



# UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

*La Universidad Católica de Loja*

## ÁREA BIOLÓGICA

### TÍTULO DE INGENIERO AGROPECUARIO

“Estudio de la fertilización orgánica sobre algunas propiedades químicas del suelo y el desarrollo fenológico del cultivo de café”.

### TRABAJO DE TITULACIÓN

**AUTOR:** Diego Mauricio Cuenca Capa

**DIRECTOR:** Edwin Daniel Capa Mora, Dr.

LOJA – ECUADOR

2016



*Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>*

2016

## ARROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ph.D.

Edwin Daniel Capa Mora.

**DOCENTE DE LA TITULACIÓN**

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: Estudio de la fertilización orgánica sobre algunas propiedades químicas del suelo y el desarrollo fenológico del cultivo de café, realizado por Diego Mauricio Cuenca Capa, ha sido orientado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, 06 de Octubre del 2016

f). . . . .

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo Diego Mauricio Cuenca Capa declaro ser autor del presente trabajo de titulación “Estudio de la fertilización orgánica sobre algunas propiedades químicas del suelo y el desarrollo fenológico del cultivo de café”, de la Titulación de Ingeniería Agropecuaria, siendo Edwin Daniel Capa Mora director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f.....

**Autor:** Cuenca Capa Diego Mauricio.

**Cédula:** 1104286586

## DEDICATORIA

Mi agradecimiento a quien ha forjado mi camino y me ha dirigido por el sendero de la vida, a Dios, que en todo momento está conmigo.

A mi familia que ha sido la base de mi formación, cada uno de ustedes ha aportado grandes cosas a mi vida, y me han ayudado a enfrentar la gran tarea de afrontar a la sociedad, por brindarme siempre su amor y estar conmigo cuando más lo necesite.

A mi madre Teresa, por haberme brindado la oportunidad de estudiar, por sus palabras que siempre son un empuje para continuar en mi vida, por ser el pilar fundamental de mi vida. A Emilio por darme una razón más para continuar. También a mi abuelita Mercedes y mi tía Rosa por ser mi guía y por inculcarme siempre los valores correctos.

A mis hermanos, Vanessa y Andrés, quienes con su compañía son motivo de alegría y fortaleza para poderme realizar. A mi abuelito Luís, mis tíos Manuel y Alfonso a quienes quiero como mis padres.

## AGRADECIMIENTO

En estas palabras quiero expresar mi profundo agradecimiento principalmente a Dios por haberme permitido llegar a este momento tan importante de mi formación como profesional.

Mi más sincero agradecimiento a la Titulación de Ingeniería Agropecuaria de la Universidad Técnica Particular de Loja por abrirme sus puertas para mi formación como profesional, de manera especial a los docentes que con su paciencia, esfuerzo y sabiduría supieron trasmitirme sus conocimientos para la preparación de la vida profesional, Dr. Juan Ignacio Burneo, Dra. Leticia Jiménez, Dra. Lucia Guzmán, Dr. Pablo Ochoa.

De manera especial al Dr. Daniel Capa, por su valiosa guía, interés y apoyo en la realización de este trabajo, por haberme brindado su apoyo, confianza y por ser amigo y consejero en los días difíciles.

Agradezco también a mis amigos y compañeros por acompañarme en este arduo camino y compartir conmigo alegrías y fracasos.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

ARROBACIÓN DE EL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
RESÚMEN .....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO 1 .....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Botánica del café .....	6
1.1.1 Clasificación Taxonómica .....	6
1.1.2 Morfología general de la planta de café o cafeto .....	6
1.1.3 Fenología del cultivo del café.....	7
1.1.4 Variedades del Café.....	8
1.1.5 Requerimientos Edafoclimáticos del cultivo de café .....	10
1.1.6 Características físico-químicas .....	12
1.1.7 Plagas y enfermedades del cultivo de café .....	12
1.2 Fertilización y su importancia.....	13
1.3 Fertilización del café.....	13
1.3.1 Nitrógeno (N).....	14
1.3.2 Fósforo (P) .....	14
1.3.3 Potasio (K) .....	15
1.4 Fertilización orgánica .....	15
1.5 Producción mundial de café.....	16
CAPÍTULO 2 .....	6
MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
2.1 Metodología .....	20
2.1.1 Localización del Proyecto .....	20
2.1.2 Selección del área de estudio.....	20
2.2 Diseño experimental .....	20

