCNP	2.0231
	P9BCNP	2.1438
	P10BCNP	2.0717
	P11BCNP	2.0065
	P12BCNP	1.9164
	P13BCNP	2.0093

Tabla N° 1 Continuación

Sitio de Muestreo	Código	Promedio de concentraciones (ton C/ha)
Entre los surcos de café  Finca del Jardín de Variedades de café de PROCAFE	P1SCNP	2.5384
	P2SCNP	2.7165
	P3SCNP	2.3546
	P4SCNP	2.1618
	P5SCNP	2.0398
	P6SCNP	2.2131
	P7SCNP	2.2159
	P8SCNP	2.4170
	P9SCNP	2.3421
	P10SCNP	2.2838
	P11SCNP	2.1771
	P12SCNP	2.3975
	P13SCNP	2.3712

Nota: Los datos resaltados en amarillo representan las concentraciones más altas.

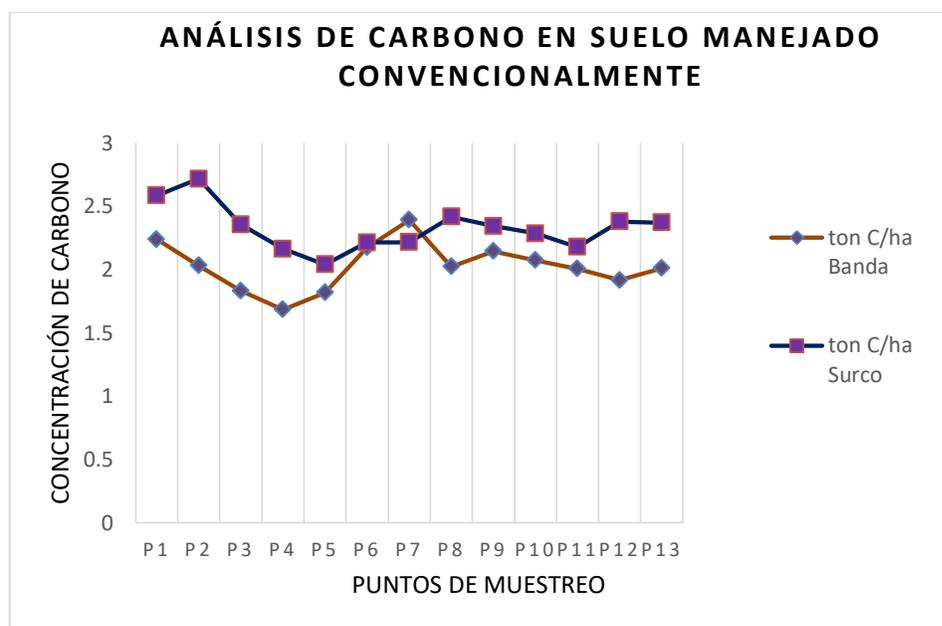


Figura N° 4. Concentración promedio de carbono en suelos de la finca de PROCAFE.

### 5.1.2 Análisis de carbono en la finca Montealegre Orgánico

En la finca Montealegre Orgánico la mayor concentración de Carbono se encontró en las muestras de suelo obtenidas entre los surcos de café con un valor de 23.6184 ton C/ha; en la banda de fertilización la mayor concentración fue de 23.2999 ton C/ha, con una diferencia de 1.35% (Ver Tabla Nº 2 y Figura No. 5).

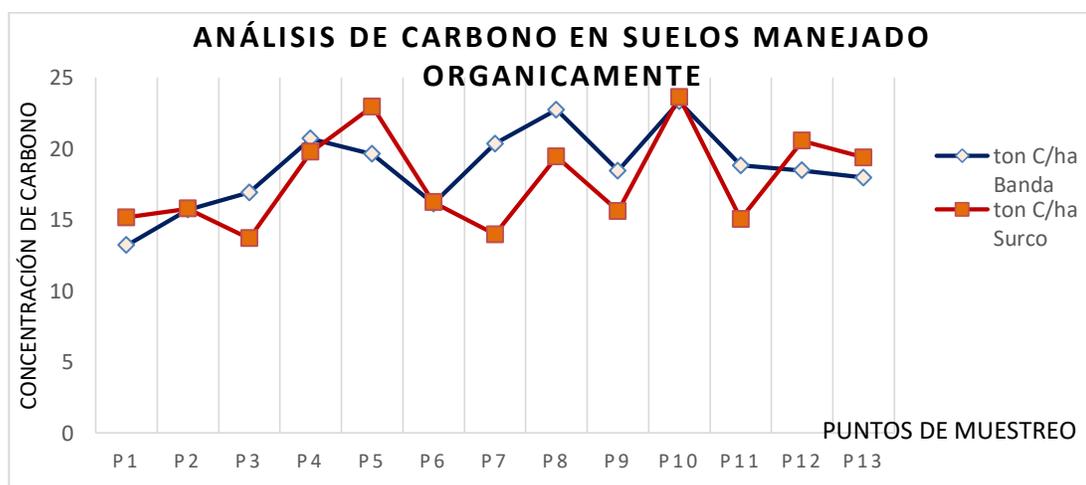
**Tabla Nº 2.** Concentraciones promedio de carbono en la finca Montealegre.

Sitio de Muestreo	Código	Promedio de concentraciones (ton C/ha)
Banda de fertilización  Finca Montealegre Orgánico	P1BCNM	13.2012
	P2BCNM	15.6977
	P3BCNM	16.9202
	P4BCNM	20.6905
	P5BCNM	19.6118
	P6BCNM	16.1291
	P7BCNM	20.3515
	P8BCNM	22.7246
	P9BCNM	18.4406
	P10BCNM	23.2999
	P11BCNM	18.8105
	P12BCNM	18.4612
	P13BCNM	17.9474
Sitio de Muestreo Entre los surcos de café		Promedio de concentraciones (ton C/ha)
	P1SCNM	15.1634
	P2SCNM	15.7798

**Tabla N° 2 Continuación.**

Finca Montealegre Orgánico	P3SCNM	13.6841
	P4SCNM	19.7659
	P5SCNM	22.9609
	P6SCNM	16.2216
	P7SCNM	13.9717
	P8SCNM	19.4269
	P9SCNM	15.6052
	P10SCNM	23.6184
	P11SCNM	15.0402
	P12SCNM	20.5569
	P13SCNM	19.3652

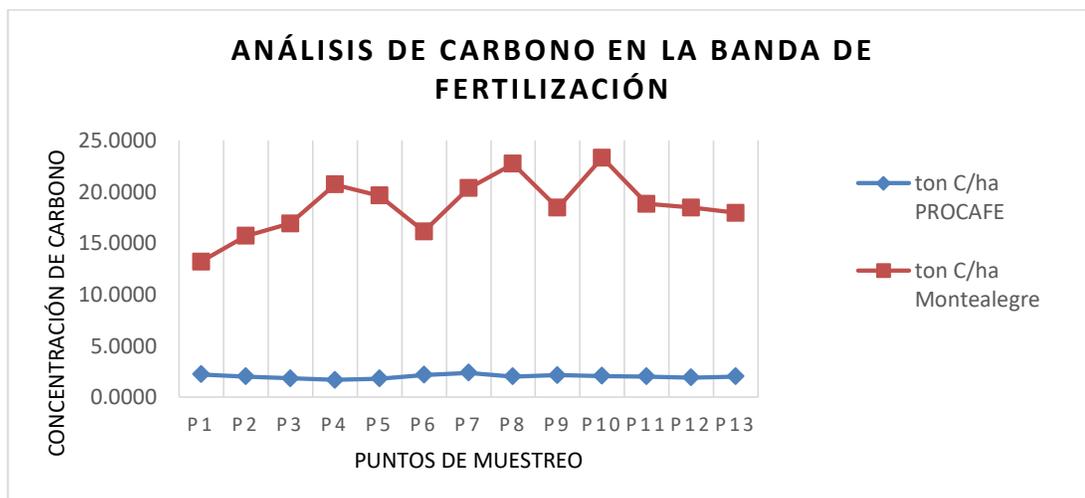
Nota: Los datos resaltados en amarillo representan las concentraciones más altas.



**Figura N° 5.** Concentraciones promedio de carbono en los suelos de la finca Montealegre Orgánico.

### 5.1.3 Comparación del análisis de carbono en la banda de fertilización entre las dos fincas.

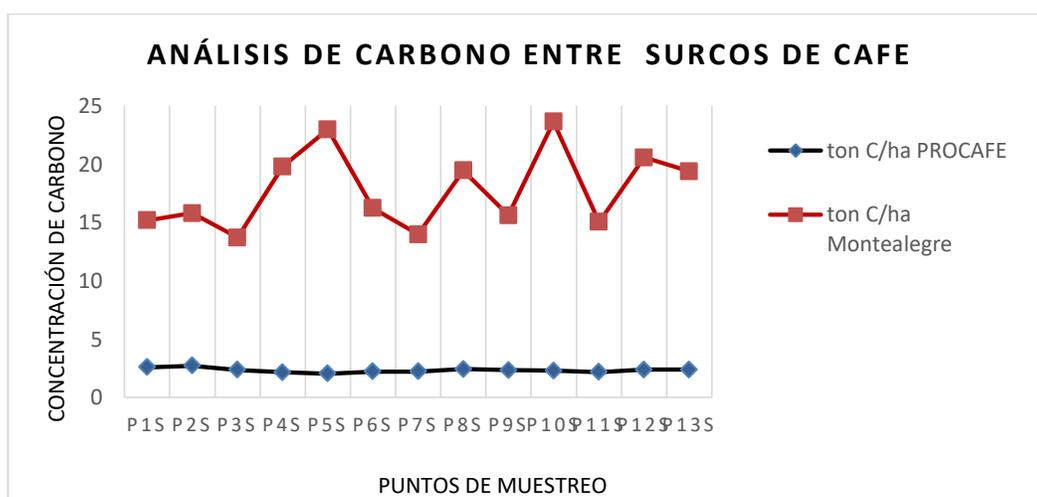
En la banda de fertilización, la mayor concentración de Carbono se encontró en la finca Montealegre Orgánico con 23.2999 ton C/ha, y en la finca de PROCAFE fue 2.3920 ton C/ha, con una diferencia de 89.74% (ver figura N° 6).



**Figura N° 6.** Concentraciones promedio de carbono en la banda de fertilización de la finca de PROCAFE y de la finca Montealegre Orgánico.

#### 5.1.4 Comparación del análisis de carbono entre los surcos de café en las dos fincas

Entre los surcos de café, la mayor concentración de Carbono se encontró en la finca Montealegre Orgánico con 23.6184 ton C/ha, y en la finca de PROCAFE fue 2.7165 ton C/ha, con una diferencia de 88.50% (**Ver figura Nª 7**).



**Figura N° 7.** Concentraciones promedio de carbono entre los surcos de café de la finca de PROCAFE y de la finca Montealegre Orgánico.

Según las figuras N° 6 y N° 7, la finca manejada de forma orgánica es la que presenta las mayores concentraciones de carbono tanto en las bandas de fertilización como entre los surcos de café, lo cual posiblemente es debido a la mayor cantidad de materia orgánica adicionada en forma de bocashi, compostaje, pulpa de café, abonos verdes y por la caída de la hojarasca de las plantas de café y de los árboles de sombra,<sup>23</sup> los cuales son descompuestos de manera eficiente por los microorganismos presentes en el suelo, favoreciendo así su incorporación en los mismos; dicho manejo orgánico repercute favorablemente en las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo debido a que no se utilizan plaguicidas ni fertilizantes sintéticos, favoreciendo la actividad microbiana en el suelo y la descomposición y aprovechamiento de la materia orgánica, lo cual mejora la textura y estructura del suelo, la porosidad del suelo, la circulación del aire, la infiltración de agua, y favorece la retención de carbono en los suelos manejados de forma orgánica. <sup>6</sup>

## **5.2 Determinación de nitrógeno total (Ver anexo N° 6)**

Los datos de las **Tabla N° 3 y 4** son las concentraciones promedio de nitrógeno total de cada punto de muestreo, obteniendo los resultados en porcentaje de nitrógeno mediante la fórmula de % de Nitrógeno (**Ver Anexo N°5**)

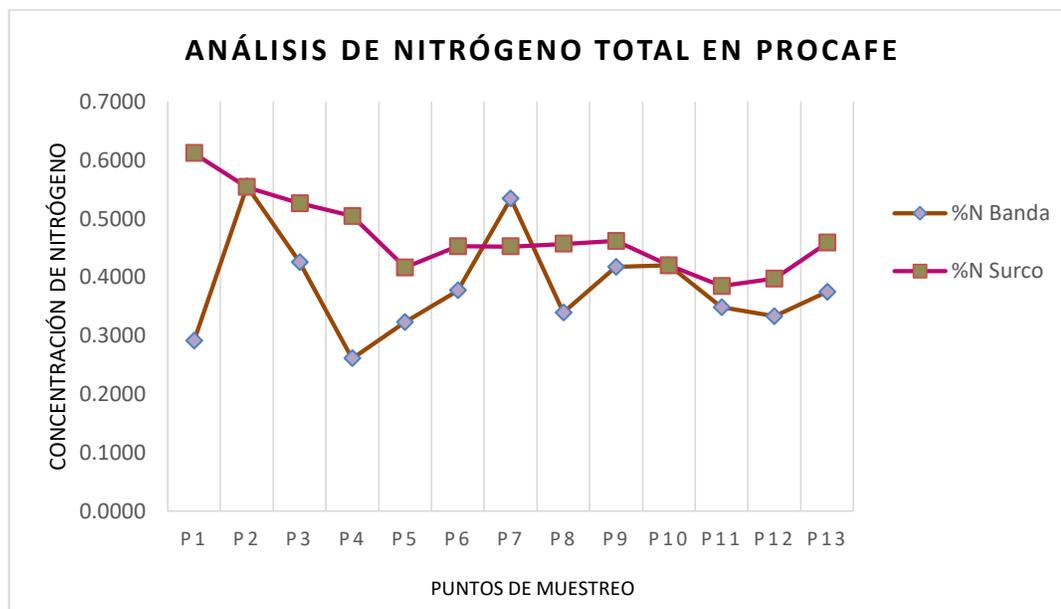
### **5.2.1 Análisis de nitrógeno total en la finca manejada convencionalmente (PROCAFE)**

En la finca de PROCAFE la mayor concentración de Nitrógeno total se encontró en las muestras de suelo obtenidas entre los surcos de café con un valor de 0.6118%; en la banda de fertilización la mayor concentración fue 0.5551%, con una diferencia del 12.72% ( **ver tabla N° 3 y figura N° 8**).

**Tabla N° 3.** Concentración promedio de Nitrógeno total de finca del Jardín de Variedades de PROCAFE.

Sitio de muestreo	Código	Concentración promedio de Nitrógeno total (% N)
Banda de fertilización.  Finca del Jardín de Variedades de café de PROCAFE.	P1BCNP	0.2907
	P2BCNP	0.5551
	P3BCNP	0.4252
	P4BCNP	0.2606
	P5BCNP	0.3227
	P6BCNP	0.3767
	P7BCNP	0.534
	P8BCNP	0.3393
	P9BCNP	0.4171
	P10BCNP	0.4198
	P11BCNP	0.3483
	P12BCNP	0.3328
	P13BCNP	0.3747
Sitio de muestreo	Código	Concentración promedio de nitrógeno total (% N)
Entre los surcos de café  Finca del Jardín de Variedades de café de PROCAFE	P1SCNP	0.6118
	P2SCNP	0.5534
	P3SCNP	0.5258
	P4SCNP	0.5042
	P5SCNP	0.4163
	P6SCNP	0.4524
	P7SCNP	0.452
	P8SCNP	0.4565
	P9SCNP	0.4614
	P10SCNP	0.42
	P11SCNP	0.3846
	P12SCNP	0.3971
	P13SCNP	0.4584

Nota: Los datos resaltados en amarillo representan las concentraciones más altas.



**Figura N° 8.** Concentraciones promedio de nitrógeno total en la finca manejada convencionalmente (PROCAFE).

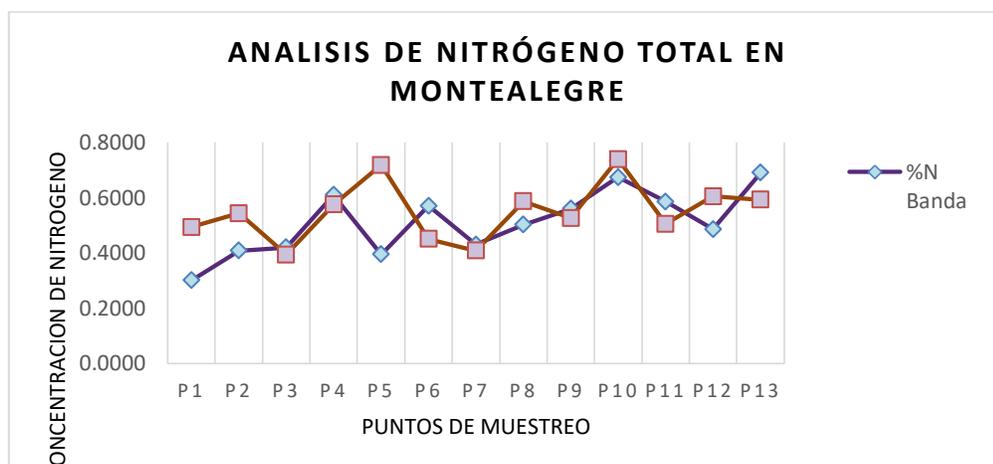
### 5.2.3 Análisis de nitrógeno total en la finca Montealegre Orgánico

En la finca Montealegre Orgánico la mayor concentración de Nitrógeno total se encontró en las muestras de suelo obtenidas entre los surcos de café con un valor de 0.7387%; en la banda de fertilización la mayor concentración fue 0.6906%, con una diferencia del 6.52% (**Ver tabla N° 4 y figura N° 9**).

**Tabla N° 4.** Concentraciones promedio de Nitrógeno total en la finca Montealegre Orgánico.

<b>Sitio de muestreo</b>	<b>Código</b>	<b>Concentración promedio de Nitrógeno total (% N)</b>
Banda de fertilización.  Finca Montealegre Orgánico	P1BCNM	0.3006
	P2BCNM	0.4084
	P3BCNM	0.4195
	P4BCNM	0.6091
	P5BCNM	0.3944
	P6BCNM	0.5699
	P7BCNM	0.4302
	P8BCNM	0.5017
	P9BCNM	0.5593
	P10BCNM	0.6739
	P11BCNM	0.5858
	P12BCNM	0.4854
	P13BCNM	0.6906
<b>Sitio de muestreo</b>	<b>Código</b>	<b>Concentración promedio de Nitrógeno total (% N)</b>
Entre los surcos de café.  Finca Montealegre Orgánico	P1SCNM	0.4933
	P2SCNM	0.5436
	P3SCNM	0.3937
	P4SCNM	0.5747
	P5SCNM	0.7183
	P6SCNM	0.4499
	P7SCNM	0.4084
	P8SCNM	0.5862
	P9SCNM	0.5264
	P10SCNM	0.7387
	P11SCNM	0.5047
	P12SCNM	0.6045
	P13SCNM	0.5919

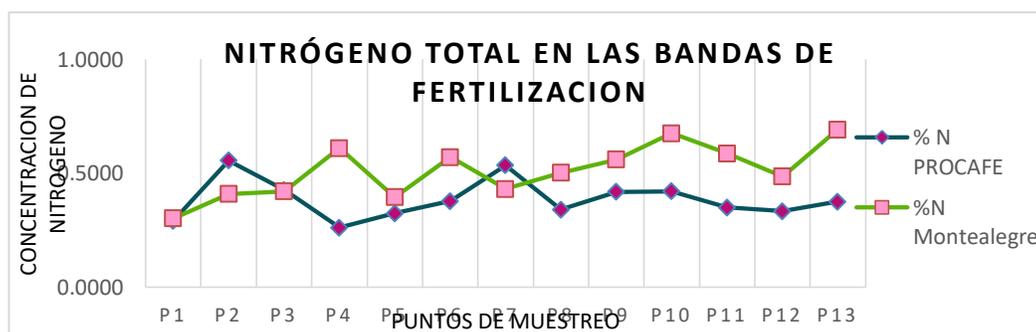
Nota: Los datos resaltados en amarillo representan las concentraciones más altas.



**Figura Nº 9.** Concentraciones promedio de nitrógeno total en la finca Montealegre Orgánico.

#### 5.2.4 Comparación del análisis de nitrógeno total en la banda de fertilización de la finca de PROCAFE y de la finca Montealegre Orgánico

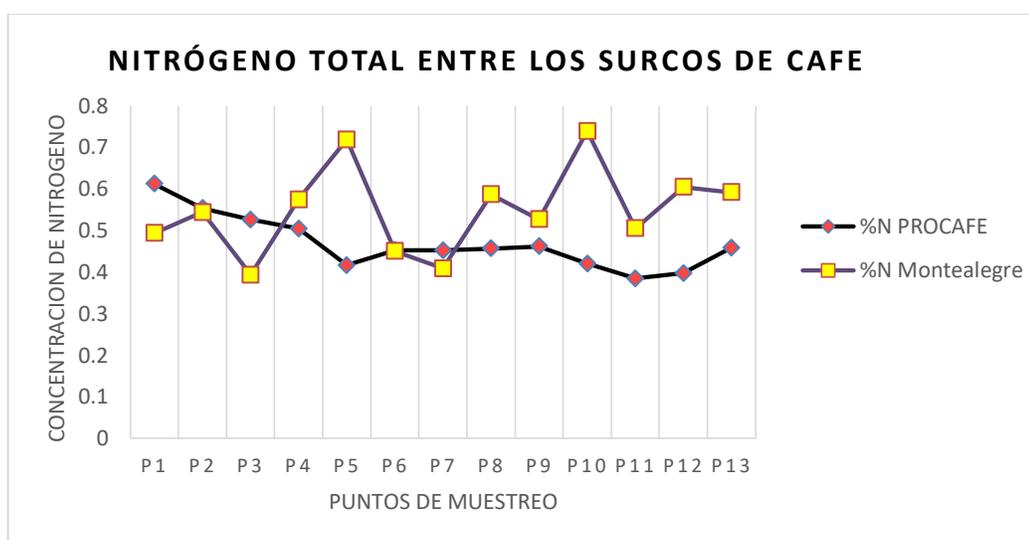
La mayor concentración de Nitrógeno Total se encontró en las muestras de suelo obtenidas en la banda de fertilización de la finca Montealegre Orgánico con un valor de 0.6906%; en la finca de PROCAFE la mayor concentración fue 0.5551%, con una diferencia de 17.63% (ver Figura Nº 10).



**Figura Nº 10.** Concentraciones promedio de nitrógeno total en la banda de fertilización de la finca de PROCAFE y de la finca Montealegre Orgánico.

### 5.2.5 Comparación del análisis de nitrógeno total entre los surcos de café de la finca de PROCAFE y de la finca Montealegre Orgánico

La mayor concentración de Nitrógeno Total se encontró en las muestras de suelo obtenidas entre los surcos de café de la finca Montealegre Orgánico con un valor de 0.7387%; en la finca de PROCAFE la mayor concentración fue 0.6118%, con una diferencia de 17.18% (ver Figura N° 11).



**Figura N° 11.** Concentraciones promedio de nitrógeno total entre los surcos de café de la finca de PROCAFE y de la finca Montealegre Orgánico.

Según las figuras N°10 y N°11, la finca manejada de forma orgánica es la que presenta las mayores concentraciones de nitrógeno total tanto en las bandas de fertilización como entre los surcos de café, lo cual posiblemente es debido a la mayor cantidad de materia orgánica adicionada en forma de bocashi, compostaje, pulpa de café, abonos verdes y por la caída de la hojarasca de las plantas de café y de los árboles de sombra, que son descompuestas de manera eficiente por bacterias del genero *Annamoxglobus*, las cuales, debido al manejo orgánico del suelo no se ven afectadas por plaguicidas ni fertilizantes sintéticos; por lo tanto, actúan de manera eficiente en la descomposición de la materia

orgánica disponible en el suelo, mejorando la textura y estructura del suelo, la porosidad del suelo, la circulación de aire y la infiltración de agua, lo cual permite una mayor retención de dicho elemento. <sup>1</sup>

### 5.3 Determinación de Densidad Aparente (Ver anexo N° 6)

En la **Tabla N° 5** se presentan los valores de la densidad aparente obtenidos en cada punto de muestreo, realizando el análisis una vez a cada muestra de suelo y obteniendo los resultados en g/mL, para dicho análisis se utilizó el método del cilindro de volumen conocido.

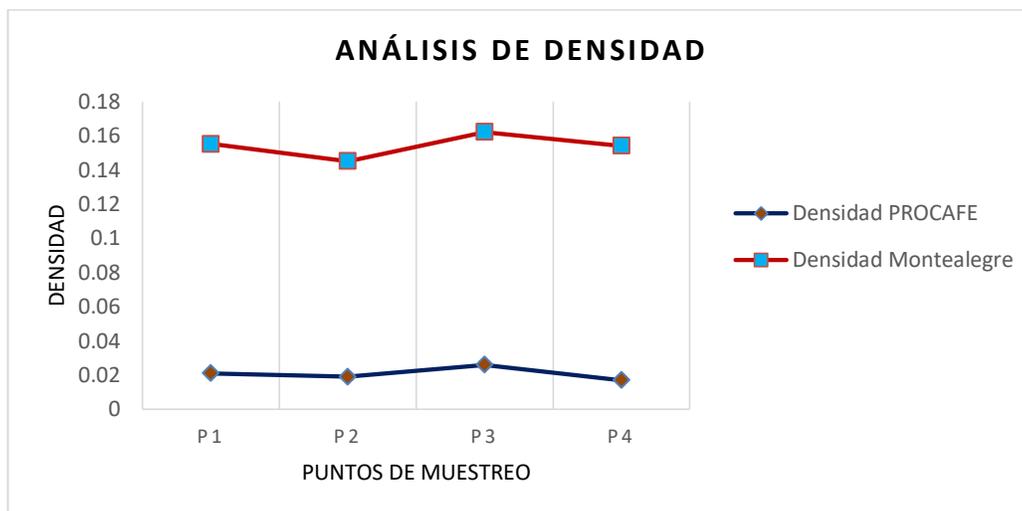
#### 5.3.1 Comparación del análisis de densidad aparente en la finca de PROCAFE y en la finca Montealegre Orgánico

En la tabla N° 5 y en la figura N° 12 se presentan los resultados obtenidos de la densidad aparente en la finca manejada convencionalmente de PROCAFE y en la finca Montealegre Orgánico:

**Tabla N° 5.** Resultados de la Densidad Aparente en la finca de PROCAFE y en la finca Montealegre Orgánico.

Sitio de muestreo	Código	Densidad
Finca del Jardín de Variedades de PROCAFE	P1DP	0.0210
	P2DP	0.0190
	P3DP	0.0260
	P4DP	0.0170
Finca Montealegre Orgánico	P1DM	0.1551
	P2DM	0.1451
	P3DM	0.1621
	P4DM	0.1541

Nota: Los datos resaltados en amarillo representan los datos más altos.



**Figura N° 12.** Resultados del análisis de densidad aparente en la finca de PROCAFE y en la finca Montealegre Orgánico.

Según la tabla N° 5 y la figura N° 12, el mayor valor de la Densidad aparente se obtuvo en la finca Montealegre Orgánico con 0.1621 g/mL; en la finca manejada convencionalmente de PROCAFE el mayor valor fue 0.0260 g/mL; pero en ninguno de los casos fue mayor de 1.0 g/cm<sup>3</sup> (1 mL es igual a 1 cm<sup>3</sup> o cc).

Según los resultados obtenidos, los suelos de las dos fincas tienen una densidad aparente baja, ya que la densidad aparente de un suelo mineral seco es normalmente aproximadamente entre 1.0 y 1.6 g/cm<sup>3</sup>.

La densidad aparente en seco de un suelo está inversamente relacionada con la porosidad del mismo suelo: cuanto más espacio poroso hay en un suelo, menor es el valor de la densidad aparente.