2.3 Muestreo de suelo .....	20
2.4 Análisis químicos de suelos .....	21
2.4.1 pH (relación 1:2,5 suelo - agua) .....	21
2.4.2 Materia orgánica (MO).....	21
2.4.3 Nitrógeno total (Nt).....	21
2.4.4 Fósforo (P) .....	22
2.4.5 Potasio (K) .....	22
2.5 Fertilización del cultivo de café .....	22
2.6 Muestreo de la vegetación (fenología y productividad) .....	23
2.6.1 Altura de la planta .....	23
2.6.2 Ancho de copa .....	23
2.6.3 Diámetro del tallo.....	24
2.6.4 Cosecha y productividad .....	24
2.7 Manejo específico del ensayo .....	25
2.8 Análisis estadístico .....	25
CAPÍTULO 3 .....	24
RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	24
3.1 Propiedades químicas del suelo.....	25
3.1.1 pH .....	25
3.1.2 Materia Orgánica (MO) .....	26
3.1.3 Nitrógeno total (Nt).....	27
3.1.4 Fósforo (P) .....	29
3.1.5 Potasio (K) .....	30
3.2 Desarrollo Vegetativo.....	31
3.2.1 Altura .....	31
3.2.2 Ancho de copa .....	32
3.2.3 Diámetro del tallo.....	34
3.3 Cosecha y Producción .....	35
CONCLUSIONES .....	38
RECOMENDACIONES.....	39
CAPÍTULO 4 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
BIBLIOGRAFÍA.....	40
ANEXOS .....	55



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.Épocas de formación de nudos y hojas (N), de floración (F), de crecimiento del fruto (C) y de maduración de frutos (M) en la planta de café y su relación con la disponibilidad hídrica, durante tres años. ....	8
Figura 2.Distribución al azar y combinación de los tratamientos en la parcela de estudio.....	20
Figura 3.Medición de la altura de una planta de café.....	23
Figura 4.Medición del ancho de copa de la planta de café. ....	24
Figura 5.Medición de diámetro del tallo de una planta de café. ....	24
Figura 6.Recolección de cerezos de una planta de café. ....	25
Figura 7.Valores de pH al inicio y al final del ensayo. ....	25
Figura 8.Valores de materia orgánica (MO) en porcentajes al inicio y al final del ensayo.....	27
Figura 9.Contenidos en porcentajes de nitrógeno total al inicio y al final del ensayo. ...	28
Figura 10.Contenidos en mg Kg <sup>-1</sup> de fósforo disponible al inicio y al final del ensayo..	29
Figura 11.Contenido en cmol Kg <sup>-1</sup> de potasio disponible, al inicio y al final del ensayo. ....	30
Figura 12.Crecimiento de la altura al inicio y al final del ensayo. ....	32
Figura 13.Aumento del ancho de copa al inicio y al final del ensayo.....	33
Figura 14.Incremento del diámetro al inicio y al final del ensayo. ....	35
Figura 15.Resultados de producción que se obtuvieron al final de la cosecha. ....	36

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica del cultivo de café .....	6
Tabla 2. Plagas y enfermedades más frecuentes en la caficultura ecuatoriana. ....	12
Tabla 3. Producción total de todos los países exportadores en miles de sacos de 60 kilos.....	16
Tabla 4. Dosis de fertilización orgánica (Bioabor).....	23



## RESÚMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar y dar a conocer la mejor dosis de abono orgánico en un monocultivo de café en la provincia de Loja, para la mejora de las características químicas (pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio) del suelo, el desarrollo fenológico (Altura de la planta, ancho de copa y diámetro del tallo) y productividad del cultivo. Se planteó un diseño experimental *Split-plot*. Se realizó un muestreo de suelo inicial (no fertilizado) y luego otro final (fertilizado), los parámetros a determinar fueron: pH (relación 1:2,5 suelo-agua), materia orgánica (Walkey & Black), nitrógeno (micro Kjeldahl), fósforo (método del colorímetro) y potasio (Olsen modificado). Para evaluar el desarrollo fisiológico se realizó tres mediciones cada cuatro meses. La estimación de la producción se realizó al término de la cosecha. Los resultados finales indican que los tratamientos orgánicos mejoraron las variables estudiadas, el tratamiento ORG3 obtuvo mejores resultados con cambios estadísticamente significativos en los nutrientes del suelo evaluado y variables fenológicas. Indicando que los fertilizantes orgánicos, en dosis bajas o altas, contribuyen a un mejor productividad frente a no aplicar fertilizante.