Por lo anterior, los suelos son porosos, bien aireados, con buen drenaje y buena penetración de raíces, lo que permite un buen desarrollo de las raíces, esto es debido a que los suelos ricos en carbono orgánico del suelo y algunas arcillas friables tienden a tener densidades aparentes bajas (menos de 1.0

g/mL), por la combinación de la baja densidad de los materiales orgánicos en sí mismos y una mayor porosidad, lo cual favorece la circulación del aire y la infiltración del agua. <sup>(2) (27)</sup>

#### **5.4 Análisis estadístico**

Con el objetivo de analizar el comportamiento de los datos obtenidos experimentalmente por el método de combustión oxidativa de sólidos para carbono, el método de Kjeldhal para nitrógeno total y el método del cilindro para la densidad, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, la cual permite comprobar si varias muestras independientes provienen o no de una misma población.

##### **5.4.1 Comprobación de la prueba estadística a utilizar**

- 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.

A los elementos Carbono y Nitrógeno total se les realizó la prueba de Kolmogorov-Sminorv, así como también a la densidad aparente (anexo N° 7), ya que dicha prueba compara los valores de las funciones de distribución de las muestras; es decir, identifica el comportamiento de los datos. A continuación se presenta un ejemplo para el caso del Carbono en las bandas de fertilización (**ver Tabla N° 6**).

**Tabla N° 6.** Prueba de Kolmogorov-Smirnov para carbono en las bandas de fertilización.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov		
		Concentración
N		78
Parámetros normales	Media	10.3324
	Desviación Estándar	8.5841
Estadístico de prueba		0.322
Sig. Asintótica (bilateral)		0.000
a. Corrección de significación de Lilliefors		
b. Se calcula a partir de datos		

Se rechaza la hipótesis nula, debido a que el valor de  $p < 0.05$  (Sig. Asintótica), que es 0.000, y se procede a emplear la prueba de Kruskal-Wallis.

La prueba de Kruskal-Wallis, también llamada la prueba H, es una prueba no paramétrica que utiliza rangos de datos muestra de poblaciones independientes. Se utiliza para probar la hipótesis nula de que las muestras independientes provienen de poblaciones con medianas iguales; la hipótesis alternativa es la aseveración de que las poblaciones tienen medianas que no son iguales:

H0: Las muestras provienen de poblaciones con medianas iguales.

H1: Las muestras provienen de poblaciones con medianas que no son iguales.

Para aplicar la prueba de Kruskal-Wallis se calculó el estadístico de prueba H, el cual tiene una distribución que puede aproximarse por medio de la distribución Chi cuadrada, siempre y cuando cada muestra tenga al menos cinco observaciones. Cuando se utiliza la distribución Chi cuadrada en este contexto, el número de grados de libertad es  $k-1$ , donde  $k$  es el número de muestras.

#### 5.4.2 Análisis de la prueba de Kruskal-Wallis para carbono, nitrógeno total y densidad (Ver anexo N° 7)

Para revelar si existe diferencia significativa entre las concentraciones de cada elemento (carbono, nitrógeno total y densidad) en las muestras analizadas con un nivel de confianza de 95%, se plantean las siguientes hipótesis para el ejemplo de carbono entre los surcos de café (Ver Tabla N° 7):

- Hipótesis alternativa: las muestras vienen de la misma población.
- Hipótesis nula: al menos una de las muestras proviene de una población con mediana diferente.

**Tabla N° 7.** Prueba de Kruskal- Wallis.

Estadístico de prueba	
	Concentración
Chi-cuadrado	18.778
Gl	1
Sig. asintótica	0.000
Prueba de Kruskal-Wallis	

Como el valor de "P" es 0.0, es menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que al menos una de las muestras proviene de una población distinta a las demás.

Según los resultados obtenidos en esta investigación, la finca manejada de forma orgánica es la que presenta las mayores concentraciones de carbono y nitrógeno total tanto en las bandas de fertilización como entre los surcos de café, lo cual posiblemente es debido a la mayor cantidad de materia orgánica adicionada en forma de bocashi, compostaje, pulpa de café, abonos verdes y por la caída de la hojarasca de las plantas de café y de los árboles de sombra,<sup>23</sup> los cuales son descompuestos de manera eficiente por los microorganismos presentes en el suelo, favoreciendo así su incorporación en los mismos; dicho

manejo orgánico repercute favorablemente en las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo debido a que no se utilizan plaguicidas ni fertilizantes sintéticos, favoreciendo la actividad microbiana en el suelo y la descomposición y aprovechamiento de la materia orgánica, lo cual mejora la textura y estructura del suelo, la porosidad del suelo, la circulación del aire, la infiltración de agua, y favorece la retención de carbono y nitrógeno total en los suelos manejados de forma orgánica.

En el caso del nitrógeno, y aunque en las dos fincas hay árboles de sombra del género *Inga sp.*, que es una leguminosa, en la finca manejada en forma orgánica los procesos biológicos contribuyen con alrededor del 65% de la producción total anual de nitrógeno fijado <sup>(5)</sup> debido a la simbiosis que ocurre entre la planta y las bacterias del suelo, posiblemente eso explique los resultados obtenidos de la finca Montealegre Orgánico; en cambio, en la finca manejada convencionalmente, como se agrega amonio comercial a través de los fertilizantes químicos, estos suelos solamente fijan el 25% del total de nitrógeno anualmente, de ahí la diferencia de los resultados obtenidos en esta investigación.

La fuente más importante del nitrógeno fijado deriva de la actividad de ciertas bacterias del suelo que absorben el nitrógeno atmosférico y lo convierten en amonio. Algunas de estas bacterias son libres en el suelo y se alimentan de materia orgánica muerta. Otras bacterias del género *Rhizobium*, *Franki*, *Nostoc* fijadoras de nitrógeno son encontradas creciendo en asociación con las raíces de plantas mayores, por ejemplo, del género *Inga sp.* Las plantas suplen a la bacteria con la energía para crecer, mientras que la bacteria sule a la planta con el nitrógeno fijado. Debido a que tanto la planta como la bacteria se benefician a partir de esta relación, esta interacción se denomina simbiosis.

### **5.4.3 Manual de uso del equipo**

Debido a que el equipo Analytik Jena Multi N/C modelo 3100 y módulo de sólidos HT1300 no tiene un manual de uso, se ha elaborado un manual de procedimientos en español, ya que este equipo es una pieza fundamental para el análisis y cuantificación del carbono.



**Universidad de El Salvador**  
**Facultad de Ciencias Agronómicas**  
**Departamento de Química Agrícola**



**Manual de uso del equipo Analytik Jena Multi N/C modelo 3100 y  
módulo de solidos HT1300**

**Elaborado por:**

**Francisco David Miranda Sixco**

**Alex Ernesto Parada Parada**

**Año 2020**

## Índice

I. Introducción

II. Justificación

III. Objetivos

IV. Procedimiento de uso

4.1 Abrir válvulas de gases

4.2 Encendido del equipo

4.3 Manejo del equipo y selección de método de trabajo.

4.4 Revisión y ajuste de presión de gases.

4.5 Realizar lectura

V. Bibliografía

## **Introducción**

El equipo para determinación de carbono (TOC) para muestras solidas es único a nivel de El Salvador y es un equipo fundamental en el departamento de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador

Este manual surge de la necesidad de que los usuarios de este equipo logren de una forma práctica y fácil el manejo, ya que el equipo cuenta con un manual de funcionamiento en idioma inglés, dificultando un poco el uso del equipo.

El manual se encuentra organizado de forma práctica y cronológica sobre el uso del equipo, para ello se utilizaron imágenes del software para su elaboración, para que los usuarios se sientan cómodos al momento de utilizar el equipo.

### **Justificación**

La elaboración de este manual surge de la necesidad que tienen los usuarios sobre el uso del módulo de sólidos HT1300 del equipo Analytik Jena multi N/C, para un manejo de forma práctica y sencilla del equipo para la realización de mediciones de porcentaje de carbono en muestras solidas de diferentes tipos.

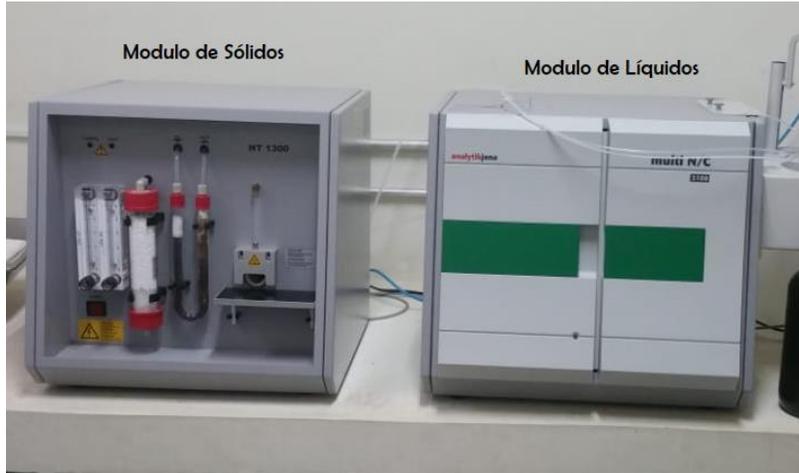
### **Objetivo General**

Elaborar un manual para el uso del software Multinwin® y equipo analytik jena multi N/C modelo 3100 y módulo de solidos HT1300.

### **Objetivo Especifico**

Describir a los usuarios como utilizar el equipo analytik jena multi N/C modelo 3100 y módulo de solidos HT1300 para determinar el porcentaje de Carbono.

## Procedimiento de uso



**Figura N° 1.** Imagen de equipo Analytik Jena multi N/C con su Módulo de sólidos HT1300.

### Pasos a seguir:

#### 1) Abrir las válvulas de gases

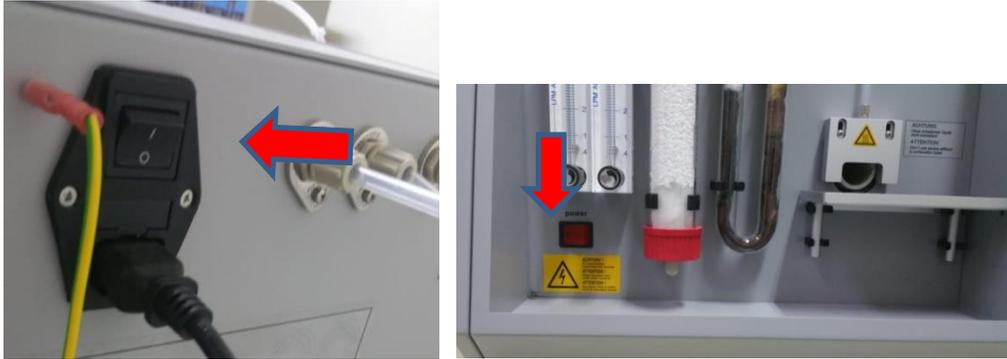
Abrir las válvulas de los gases de oxígeno, oxígeno ultra puro y verificar la presión de los gases en todos los manómetros. La presión del sistema debe de estar en 80 psi para un correcto funcionamiento del equipo, si la presión es mayor a los 90 psi el equipo puede sufrir daños y si es menor a 80 psi no funcionara correctamente.



**Figura N° 2.** Tanques y manómetros de gas oxígeno (verde) y oxígeno ultra puro (gris).

## 2) Encendido del equipo

Encender el módulo de sólidos en la parte de enfrente del equipo, presionando el botón de encendido, y el módulo de líquidos en la parte posterior del equipo.

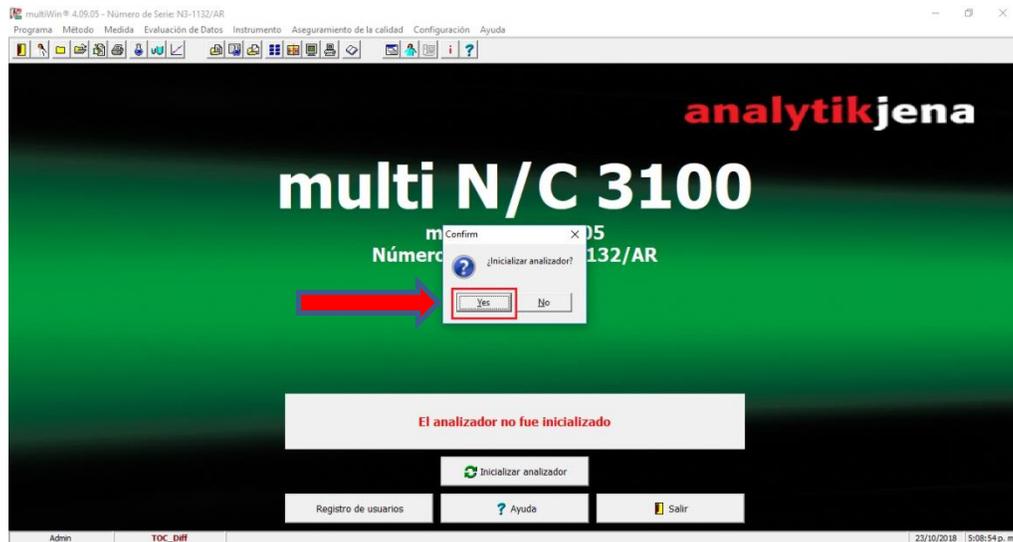


**Figura N° 3.** Botón de encendido del módulo de líquidos y de sólidos.

- Encender el Ordenador que se encuentra a la par del módulo de líquidos el cual controla el equipo.