**Palabras claves:** Café, suelo, abonos orgánicos, desarrollo fenológico, productividad.

## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate and communicate the best dose of organic fertilizer in a monoculture of coffee in the province of Loja, for the improvement of the chemical characteristics (pH, organic matter, nitrogen, phosphorus and potassium) of soil, phenological development (height of the plant, canopy width and diameter of the stem) and crop productivity. There was a split-plot experimental design. There was an initial soil sampling (not fertilized) and then another end (fertilized), parameters to determine were: pH (ratio of 1:2.5 ground-water), organic matter (Walkey & AMP; Black), nitrogen (micro Kjeldahl), phosphorus (colorimeter) and potassium (Olsen modified). To assess the physiological development was carried out three measurements every four months. The estimate of the production was carried out at the end of the harvest. The final results indicate that the organic treatments improved the variables studied, treatment ORG3 obtained better results with statistically significant changes in soil nutrients evaluated and phenological variables. Indicating that the organic fertilizers, in low or high doses, contributes to a better productivity compared to not apply fertilizer.

**Key words:** Coffee, soil, organic fertilizers, phenological development, productivity.

## INTRODUCCIÓN

Loja se ubica al sur de la Región Interandina (Sierra) de la república del Ecuador (Sudamérica), en el valle de Cuxibamba, a 2100 m s.n.m. y a 4° de latitud Sur. El valle de Loja (Hoya de Loja) está en la cuenca superior del río Zamora, afluente del Amazonas; tiene un clima temperado-ecuatorial subhúmedo, caracterizado por una temperatura media del aire de 16°C, y una precipitación anual de 900 mm (GEO Loja, 2007).

La agricultura es una de las principales fuentes de ingresos económicos a pesar de no contar con suelos de lo más idóneos para esta actividad, ya que tan solo el 7% de su suelo es fértil (EL MERCURIO, 2014), debido a la erosión y el avance del proceso de desertificación que afecta a cerca del 80% de la provincia como consecuencia de sequías (UNESCO, 2007), de la destrucción del bosque natural o cubierta vegetal causados por actividades intensivas agropecuarias (DESERTLOJA 07 de agosto de 2007).

La producción de café ha jugado un papel importante en la economía del país (MAGAP, 2012), desde que se introdujo en 1830, empezándose a cultivar en el cantón Jipijapa, provincia de Manabí, desde donde se distribuyó progresivamente al resto del país (MAGAP, 1988, citado por Amores et al., 2004, p.2). Según datos de COFENAC (2013), existe una superficie nacional total sembrada de 220000 hectáreas de café, de las que en la provincia de Loja se cultivan aproximadamente 29345 hectáreas, de las cuales el 10% se considera que está en una etapa productiva, de 1 a 10 años de vida, el resto supera los 30 y 50 años (EL MERCURIO, 2014).

La producción de café orgánico es muy importante, los caficultores lojanos asociados a FAPECAFES (Federación de Asociaciones Productores Ecológicos de Café del Sur), tienen una producción orgánica de 79%, 17% convencional y 4% café orgánico-convencional (COFENAC, 2010). En la Agenda Zona de Producción 7 del Ecuador el 96% de caficultores producen café arábigo con sus diferentes variedades, el 3% robusta y el 1% producen ambos tipos de café (Cumbicus y Jiménez, 2012). Por otro lado, cabe mencionar que a nivel nacional el 66% de la superficie cultivada corresponde a la especie arábica y el 31% a la especie robusta, con una producción según la FAO (2010), de 481 Kg ha<sup>-1</sup>, la más baja de la región. En comparación con los alrededor de 2000 Kg ha<sup>-1</sup> que produce Colombia (COFENAC, 2010); otras fuentes como FINAGRO (s/f), mencionan aproximadamente de 2500 a 4000 Kg ha<sup>-1</sup> en sistemas de producción a libre exposición solar.

Olmedo, Chaguarpamba, Paltas, Quilanga, Calvas, Puyango, Gonzanamá y Loja, son ocho de los 16 cantones que tiene la provincia de Loja en donde se concentra la mayor producción de café orgánico (Andes, 2013). Sin embargo, factores como la presencia de plagas y enfermedades en los cultivos; la prevalencia de cafetales viejos, los cuales ya no producen y se encuentran secos; el acceso limitado de los productores a créditos y a la falta de infraestructura, que posibilite el fácil acceso a las plantaciones de café e infraestructura en riego; la condición climática como el retraso de la época lluviosa y las fuertes variaciones de temperatura; la predominancia de manejo tradicional del cultivo, ya que el 80% de los cafetales en el país se maneja deficientemente (Medina y Luna, 2013), provoca bajos rendimientos de 250 Kg ha<sup>-1</sup> café oro (COFENAC, 2013); además, los sistemas convencionales que generalmente requieren altos niveles de insumos externos, se han relacionado con la degradación del suelo, la contaminación ambiental y problemas de salud humana (Rice, 1991; Boyce et al., 1994; Fernández y Muschler, 1999).