## 3) Manejo del equipo y selección del método de trabajo

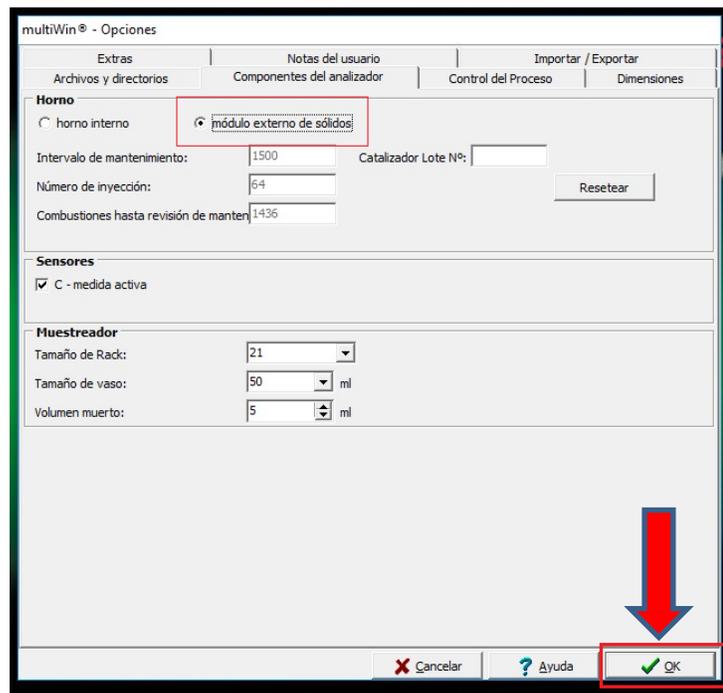
- En el ordenador dar clic al icono del software Multinwin® en el escritorio.
- Se desplegará la siguiente ventana. Dar click en la opción de Yes.



- Para definir el método, ir al menú Configuración y dar click en la opción Editar opciones.



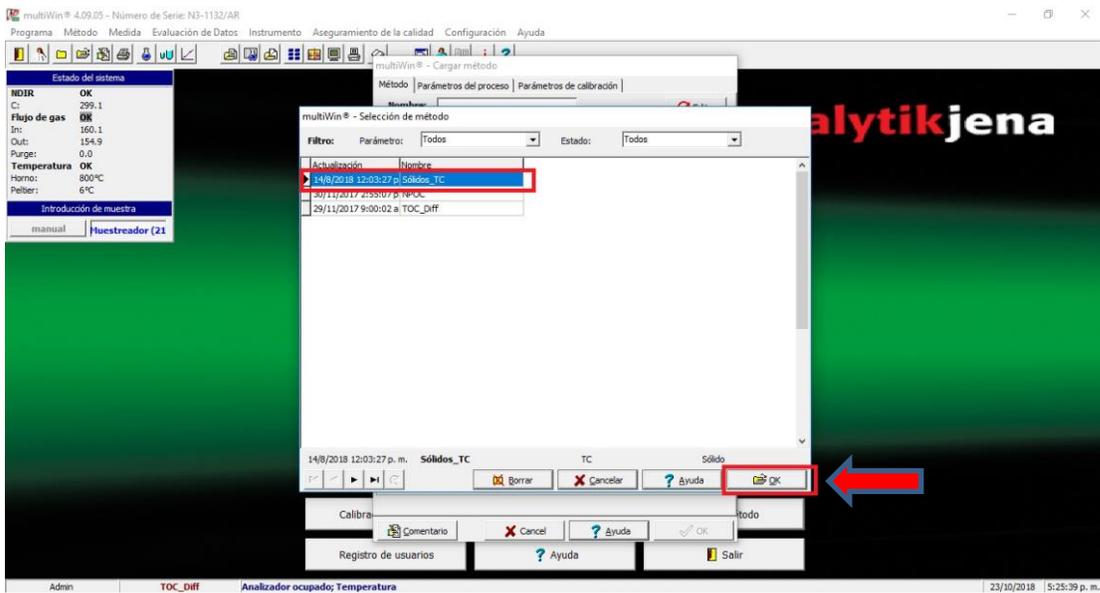
- Se abrirá la siguiente ventana. Dar click en la opción módulo externo de sólidos y luego dar clic en OK.



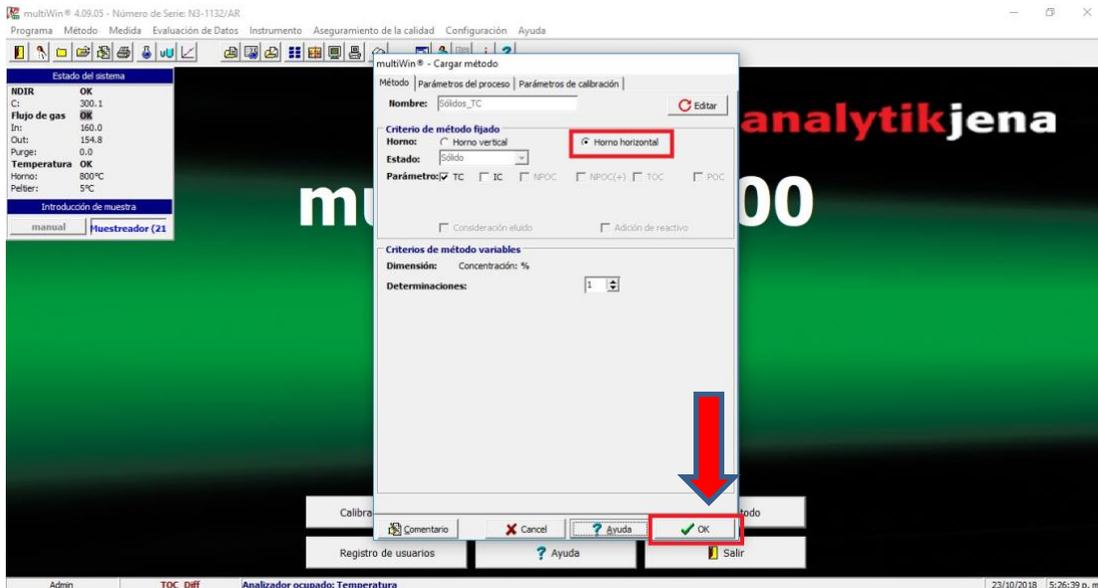
- Dar click en la opción cargar método de la ventana principal y se desplegaran dos ventanas.



- En la primera ventana darle click a la opción Sólidos TC y luego a OK.



- En la segunda ventana seleccionar la opción Horno horizontal y dar click en OK.

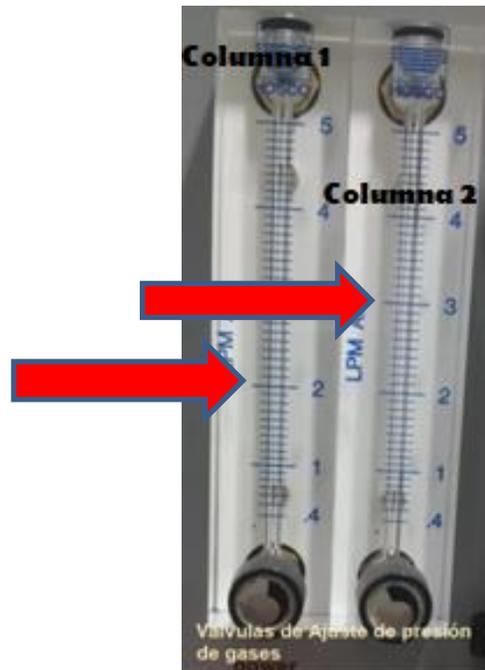


- En la misma ventana, en la parte superior izquierda observar que los valores de presión de gases (puede estar entre 98 a 110 pka) y de temperatura del horno (1,090 a 1,200° C) sean los óptimos para su funcionamiento. Si la presión de gas no es la adecuada se puede regular manualmente, ajustando la entrada de aire en lo manómetros.



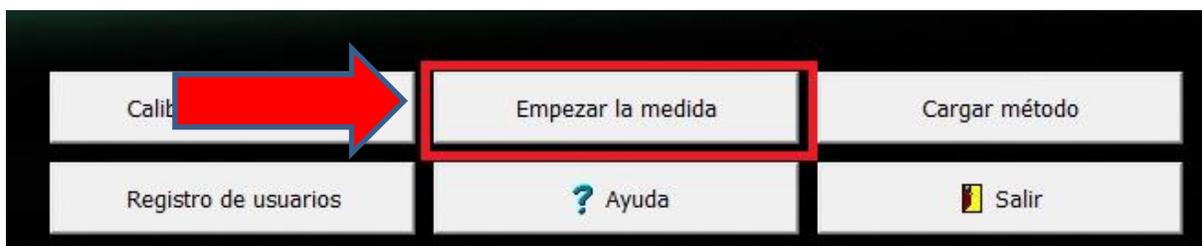
#### 4) Revisión y ajuste de la presión de gases.

- En la primera columna el valor de ajuste debe de estar en el número 2 y en la segunda columna debe de estar en el número 3.

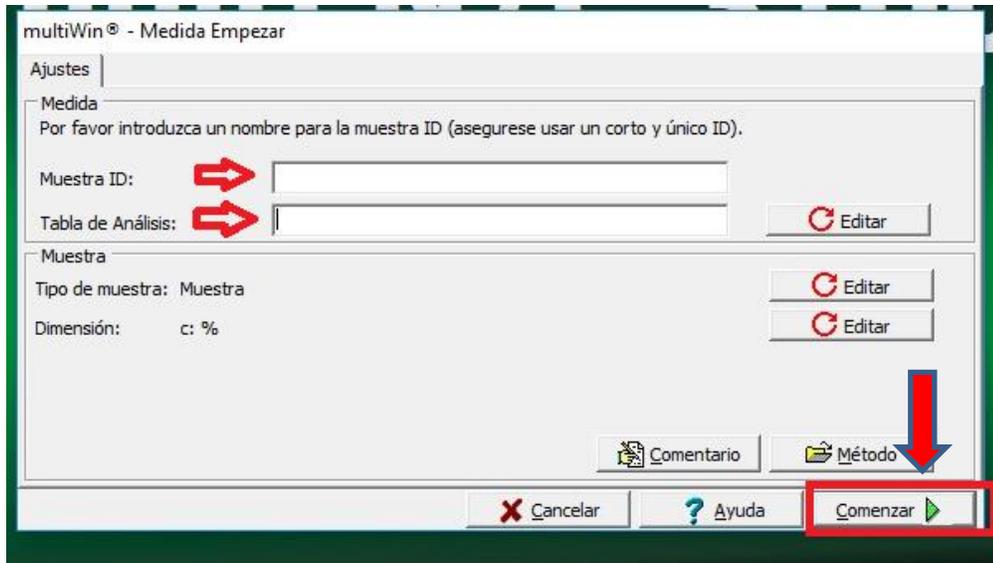


#### 5) Realizar lectura

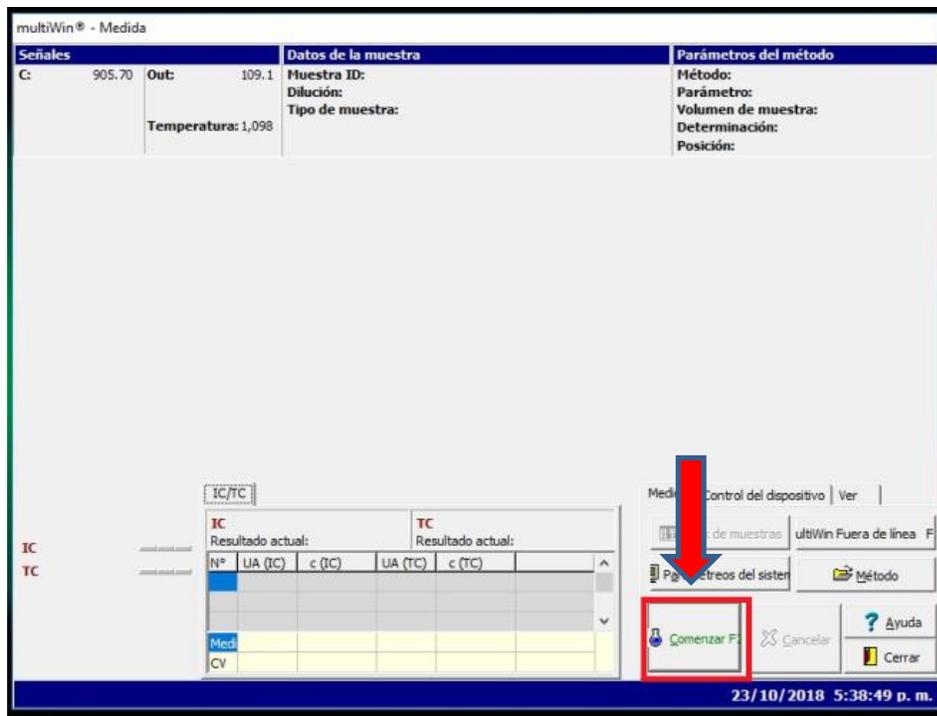
- En la parte inferior de la ventana principal dar clic en empezar la medida, se abrirá una nueva ventana.



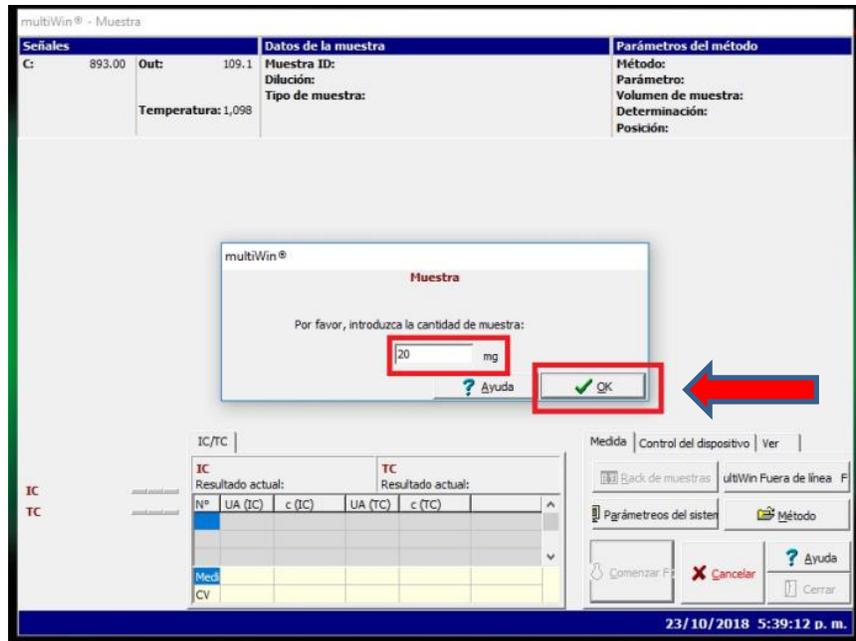
- Colocar el código de la muestra, nombrar la nueva tabla donde se guardarán los datos y dar click en comenzar.



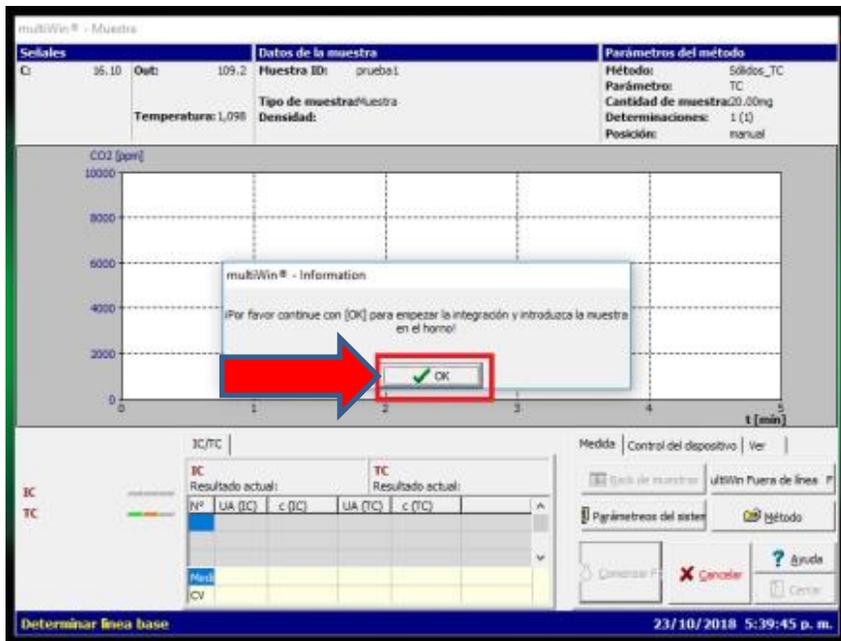
- Se abrirá una nueva ventana y dar click a la opción "Comenzar".

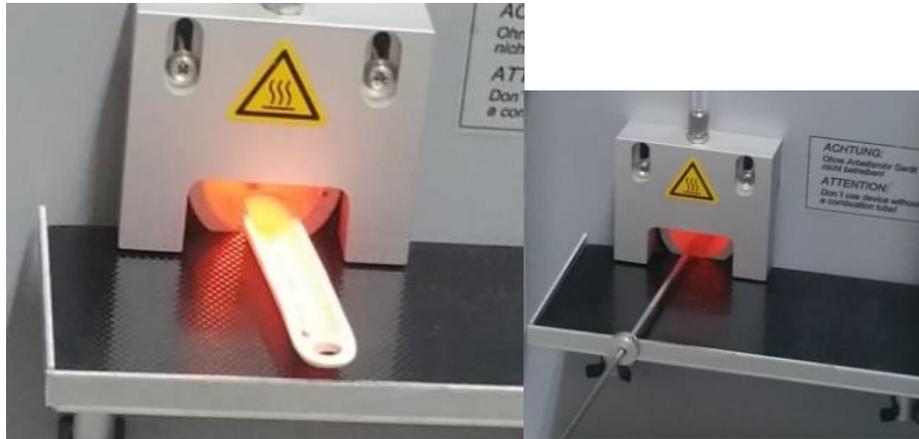


- Aparecerá una nueva ventana donde se colocará el peso de muestra en números y dar click en OK.



- Esperar unos segundos, saldrá una ventana emergente, al darle click en OK se debe de introducir la muestra de forma manual en el horno.





- Luego de unos minutos el equipo dará el resultado, apuntar el resultado y luego dar click en el icono de la esquina superior izquierda.

multiWin® - Evaluación - Informe de Análisis

Informe de Análisis    Exportar datos    Ayuda

Muestra ID: prueba1    Método

Parámetros de análisis: TC

Muestra    Resultado de análisis    Medida de curva

Cantidad de mues: 20.00mg

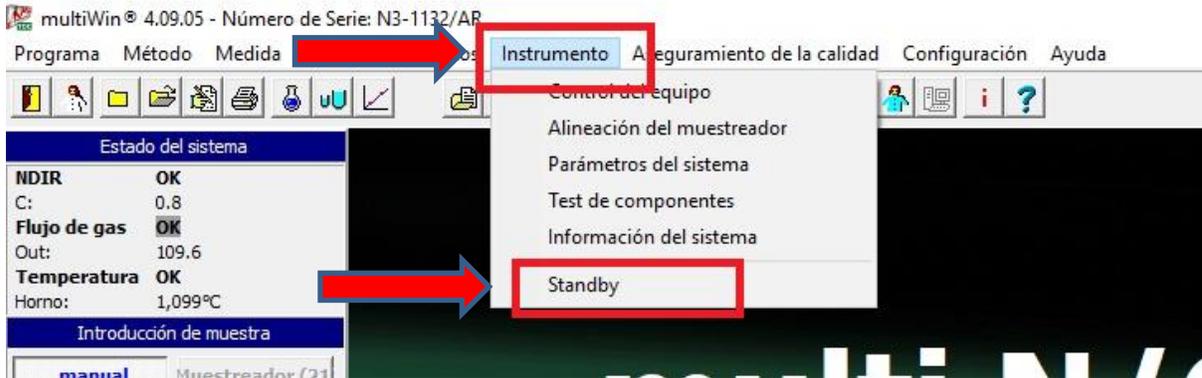
Resultados		Valores del blanco y calibración	
Integral:	5.36E4UA Rango!	Calibración de 30/11/2017 - Cal_Sólidos_TC_171130_1100	
Masa:	838.3µg	Regresión:	Regresión lineal [µg] $c = (k \cdot I + k_0) / V$
Concentración:	4.19%	Coefficientes:	$k_0 = 463.98$ $k_1 = 6.983E-3$
Desviación estándar:		Rango de calibración:	804,549 - 837,553UA
Coefficiente de variación:		Factor diario:	1
Estatus:	Medida terminada satisfactoriamente	Blanco de la navicilla:	0UA

Cambar    Guardar cambios

- Sacar la muestra del horno de la misma forma en que fue introducida, teniendo cuidado de tomarla con pinzas ya que esta caliente.
- Si se desea realizar más mediciones solo se deben repetir los pasos anteriores.

## 6) Modo standby del equipo

- Si se requiere hacer una pausa en la medición, colocar el equipo en Modo de Espera o Standby, para lo cual, primero dar click en la opción del menu superior que dice Instrumento y luego en la opción Standby.

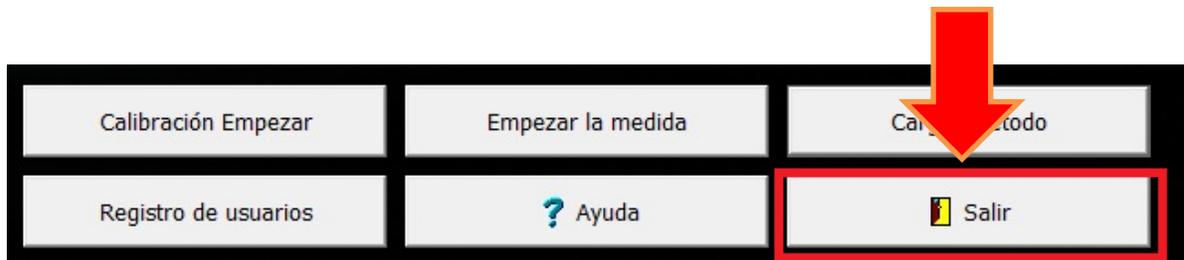


- Para salir del modo Standby, dar click a la opción Inicializar analizador y seguir los pasos anteriores (paso 2) para seguir con el análisis.



## 7) Apagado del equipo

- Cuando termine el trabajo, apagar el equipo, para ello dar click en la opción Salir, del menú inferior.



- Aparecerá una nueva ventana, en ella dar click en la opción Desconectar analizador y en la opción OK



- Se cerrará el Software del equipo. Se debe apagar primero el Módulo de Líquidos y luego el Modulo de Sólidos.
- No colocar el protector a los equipos si estos se encuentran calientes.
- Cerrar las válvulas de los gases de oxígeno y de oxígeno ultra puro.

## BIBLIOGRAFÍA

1. High performance TOC Analyzers multi N/C Series. (En línea) disponible en: [https://www.analytikjena.es/fileadmin/content/pdf\\_analytical\\_instrumentation/TOC\\_TOX/multi\\_nc\\_serie/spanisch/br\\_multiNC\\_es.pdf](https://www.analytikjena.es/fileadmin/content/pdf_analytical_instrumentation/TOC_TOX/multi_nc_serie/spanisch/br_multiNC_es.pdf) (2019, 4 de mayo).
2. Tech Note multi N/C Series: FR-NDIR detector. (En línea) disponible en: TOC Analysis: New Approaches to Detection–FR-NDIR Detector ([https://www.analytikjena.es/fileadmin/content/pdf\\_analytical\\_instrumentation/TOC\\_TOX/multi\\_nc\\_serie/english/TechNote\\_multiNC\\_0001\\_en.pdf](https://www.analytikjena.es/fileadmin/content/pdf_analytical_instrumentation/TOC_TOX/multi_nc_serie/english/TechNote_multiNC_0001_en.pdf)) (2019, 4 de mayo)

## **CAPITULO VI**

### **CONCLUSIONES**

## 6.0. CONCLUSIONES

1. Se georreferenciaron los sitios de muestreo en la finca Montealegre Orgánica y en la finca de PROCAFE con un dispositivo de posicionamiento global (GPS) para tener un control más preciso de los sitios muestreados y se identificaron los sitios con mayor similitud en edad de la plantación del café.
2. Según los sitios muestreados, la mayor concentración de carbono se encontró entre los surcos de café de la finca Montealegre Orgánica que es manejada en forma orgánica (23.6184 ton C/ha), debido al mayor contenido de materia orgánica.
3. La mayor concentración de nitrógeno total se encontró entre los surcos de la finca Montealegre Orgánica que es manejada en forma orgánica (0.7387%), lo cual se debe a que en suelos de manejo orgánico los microorganismos del genero *Annamoxglobus* son los encargados de fijar el nitrógeno en el suelo y actúan de manera más eficiente cuando no se ven afectados por el uso de plaguicidas ni fertilizantes sintéticos.
4. El mayor valor de la densidad aparente en la finca Montealegre Orgánico fue 0.1621 g/mL y en la finca de PROCAFE de 0.0260 g/mL, las cuales tienen una densidad baja, ya que la densidad aparente de un suelo mineral seco es normalmente entre 1.0 y 1.6 g/mL, por eso los suelos son porosos, bien aireados, con buen drenaje, lo que permite un buen desarrollo de raíces, debido a que los suelos ricos en carbono orgánico y algunas arcillas friables tienden a tener densidades bajas (menos de 1.0 g/mL).

5. Según los resultados obtenidos, la finca manejada de forma orgánica es la que presenta las mayores concentraciones de carbono y nitrógeno total tanto en las bandas de fertilización como entre los surcos de café, lo cual posiblemente es debido a la mayor cantidad de materia orgánica adicionada en forma de bocashi, compostaje, pulpa de café y abonos verdes, los cuales son descompuestos de manera eficiente por los microorganismos presentes en el suelo.
6. El manejo orgánico de la finca Montealegre Orgánico repercute favorablemente en las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo, favoreciendo la actividad microbiana y la descomposición y aprovechamiento de la materia orgánica, lo cual mejora la textura y estructura del suelo, la porosidad, circulación del aire, la infiltración de agua y favorece la retención de carbono y nitrógeno total.
7. Los productores y productoras de café en El Salvador tienen el potencial de recibir los beneficios del pago por servicios ambientales como un incentivo por proteger el suelo y por ser sumideros de carbono, que beneficia a la sociedad en general.
8. El manual de operación para el módulo de sólidos del equipo Analytik Jena Multi N/C modelo 3100 y módulo de sólidos HT1300, permitirá el uso del equipo en forma más sencilla, práctica y correcta.

## **CAPITULO VII**

### **RECOMENDACIONES**

## 7.0 RECOMENDACIONES

1. Realizar investigaciones para determinar concentraciones de carbono y de nitrógeno total en suelos cafetaleros en la época seca y en la época lluviosa, para conocer la influencia de estas en la concentración de dichos elementos.
2. Cuando se realicen investigaciones para determinar concentraciones de carbono y nitrógeno total en fincas de café, tomar en cuenta la topografía de los terrenos.
3. Realizar investigaciones para determinar concentraciones de carbono y de nitrógeno total en otros cultivos y tipo de suelos.
4. Los productores y productoras de café en El Salvador deben gestionar el poder recibir los beneficios del pago por servicios ambientales como un incentivo por proteger el suelo y por ser sumideros de carbono, que beneficia a la sociedad en general.
5. La Universidad de El Salvador debe de promocionar que en el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas se ofrece el servicio de determinación de carbono en suelos.