El café orgánico, viene a ser la respuesta ante los problemas cada vez mayores de contaminación de fuentes de agua por el uso de abonos nitrogenados, la disminución de la biodiversidad del cafetal y las necesidades económicas de los pequeños y

medianos productores, quienes habían sido mayormente afectados por la crisis mundial de precios del café (Monge, 1999).

La aplicación de abonos orgánicos sólidos o líquidos (biol, purín y compost) en el café tiene importancia en el desarrollo vegetativo del cultivo, influyendo en más del 9% en el crecimiento y en otras variables agronómicas, tal como lo indican Gómez y Suarez (2003), también los índices de crecimiento vegetativo en un 36% al usar purín de leguminosas en comparación a tratamientos testigo sin aplicación, afectando positivamente también a la producción con rendimientos de 708 y 630 Kg ha<sup>-1</sup> de café oro (Calderón y Choez, 2003); haciendo sostenibles factores como la capacidad de mantener o aumentar los rendimientos por hectárea (Soto, 2003).

La aplicación de abonos orgánicos también mejora las características químicas del suelo, pasando por ejemplo de 0,96 % a 1,2 % en el porcentaje de materia orgánica, de 1,5 mg ha<sup>-1</sup> a 20 mg ha<sup>-1</sup> en fósforo (P) y de 4 mg ha<sup>-1</sup> a 27 mg ha<sup>-1</sup> en nitratos (NO<sub>3</sub>) al aplicar 20 tn ha<sup>-1</sup> de compost; similares resultados suceden con estiércol de bovino, caprino y, con la aplicación de gallinaza, aumentando hasta en un 30% los valores antes mencionados (López-Martínez et al., 2001).

Con estos antecedentes, este estudio tiene el objetivo de evaluar y dar a conocer las mejores dosis de abono orgánico para la mejora de las características químicas del suelo, el desarrollo fenológico y productividad del cultivo, con lo que apoyará a mejorar la sustentabilidad ambiental y rentabilidad económica de los productores del cultivo de café.

Para cumplir con el desarrollo de esta investigación se han planteado los siguientes objetivos:

#### **Objetivo General**

- Estudiar el efecto de la fertilización orgánica sobre algunas características químicas del suelo y el desarrollo fenológico y productivo del cultivo de café.

#### **Objetivos Específicos**

- Evaluar tres dosis de fertilización orgánica en un cultivo de café a campo abierto, sobre algunas propiedades químicas del suelo (pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio).
- Analizar el efecto de fertilización orgánica en tres dosis sobre el desarrollo del cultivo de café (alto, ancho de copa, diámetro de tallo) y su productividad.

## **CAPÍTULO 1**

### **MARCO TEÓRICO**



## 1.1 Botánica del café

La especie de café más antiguamente conocida y difundida a nivel mundial es la *Coffea arabica*, originaria de Etiopía, África (ICAFFE-MAG, 1989). El cafeto es una planta provista de un eje central, que presenta en su extremo una parte meristemática en crecimiento activo permanente que da lugar a la formación de nudos y entrenudos (Duicela y Sotomayor, 1993).

### 1.1.1 Clasificación Taxonómica

La especie *arabica* es autógama, ósea que puede auto polinizarse fácilmente (91 – 96 %), mientras que la especie *canephora* tiene una condición genética definida como alogamia estricta, es decir, necesita de otro u otros cafetos cercanos para polinizarse (Quijano, 2010). El café pertenece al género *Coffea*, que es por mucho el miembro económicamente más importante de la familia *Rubiaceae* (Murthy y Madhava-Naidu, 2012) (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación taxonómica del cultivo de café

Taxonomía	Nombre
Reino	Plantae
Subreino	Angiospermae
Clase	Dicotyledoneae
Sub-clase	Sympetalae o Metachlamydeae
Orden	Rubiales
Familia	Rubiaceae
Género	<i>Coffea</i>
Subgénero	Eucoffea
Especie (s)	<i>arabica, canephora, liberica, etc.</i>

Fuentes: (Clifford, MN., Wilsson, 1985), (DAVIS, A. P. 2006), (Sreenath, Shanta, Babu, y Naidu, 1995), (USDA, 2014).

Elaboración: El autor.

### 1.1.2 Morfología general de la planta de café o cafeto

Es un arbusto siempre verde, glabro o árbol pequeño de hasta de 5 m de altura cuando no se poda, con un sistema de ramificación abierto; tallo leñoso, lignificado, recto y casi cilíndrico. Las ramas presentan dimorfismo que está relacionado con la dirección de crecimiento de las ramas: el tallo tiene crecimiento ortotrópico y es el que forma el tronco de la planta; las ramas que crecen lateralmente (bandolas) se dice que tienen crecimiento plagiotrópico y son las partes productivas de la planta (Matiello et al., 2010).