## BIBLIOGRAFIA

1. Acevedo D., Alvarez M., Hernandez M. 2011, Concentracion de nitrógeno en suelo por efecto de manejo organico y convencional (en línea), consultado el 6 de enero de 2020, disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v29n3/2395-8030-tl-29-03-00325.pdf>
2. Alvarado J., Andrade H., Segura M. 2013 Almacenamiento de carbono orgánico en suelos en sistema de producción de café (*Coffea arabica L.*) en el municipio de libano Colombia (en línea), consultado el 8 de enero de 2020, disponible.en: <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v16n1/v16n1a02.pdf>
3. Cárdenas EA. 2003. Evaluación de una alternativa para disminuir el impacto que causan los fertilizantes nitrogenados en las pasturas de clima frío en Colombia. Universidad Nacional de Colombia. P 7-11.
4. Ciampitti IA., Ciarlo EA., Conti M. 2005. Emisiones de óxido nitroso en un cultivo de soja [*Glycine max (L.) Merrill*]: efecto de la inoculación y de la fertilización nitrogenada. Ciencia del Suelo. 23(2). P 123-131.
5. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación, país). Año. Consultado 25 de octubre de 2018. Cambio climático <http://www.fao.org/docrep/007/ad818s/ad818s03.html>.
6. Gomez J. 2017, Actividad microbiológica y biomasa microbiana en suelos cafetaleros de los andes venezolanos (en línea), consultado el 7 de enero de 2020, disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792018000100013&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792018000100013&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

7. Hayatsu M., Tago K., Saito M. 2008. Various players in the nitrogen cycle: Diversity and functions of the microorganisms involved in nitrification and denitrification. *Soil Science and Plant Nutrition*. P 33-45.
8. Instituto Técnico de Metrología. Consultado 25 de agosto de 2018. Gases de efecto invernadero conceptos básicos, <http://www.insmet.cu/emisiones/pdf/Conceptos%20b%C3%A1sicos.pdf>
9. Inventario Nacional de Bosques, El Salvador. 2018 (en línea). El Salvador. Consultado 17 nov 2018. Disponible.en: <http://www.marn.gob.sv/el-marn-presenta-el-primer-inventario-nacional-de-bosque-de-el-salvador/>
10. Laínez, C. (2011). Evaluación de la sostenibilidad de fincas de café administradas por Tropical El Salvador durante el periodo 2004-2009 (tesis para maestría en Agricultura sostenible). Universidad de El Salvador. P 1-2
11. MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador). 2013. Estrategia Nacional de Recursos Hídricos. (en línea). El Salvador. Consultado 11 abr. 2016. Disponible.en: <http://www.marn.gob.sv/index.php/c177-estrategia-nacional-delmedio-ambiente/estrategia-nacional-de-recursos-hidricos-2/>
12. MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador). 2013. Estrategia Nacional de Biodiversidad. (en línea). El Salvador. Consultado 11 abr. 2016. Disponible.en: <https://www.cbd.int/doc/world/sv/sv-nbsap-v2-es.pdf>

13. MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador). 2012. Ley Forestal. San Salvador, El Salvador. P 1-3, 45.
14. Melgar K., Nieto M. 2017. Almacenamiento de carbono en sistemas con diferentes usos de suelo en el municipio de Comalapa, Chalatenango, El Salvador (Ingeniera Agrónomo). Universidad de El Salvador. P 11-12.
15. Mora S., Gavi F, Peña JJ, Pérez J, Tijerina L, Vaquera H. 2007. Desnitrificación de un fertilizante de lenta liberación y urea + fosfato mono-amónico aplicados a trigo irrigado con agua residual o de pozo. *Rev Int Contam Ambient.* P 25-33.
16. Naciones Unidas, Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático 1992. P 3.
17. Orellana G., Sandoval, L., Linares, G., García, N. E. Tamariz, J. V. 2012. Descripción de la dinámica de carbono en suelos forestales mediante un modelo de reservorios. *Avances en Ciencias e Ingeniería:* P 123-135.
18. Orozco H. 1999. Biología del nitrógeno, conceptos básicos sobre sus transformaciones biológicas. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. P 70-72, 81-84.
19. Paolini, J. (2017) Actividad microbiológica y biomasa microbiana en suelos cafetaleros de los Andes venezolanos. *Revista Terra Latinoamericana*, 36(1). P 17.
20. Pérez López, C. 2005. Muestreo estadístico: conceptos y problemas resueltos. España: Pearson Educación. P 25-30.

21. PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) 2012 Objetivos de Desarrollo Sostenible (En línea). Consultado Domingo 6 de enero de 2019 <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/background/>
22. PROCAFE (Fundación Salvadoreña para Investigaciones del Café). 2004. Manual de manejo de cafetales y árboles de sombra. P 2-4.
23. Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal, v.8 n.1 Temuco Chile 2008 (en línea), consultado 10 de enero de 2020, disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S071827912008000100006>.
24. Rubio, G. 2010. La densidad aparente en suelos (en línea). España. Consultado 5 marzo de 2020. Disponible en <http://digital.csic.es>
25. Sandoval M., Stolpe, N., Zagal, E., Mardones, M. & Montano, J. (2003). El secuestro de carbono en la agricultura y su importancia con el calentamiento global. *Theoria*. 12: P 65-71.
26. Singh J. 2007. The role of inhibitors in mitigating nitrogen losses from cattle urine and nitrogen fertilizer inputs in pastures. (Palmerston North, New Zealand) Massey University. P 12-20.
27. USDA Natural Resource Conservation Service "Soil quality indicators bulk density", consultado el 1 de Marzo de 2020. Disponible en [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_053256.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_053256.pdf)

## **ANEXOS**

## **ANEXO N° 1**

**ZONAS CAFETALERAS DE EL SALVADOR E IDENTIFICACIÓN DE LOS  
PUNTOS DE MUESTREO**





Universidad de El Salvador  
Facultad de Química y Farmacia



Determinación de las concentraciones de carbono y nitrógeno total en suelos cafetaleros de una finca manejada de forma convencional y otra de forma orgánica.

Mapa N° 1

Ubicación de puntos de muestreo en finca Jardín de Variedades de PROCAFE.

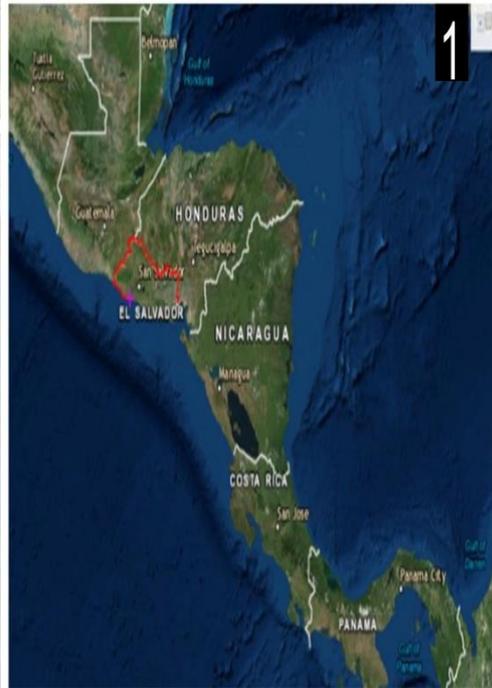
#### LEYENDA



Puntos de muestreo de suelos para determinación de carbono y nitrógeno total.



Puntos de muestreo de suelos para determinación de densidad.



**Figura N° 14.** Ubicación de los puntos de muestreo en la finca del Jardín de Variedades de PROCAFE.

Donde:

1. País: El Salvador, 2. Departamento: La Libertad, 3. Ciudad: Santa Tecla.
4. Lugar de muestreo: Finca del Jardín de Variedades de PROCAFE.



Universidad de El Salvador  
Facultad de Química y Farmacia



Determinación de las concentraciones de carbono y nitrógeno total en suelos cafetaleros de una finca manejada de forma convencional y otra de forma orgánica.

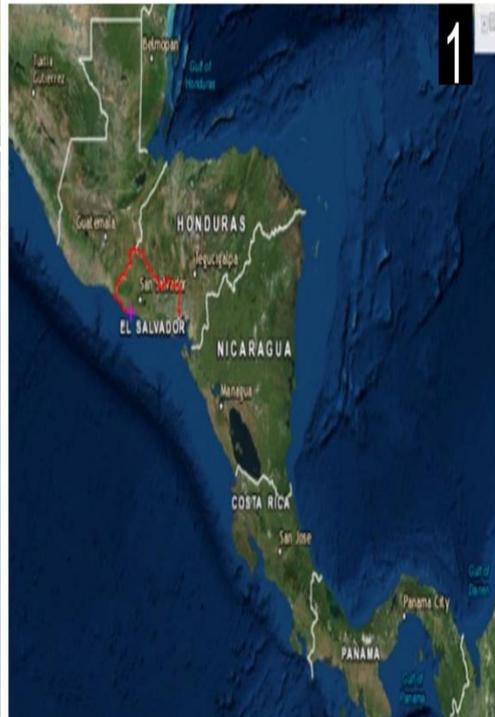
Mapa N° 2

Ubicación de puntos de muestreo en finca Montealegre Orgánico.

LEYENDA

 Puntos de muestreo de suelos para determinación de carbono y nitrógeno total.

 Puntos de muestreo de suelos para determinación de densidad.



**Figura N° 15.** Ubicación de los puntos de muestreo en la finca Montealegre Orgánico.

Donde:

1. País: El Salvador, 2. Departamento: La Libertad, 3. Ciudad: Teotepeque.
4. Lugar de muestreo: Finca Montealegre Orgánico.

**ANEXO Nº 2**  
RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

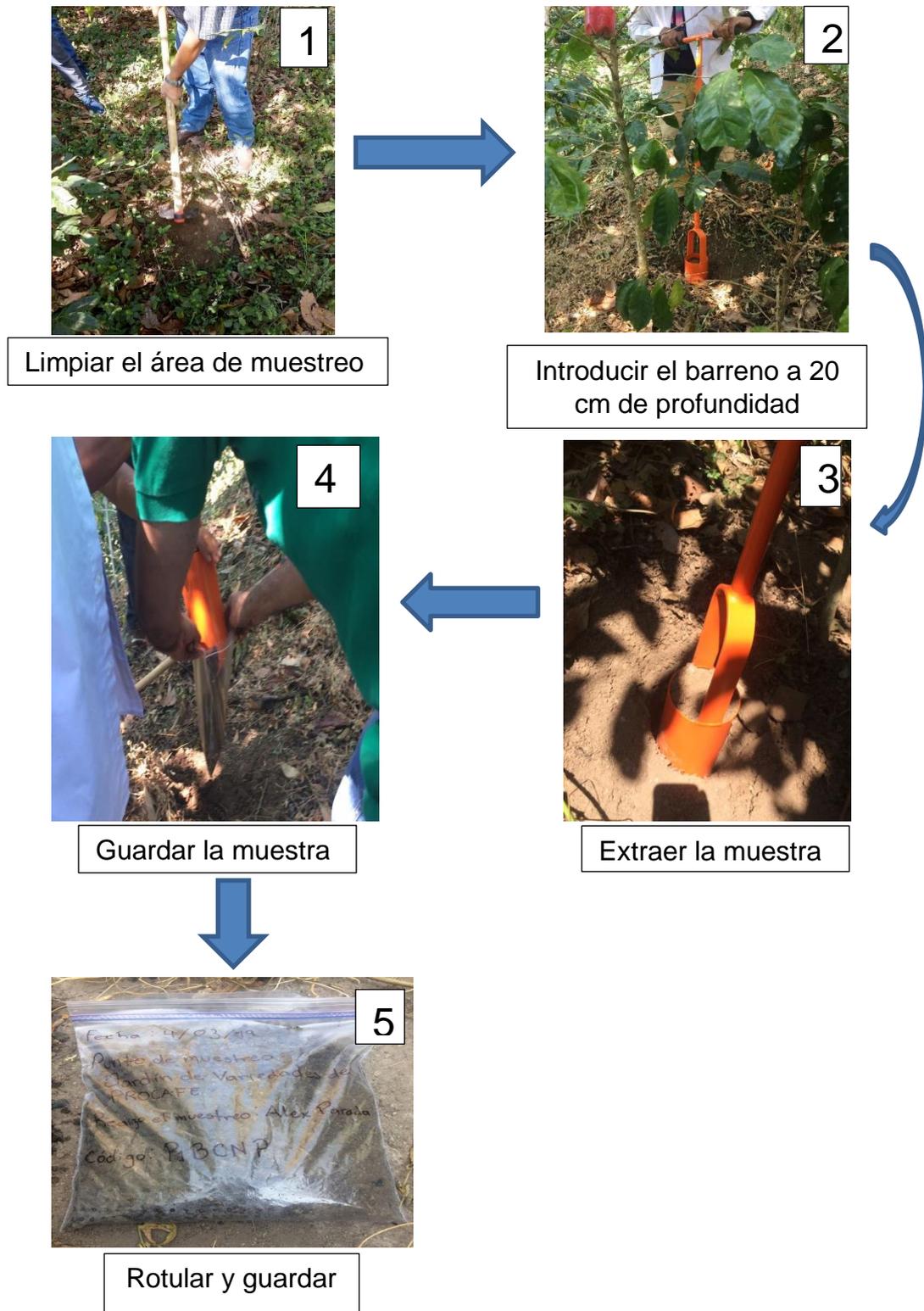
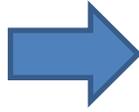


Figura Nº 16. Muestreo de suelo para determinación de carbono y nitrógeno total.



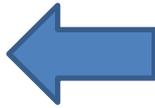
Colocar el cilindro en el barreno



Introducir el barreno



Tapar el cilindro y almacenar



Retirar el cilindro con la muestra de suelo del barreno

**Figura N° 17.** Muestreo de suelo para determinación de la densidad.

**ANEXO Nº 3**

**TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE SUELOS**



Recepción de muestras de suelos



Colocar las muestras de suelo en bandejas de aluminio para secado



Realizar el cuarteo



Secar las muestra a  $40 \pm 5^\circ \text{C}$  por 48 horas



Pasar la muestra de suelo por tamiz de 2 mm



Realizar el cuarteo

**Figura N° 18.** Tratamiento de las muestras de suelo para análisis de carbono y nitrógeno total.



Pasar la muestra de suelo por tamiz de 0.5 mm

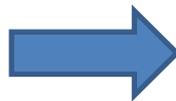


Guardar las muestras tamizadas en tubos Falcon para análisis de carbono y nitrógeno total

**Figura N° 18.** Continuación.



Calentar cilindros a  $105 \pm 5^\circ \text{C}$  por 24 horas



Hasta peso constante

**Figura N° 19.** Tratamiento de las muestras de suelo para análisis de la densidad.

## **ANEXO Nº 4**

**MATERIALES, CRISTALERÍA, EQUIPO, REACTIVOS Y  
PREPARACIÓN DE REACTIVOS PARA LA DETERMINACIÓN DE  
CARBONO, NITRÓGENO TOTAL Y DENSIDAD APARENTE**

## MATERIALES Y CRISTALERÍA

- Agitadores de vidrio
- Balones volumétricos 1,000 mL
- Bolsas plásticas tipo Ziploc
- Buretas de 10 mL
- Etiquetas de papel
- Espátula de plástico
- Guantes
- Marcador permanente
- Mascarilla para gases
- Papel glassine
- Pipetas pasteur
- Probetas 25 mL y 50 mL
- Vaso de precipitado de 50, 100, 500, 600, 1,000, 2,000 mL
- Pizeta plástica
- Papel toalla

## EQUIPOS

- Agitador magnético
- Balanza Analítica
- Hot plate
- Aparato digestor para Kjeldahl
- Aparato de destilación para Kjeldahl

## REACTIVOS

- Ácido Clorhídrico concentrado
- Ácido Sulfúrico concentrado
- Alcohol etílico 95%
- Mezcla catalizadora
- Solución de Ácido Clorhídrico 0.1 N
- Solución de Ácido Bórico 4%
- Solución de Hidróxido de Sodio 35%

- Rojo de metilo
- Verde de bromocresol

#### PREPARACION DE REACTIVOS

##### - Preparación de 3,000 mL de solución de Ácido Clorhídrico (HCL) 0.1 N

1. Recibir en balón volumétrico de 1,000 mL la cantidad de 3.06 mL de Ácido Clorhídrico concentrado con ayuda de una bureta de 10 mL.
2. Aforar el balón volumétrico con agua destilada.
3. Tapar y homogenizar.
4. Realizar el proceso por triplicado.

##### - Preparación de 500 mL de solución indicadora (rojo de metilo en verde de bromocresol 0.1%)

- 1) Pesar 0.5 g de verde de bromocresol en un vaso de precipitado de 600 mL.
- 2) Disolver con 500 mL de alcohol etílico 95%.
- 3) Pesar 0.5 g de rojo de metilo en un vaso de precipitado de 600 mL.
- 4) Disolver con 500 mL de alcohol etílico 95%.
- 5) Mezclar 415 mL de verde de bromocresol con 85 mL de rojo de metilo y almacenar en frasco ámbar.

##### - Preparación de 2,000 mL de Ácido Bórico (4 P/V)

1. Pesar 40 g de ácido bórico en vaso de precipitado de 600 mL.
2. Disolver con 500 mL de agua destilada caliente.
3. Transferir a vaso de precipitado de 1,000 mL y agregar el volumen restante de agua destilada.
4. Realizar por duplicado y guardar la solución en frasco ámbar.

##### - Preparación de 4,000 mL de Hidróxido de Sodio (NaOH) (35% P/V)

- 1) Pesar 700 g de perlas de hidróxido de sodio en un vaso de precipitado de 2,000 mL.
- 2) Agregar 2,000 mL de agua destilada y disolver con ayuda de un agitador magnético.

- 3) Transferir la solución a un frasco plástico y sellarlo.
- 4) Realizar el proceso por duplicado.

**- Preparación de mezcla catalizadora ( $K_2SO_4 + CuSO_4 \cdot 5H_2O$ )**

1. Pesar 1,000 g de  $K_2SO_4$  en un beaker de 1,000 mL.
2. Transferir a un envase plástico limpio y seco de capacidad de 2 L.
3. Pesar 1,000 g de  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  en un beaker de 1,000 mL.
4. Transferir a un envase plástico limpio y seco de capacidad de 2 L.
5. Mezclar fuertemente el envase plástico con la mezcla por 10 minutos, rotular y guardar.

**EQUIPOS PARA DETERMINACIÓN DE DENSIDAD APARENTE**

- Balanza analítica
- Barreno
- Cilindro metálico
- Pie de rey

**EQUIPO PARA DETERMINACIÓN DE CARBONO**

- Analytk Jena 3100 con módulo para muestras sólidas HT 1300

**- Reactivos**

- Estándar de Carbonato de Calcio 98%

**- Calibración del equipo**

- Precalentar el horno a  $1,190^\circ C$ .
- Pesar en porta muestra de cerámica 25 mg, 50 mg, 75 mg y 100 mg de Carbonato de calcio 98% de pureza.
- Realizar la lectura en el equipo de cada una de las muestras.
- Ajustar los parámetros del equipo por medio de la curva de calibración.

**ANEXO Nº 5**

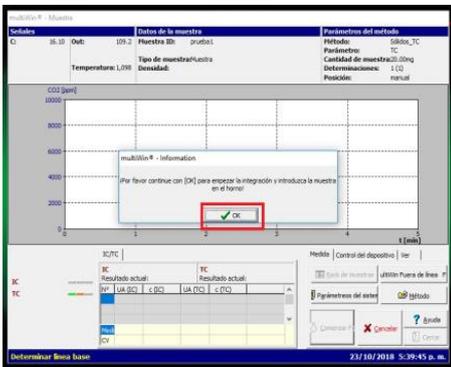
**DETERMINACIÓN DE CARBONO Y NITRÓGENO TOTAL**



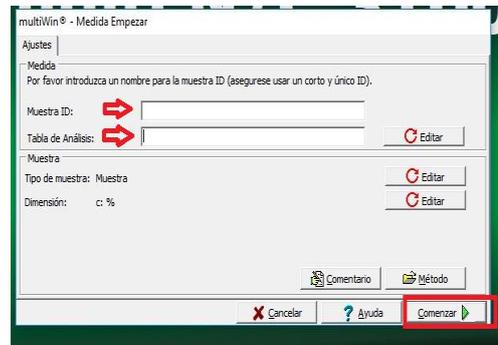
Pesar 20 mg de la muestra de suelo



Precalentar el horno del equipo a 1,200° C



Ajustar los parámetros del equipo por medio de la curva de calibración.

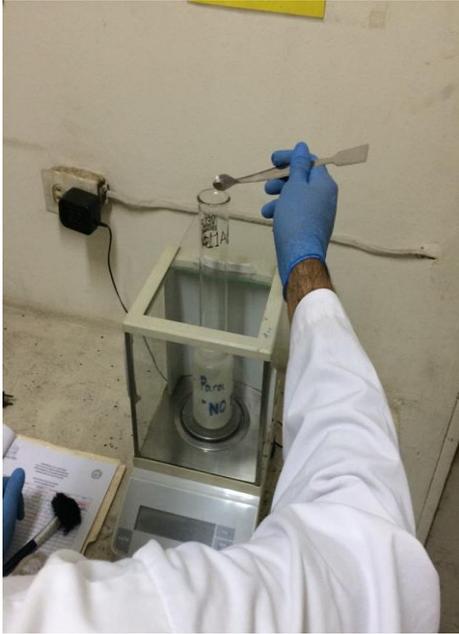


Realizar la lectura en el equipo



Hacer la lectura del porcentaje de carbono de cada muestra.

Figura Nº 20. Determinación de carbono.



Pesar 0.3 g de suelo en tubo tecedor de 250 mL.



Agregar 12 mL de ácido sulfúrico concentrado y 3 g de mezcla catalizadora



Retira tubos del equipo de digestión y enfriar con 80 mL de agua destilada.



Colocar los tubos en el equipo de digestión Kjeldhal durante una hora

Figura Nº 21. Determinación de nitrógeno total.



Colocar los tubos en el equipo de destilación junto con el Erlenmeyer que contiene los 25 mL del indicador



Recibir el destilado en el Erlenmeyer y observar un cambio de color de rojo a verde turquesa



Observar cambio de color del indicador de verde turquesa a rojo



Titular el destilado obtenido con solución de ácido clorhídrico 0.1 N

Figura N° 21. Continuación.

### **Fórmula para Calcular el % de Nitrogeno total**

$$\% \text{ Nitrógeno} = \frac{\text{mL HCl muestra} \times \text{N de HCl} \times 0.014}{\text{Peso muestra (g)}} \times 100$$

0.014 = Miliequivalente de nitrógeno

## **ANEXO Nº 6**

LECTURAS OBTENIDAS DE CARBONO POR COMBUSTIÓN  
OXIDATIVA DE SÓLIDOS, NITRÓGENO TOTAL POR KJELDHAL,  
DENSIDAD POR EL MÉTODO DEL CILINDRO Y RESULTADOS DE  
CONCENTRACIÓN

**Tabla N° 6.** Concentración de carbono en suelos recolectados de la banda de fertilización de la finca de PROCAFE.

Sitio de muestreo	Código	Lectura	Peso de muestra (mg)	Porcentaje de carbono (%C)	Concentración (ton C/ha)
Banda de fertilización	P1BCNP	1	20.5	5.50	2.2280
		2	21.7	5.35	2.2256
		3	20.6	5.43	2.2589
Finca del Jardín de Variedades de PROCAFE	P2BCNP	1	20.2	4.98	2.0717
		2	21.0	4.79	1.9926
		3	20.3	4.88	2.0301
	P3BCNP	1	21.9	4.31	1.7930
		2	20.2	4.50	1.8720
		3	20.5	4.40	1.8304
	P4BCNP	1	21.2	3.95	1.6432
		2	20.1	4.14	1.7222
		3	20.5	4.04	1.6806
	P5BCNP	1	20.4	4.29	1.7846
		2	20.1	4.45	1.8512
		3	20.2	4.37	1.8179
	P6BCNP	1	20.1	5.20	2.1632
		2	20.2	5.25	2.1840
		3	20.3	5.22	2.1715
	P7BCNP	1	20.2	5.83	2.4253
		2	20.3	5.67	2.3587
		3	20.1	5.75	2.3920
	P8BCNP	1	20.3	4.85	2.0176
		2	20.2	4.88	2.0301
		3	20.3	4.86	2.0218
	P9BCNP	1	20.3	5.17	2.1507
		2	20.6	5.14	2.1382
		3	20.2	5.15	2.1424
	P10BCNP	1	20.4	5.02	2.0883
		2	20.0	4.94	2.0550
		3	20.2	4.98	2.0717
	P11BCNP	1	20.5	4.77	1.9843
		2	20.1	4.88	2.0301
		3	20.3	4.82	2.0051
	P12BCNP	1	20.8	4.57	1.9011
		2	20.1	4.64	1.9302
		3	20.4	4.61	1.9178
	P13BCNP	1	20.1	4.80	1.9968
		2	20.5	4.86	2.0218
		3	20.3	4.83	2.0093

**Tabla N° 7.** Concentración de carbono en suelos recolectados entre los surcos de café de la finca de PROCAFE.

Sitio de muestreo	Código	Lectura	Peso de muestra (mg)	Porcentaje de carbono (%C)	Concentración (ton C/ha)
Entre los surcos de café	P1SCNP	1	20.8	6.12	2.5459
		2	20.0	6.30	2.6208
		3	20.3	6.21	2.5834
Finca del Jardín de Variedades de PROCAFE	P2SCNP	1	20.4	6.60	2.7456
		2	20.8	6.46	2.6874
		3	20.6	6.53	2.7165
	P3SCNP	1	20.5	5.42	2.2547
		2	20.1	5.90	2.4544
		3	20.3	5.66	2.3546
	P4SCNP	1	20.0	5.29	2.2006
		2	20.1	5.10	2.1216
		3	20.2	5.20	2.1632
	P5SCNP	1	20.3	4.97	2.0675
		2	21.0	4.84	2.0134
		3	20.5	4.90	2.0384
	P6SCNP	1	20.5	5.26	2.1882
		2	20.2	5.38	2.2381
		3	20.3	5.32	2.2131
	P7SCNP	1	20.3	5.17	2.1507
		2	20.1	5.48	2.2797
		3	20.2	5.33	2.2173
	P8SCNP	1	20.4	5.99	2.4918
		2	20.7	5.63	2.3421
		3	20.5	5.81	2.4170
	P9SCNP	1	20.2	5.56	2.3130
		2	20.3	5.70	2.3712
		3	20.4	5.63	2.3421
	P10SCNP	1	20.1	5.63	2.3421
		2	20.5	5.35	2.2256
		3	20.2	5.49	2.2838
	P11SCNP	1	20.1	5.21	2.1674
		2	20.3	5.26	2.1882
		3	20.2	5.23	2.1757
	P12SCNP	1	20.0	5.65	2.3504
		2	20.2	5.79	2.4086
		3	20.1	5.72	2.3795
	P13SCNP	1	20.4	5.60	2.3296
		2	21.0	5.80	2.4128
		3	20.5	5.70	2.3712

**Tabla Nº 8.** Concentración de carbono en suelos recolectados de la banda de fertilización de la finca Montealegre Orgánico.

Sitio de muestreo	Código	Lectura	Peso de muestra (mg)	Porcentaje de carbono (%C)	Concentración (ton C/ha)
Banda de fertilización	P1BCNM	1	21.1	4.21	12.9752
		2	20.6	4.36	13.4375
		3	20.3	4.28	13.1910
Finca Montealegre Orgánico	P2BCNM	1	20.7	5.03	15.5052
		2	20.4	5.16	15.9031
		3	20.3	5.09	15.6874
	P3BCNM	1	20.8	5.49	16.9202
		2	20.2	5.49	16.9202
		3	20.2	5.49	16.9202
	P4BCNM	1	20.4	6.73	20.7419
		2	20.0	6.70	20.6494
		3	20.0	6.71	20.6802
	P5BCNM	1	20.7	6.33	19.5091
		2	20.6	6.40	19.7248
		3	20.3	6.36	19.6015
	P6BCNM	1	20.1	5.17	15.9339
		2	20.1	5.30	16.3346
		3	20.7	5.23	16.1189
	P7BCNM	1	20.1	6.44	19.8481
		2	20.1	6.77	20.8651
		3	20.5	6.60	20.3412
	P8BCNM	1	20.3	7.22	22.2520
		2	20.7	7.53	23.2075
		3	20.2	7.37	22.7143
	P9BCNM	1	20.9	5.57	17.1667
		2	21.1	5.73	17.6599
		3	20.3	6.65	20.4953
	P10BCNM	1	20.6	7.79	24.0088
		2	21.4	7.33	22.5911
		3	20.5	7.56	23.2999
	P11BCNM	1	20.6	6.00	18.4920
		2	20.0	6.21	19.1392
		3	20.7	6.10	18.8002
P12BCNM	1	20.9	6.05	18.6461	
	2	20.2	5.93	18.2763	
	3	20.3	5.99	18.4612	
P13BCNM	1	20.0	5.89	18.1530	
	2	20.1	5.75	17.7215	
	3	21.0	5.83	17.9681	

**Tabla Nº 9.** Concentración de carbono en suelos recolectados entre los surcos de café de la finca Montealegre Orgánico.

Sitio de muestreo	Código	Lectura	Peso de muestra (mg)	Porcentaje de carbono (%C)	Concentración (ton C/ha)
Entre los surcos de café	P1SCNM	1	20.2	4.94	15.2251
		2	20.4	4.90	15.1018
		3	20.3	4.92	15.1634
Finca Montealegre Orgánico	P2SCNM	1	20.1	5.22	16.0880
		2	20.6	5.02	15.4716
		3	20.6	5.12	15.7798
	P3SCNM	1	21.3	4.37	13.4683
		2	20.3	4.52	13.8998
		3	20.4	4.44	13.6841
	P4SCNM	1	20.3	6.48	19.9714
		2	20.2	6.35	19.5707
		3	21.0	6.41	19.7556
	P5SCNM	1	20.8	7.60	23.4232
		2	21.0	7.30	22.4986
		3	20.0	7.45	22.9609
	P6SCNM	1	20.0	5.27	16.2421
		2	20.2	5.26	16.2113
		3	20.5	5.26	16.2113
	P7SCNM	1	20.5	4.51	13.8998
		2	20.1	4.56	14.0539
		3	20.2	4.53	13.9615
	P8SCNM	1	21.2	6.27	19.3241
		2	20.1	6.34	19.5399
		3	20.1	6.30	19.4166
	P9SCNM	1	20.2	5.03	15.5025
		2	20.7	5.10	15.7182
		3	20.4	5.06	15.5949
	P10SCNM	1	21.6	7.67	23.6389
		2	20.6	7.66	23.6081
		3	20.6	7.66	23.6081
	P11SCNM	1	20.4	4.90	15.1018
		2	20.7	4.86	14.9785
		3	20.2	4.88	15.0402
	P12SCNM	1	20.6	6.65	20.4953
		2	20.1	6.69	20.6186
		3	20.3	6.67	20.5569
	P13SCNM	1	20.4	6.01	18.5228
		2	20.5	6.80	20.9576
		3	21.0	6.04	18.6153

**Tabla N° 10.** Concentración de nitrógeno total en suelos recolectados de la banda de fertilización de la finca de PROCAFE.

Sitio de muestreo	Código	Lectura	Peso de muestra (g)	Volumen gastado (HCl 0.1 N) (mL)	Concentración (% N)
Banda de fertilización	P1BCNP	1	0.305	0.50	0.2957
		2	0.303	0.48	0.2857
		3	0.304	0.49	0.2907
Finca del Jardín de Variedades de PROCAFE	P2BCNP	1	0.307	0.97	0.5699
		2	0.302	0.90	0.5375
		3	0.304	0.94	0.5577
	P3BCNP	1	0.307	0.73	0.4289
		2	0.301	0.70	0.4195
		3	0.304	0.72	0.4272
	P4BCNP	1	0.317	0.47	0.2674
		2	0.306	0.43	0.2535
		3	0.311	0.45	0.2610
	P5BCNP	1	0.312	0.57	0.3295
		2	0.314	0.55	0.3159
		3	0.313	0.56	0.3227
	P6BCNP	1	0.308	0.67	0.3924
		2	0.308	0.65	0.3807
		3	0.308	0.61	0.3572
	P7BCNP	1	0.304	0.94	0.5577
		2	0.304	0.86	0.5103
		3	0.304	0.90	0.5340
	P8BCNP	1	0.303	0.51	0.3036
		2	0.303	0.63	0.3750
		3	0.303	0.57	0.3393
	P9BCNP	1	0.302	0.68	0.4061
		2	0.303	0.72	0.4286
		3	0.303	0.70	0.4167
	P10BCNP	1	0.309	0.71	0.4144
		2	0.310	0.73	0.4247
		3	0.309	0.72	0.4203
	P11BCNP	1	0.301	0.64	0.3835
		2	0.300	0.52	0.3126
		3	0.300	0.58	0.3487
	P12BCNP	1	0.305	0.60	0.3548
		2	0.306	0.53	0.3124
		3	0.305	0.56	0.3312
	P13BCNP	1	0.302	0.65	0.3882
		2	0.303	0.60	0.3572
		3	0.300	0.63	0.3788

**Tabla N° 11.** Concentración de nitrógeno total en suelos recolectados entre los surcos de café de la finca de PROCAFE.

Sitio de muestreo	Código	Lectura	Peso de muestra (g)	Volumen gastado (HCl 0.1 N) (mL)	Concentración (% N)
Entre los surcos de café	P1SCNP	1	0.303	1.08	0.6429
		2	0.302	0.97	0.5793
		3	0.303	1.03	0.6131
Finca del Jardín de Variedades de PROCAFE	P2SCNP	1	0.301	0.94	0.5633
		2	0.310	0.93	0.5411
		3	0.305	0.94	0.5559
	P3SCNP	1	0.304	0.91	0.5399
		2	0.307	0.87	0.5111
		3	0.305	0.89	0.5263
	P4SCNP	1	0.303	0.86	0.5171
		2	0.310	0.85	0.4946
		3	0.306	0.85	0.5010
	P5SCNP	1	0.312	0.75	0.4336
		2	0.300	0.66	0.3968
		3	0.306	0.71	0.4185
	P6SCNP	1	0.303	0.80	0.4762
		2	0.303	0.72	0.4286
		3	0.303	0.76	0.4524
	P7SCNP	1	0.303	0.77	0.4584
		2	0.309	0.76	0.4436
		3	0.306	0.77	0.4539
	P8SCNP	1	0.313	0.75	0.4322
		2	0.304	0.81	0.4806
		3	0.308	0.78	0.4568
	P9SCNP	1	0.302	0.82	0.4897
		2	0.303	0.73	0.4346
		3	0.302	0.77	0.4599
	P10SCNP	1	0.300	0.69	0.4149
		2	0.304	0.72	0.4272
		3	0.302	0.70	0.4181
	P11SCNP	1	0.301	0.63	0.3775
		2	0.302	0.66	0.3942
		3	0.302	0.64	0.3822
	P12SCNP	1	0.304	0.68	0.4035
		2	0.305	0.66	0.3903
		3	0.304	0.67	0.3975
	P13SCNP	1	0.304	0.78	0.4628
		2	0.302	0.76	0.4539
		3	0,303	0.77	0.4534

**Tabla N° 12.** Concentración de nitrógeno total en suelos recolectados de la banda de fertilización de la finca Montealegre Orgánico.

Sitio de muestreo	Código	Lectura	Peso de muestra (g)	Volumen gastado (HCl 0.1 N) (mL)	Concentración (% N)
Banda de fertilización	P1BCNM	1	0.302	0.47	0.2807
		2	0.304	0.54	0.3204
		3	0.303	0.50	0.2976
Finca Montealegre Orgánico	P2BCNM	1	0.300	0.66	0.3968
		2	0.301	0.70	0.4195
		3	0.300	0.68	0.4088
	P3BCNM	1	0.305	0.76	0.4494
		2	0.306	0.66	0.3890
		3	0.305	0.71	0.4199
	P4BCNM	1	0.311	1.00	0.5800
		2	0.307	1.09	0.6404
		3	0.309	1.04	0.6071
	P5BCNM	1	0.301	0.64	0.3835
		2	0.306	0.69	0.4067
		3	0.303	0.66	0.3929
	P6BCNM	1	0.300	0.91	0.5471
		2	0.303	1.00	0.5953
		3	0.302	0.95	0.5674
	P7BCNM	1	0.303	1.10	0.6548
		2	0.301	1.06	0.6352
		3	0.302	1.08	0.6450
	P8BCNM	1	0.300	0.89	0.5351
		2	0.307	0.80	0.4700
		3	0.303	0.84	0.5000
	P9BCNM	1	0.303	0.94	0.5596
		2	0.300	0.93	0.5591
		3	0.300	0.93	0.5591
	P10BCNM	1	0.304	1.13	0.6705
		2	0.308	1.16	0.6793
		3	0.306	1.14	0.6720
	P11BCNM	1	0.301	1.00	0.5992
		2	0.315	1.00	0.5726
		3	0.308	1.00	0.5856
	P12BCNM	1	0.301	0.79	0.4734
		2	0.301	0.83	0.4974
		3	0.301	0.81	0.4854
	P13BCNM	1	0.305	1.15	0.6801
		2	0.303	1.16	0.6905
		3	0.301	1.17	0.7011

**Tabla N° 13.** Concentración de nitrógeno total en suelos recolectados entre los surcos de café de la finca Montealegre Orgánico.

Sitio de muestreo	Código	Lectura	Peso de muestra (g)	Volumen gastado (HCl 0.1 N) (mL)	Concentración (% N)
Entre los surcos de café	P1BCNS	1	0.307	0.78	0.4583
		2	0.300	0.88	0.5291
		3	0.304	0.83	0.4925
Jardín de Variedades de PROCAFE	P2BCNS	1	0.303	0.81	0.4822
		2	0.310	1.03	0.5993
		3	0.302	0.92	0.5495
	P3BCNS	1	0.307	0.71	0.4171
		2	0.310	0.63	0.3666
		3	0.304	0.67	0.3975
	P4BCNS	1	0.303	0.96	0.5715
		2	0.302	0.97	0.5793
		3	0.302	0.96	0.5734
	P5BCNS	1	0.302	1.21	0.7227
		2	0.301	1.19	0.7131
		3	0.301	1.20	0.7191
	P6BCNS	1	0.301	0.74	0.4449
		2	0.301	0.76	0.4554
		3	0.300	0.75	0.4494
	P7BCNS	1	0.300	0.72	0.4329
		2	0.301	0.64	0.3835
		3	0.300	0.68	0.4088
	P8BCNS	1	0.300	1.04	0.6253
		2	0.305	0.93	0.5500
		3	0.303	0.98	0.5834
	P9BCNS	1	0.309	0.88	0.5137
		2	0.301	0.90	0.5393
		3	0.305	0.89	0.5263
	P10BCNS	1	0.301	1.20	0.7191
		2	0.300	1.26	0.7576
		3	0.300	1.23	0.7395
	P11BCNS	1	0.303	0.89	0.5298
		2	0.300	0.80	0.4810
		3	0.301	0.84	0.5034
	P12BCNS	1	0.303	1.00	0.5953
		2	0.304	1.03	0.611
		3	0.303	1.02	0.6072
	P13BCNS	1	0.303	1.00	0.5953
		2	0.300	0.98	0.5892
		3	0.302	0.99	0.5913

**Tabla N° 14.** Valores de densidad aparente en suelos recolectados en las dos fincas de café.

<b>Sitio</b>	<b>Código</b>	<b>Densidad</b>	<b>Promedio</b>
Finca del Jardín de Variedades de PROCAFE	P1DP	0.0210 g/mL	0.0208 g/mL
	P2DP	0.0190 g/mL	
	P3DP	0.0260 g/mL	
	P4DP	0.0170 g/mL	
<b>Sitio</b>	<b>Código</b>	<b>Densidad</b>	<b>Promedio</b>
Finca Montealegre Orgánico	P1DM	0.1551 g/mL	0.1541 g/mL
	P2DM	0.1451 g/mL	
	P3DM	0.1621 g/mL	
	P4DM	0.1541 g/mL	

## **ANEXO Nº 7**

**ANALISIS KRUSKAL-WALLIS DE LAS CONCENTRACIONES  
PROMEDIO DE CARBONO, NITRÓGENO TOTAL Y DENSIDAD**

**Tabla Nº 15.** Prueba de Kruskal-Wallis para carbono en la banda de fertilización y entre los surcos de café de la finca del Jardín de Variedades de PROCAFE.

<b>Estadístico de prueba para carbono en finca del Jardín de Variedades de PROCAFE</b>	
	Concentración
Chi-cuadrado	11.283
gl	1
Sig. asintótica	0.001
Prueba de Kruskal-Wallis	

**Tabla Nº 16.** Prueba de Kruskal-Wallis para carbono en la banda de fertilización y entre los surcos de café de la finca Montealegre Orgánico.

<b>Estadístico de prueba para carbono en la finca Montealegre Orgánico</b>	
	Concentración
Chi-cuadrado	0.553
gl	1
Sig. asintótica	0.457
Prueba de Kruskal-Wallis	

**Tabla Nº 17.** Prueba de Kruskal-Wallis para carbono en la banda de fertilización de la finca del Jardín de Variedades de PROCAFE y en la finca Montealegre Orgánico.

<b>Estadístico de prueba para carbono en la banda de fertilización de ambas fincas</b>	
	Concentración
Chi-cuadrado	18.778
gl	1
Sig. asintótica	0.000
Prueba de Kruskal-Wallis	

**Tabla Nº 18.** Prueba de Kruskal-Wallis para nitrógeno total en la banda de fertilización y entre los surcos de café de la finca del Jardín de Variedades de PROCAFE.

<b>Estadístico de prueba para nitrógeno total en la finca del Jardín de Variedades de PROCAFE</b>	
	Concentración
Chi-cuadrado	6.975
gl	1
Sig. asintótica	0.008
Prueba de Kruskal-Wallis	

**Tabla N° 19.** Prueba Kruskal-Wallis para nitrógeno total en la banda de fertilización y entre los surcos de café de la finca Montealegre Orgánico.

<b>Estadístico de prueba para nitrógeno total en la finca Montealegre Orgánico</b>	
	Concentración
Chi-cuadrado	0.673
gl	1
Sig. asintótica	0.412
Prueba de Kruskal-Wallis	

**Tabla N° 20.** Prueba Kruskal-Wallis para nitrógeno total en la banda de fertilización de la finca del Jardín de Variedades de PROCAFE y de la finca Montealegre Orgánico.

<b>Estadístico de prueba para nitrógeno total en la banda de fertilización de ambas fincas</b>	
	Concentración
Chi-cuadrado	7.527
gl	1
Sig. asintótica	0.006
Prueba de Kruskal-Wallis	

**Tabla N° 21.** Prueba de Kruskal-Wallis para nitrógeno total entre los surcos de café de la finca del Jardín de Variedades de PROCAFE y en la finca Montealegre Orgánico.

<b>Estadístico de prueba para nitrógeno total entre los surcos de café de ambas fincas</b>	
	Concentración
Chi-cuadrado	3.698
gl	1
Sig. asintótica	0.0.054
Prueba de Kruskal-Wallis	

**Tabla N° 22.** Prueba de Kruskal-Wallis para densidad de la finca del Jardín de Variedades de PROCAFE y de la finca Montealegre Orgánico.

<b>Estadístico de prueba para densidad en ambas fincas</b>	
	Concentración
Chi-cuadrado	5.333
gl	1
Sig. asintótica	0.021
Prueba de Kruskal-Wallis	