En los nudos de las ramas primarias se van formando flores y frutos desde la base de la rama hacia el extremo en forma progresiva a medida que van desarrollando. En aquellos casos en que el crecimiento apical del cafeto es destruido, se forman nuevos brotes, los cuales crecen inicialmente en sentido horizontal y luego vertical. Estos brotes se los conoce también como chupones o ramas ortotrópicas. La fructificación de café de cada año se va formando en nudos nuevos, en tejido vegetal que se forma en los nudos que se desarrollan el año precedente. La producción anual se incrementa progresivamente durante los tres a cinco años, teniendo luego a disminuir, situación que hace necesario la utilización de la práctica de poda de producción, tendiente a renovar el tejido productivo del cafeto (Duicela y Sotomayor, 1993).

#### 1.1.2.1 Raíces o sistema radical

Las clases de raíces que tiene el cafeto son: pivotantes, axiales o de sostén, laterales y raicillas.

La pivotante puede considerarse como la raíz central, su longitud máxima en una planta adulta es de 50 a 60 cm. Las raíces axiales o de sostén y las laterales se originan a partir de la pivotante; de las laterales generalmente se desarrollan las raicillas que, en un alto porcentaje (80-90 %), se encuentran en los primeros 30 cm del suelo con un radio de 2 a 2,5 cm a partir de la base del tronco. Las raicillas son muy importantes porque le permiten a la planta la absorción de agua a partir del suelo (Soto y Rojas, 1994).

#### **1.1.2.2 Tallo**

Es leñoso, erecto y de longitud variable de acuerdo con el clima y el tipo de suelo (Soto y Rojas, 1994). El tallo exhibe dos tipos de crecimiento; uno que hace crecer al arbusto verticalmente y otra que lo hace crecer en forma lateral u horizontal (Gómez, 2010).

#### **1.1.2.3 Hojas**

Hojas opuestas de color verde oscuro, brillante, oblongas, elípticas a ampliamente elípticas de 7 - 20 cm largo por 2,5 - 6,5 cm de ancho con 7-10 pares de nervios laterales, ápice agudo o acuminado, base aguda, simple, entero, con margen un poco ondulado. Pecíolo corto y estípulas agudas y deltoides (Lim, 2013).

#### **1.1.2.3 Flores**

Estos órganos de las plantas se desarrollan en las axilas de las hojas sobre tallitos llamados glomérulos. Generalmente se encuentran de 3 – 5 glomérulos en la base de cada hoja. La flor del café es hermafrodita y está formada por el cáliz, corola, estambres y pistilo. Generalmente, la autofecundación del café arábigo es alrededor del 93 %. Esta característica de la especie *C. arabica* ha permitido que se lo ubicara como una especie autógama (Duicela y Sotomayor, 1993).

#### **1.1.2.4 Fruto**

El fruto del café es una drupa y se cosecha al llegar a su madurez, esto se observa cuando toma una coloración marrón, en algunas variedades puede ser también de color amarillo (XIII Simposio sobre caficultura latinoamericana, 1990).

De acuerdo con Arcila (2007), el crecimiento del fruto de café tiene un crecimiento sigmoideo, dividida en cuatro etapas:

- **Etapa I.** Esta etapa cubre desde la floración hasta 50 días aproximadamente, es una etapa de crecimiento lento.
- **Etapa II.** Transcurre entre los 50 y 120 días en promedio, el fruto crece de manera acelerada y adquiere su tamaño final, y la semilla tiene consistencia gelatinosa.
- **Etapa III.** Transcurre entre los 120 y 180 días, la semilla o almendra completa su desarrollo, adquiere consistencia sólida y gana peso.
- **Etapa IV.** Transcurre entre los 180 y los 224 días, el fruto se encuentra fisiológicamente desarrollado y comienza a madurar.

Las etapas II y III son las etapas de mayor demanda de agua y de nutrientes del fruto, y es donde se debe garantizar la mayor disponibilidad de ambos factores.

#### **1.1.3 Fenología del cultivo del café**

El conocimiento de la fenología es muy importante para la apropiada planeación y manejo de prácticas como la fertilización, control de enfermedades, insectos y

arvenses, entre otras (Arcila et al., 2002), tomando en cuenta que según Ramírez, V. (2014), en el café, la época de mayor demanda de agua y nutrientes por el cultivo es aquella en donde se encuentra en etapa productiva, equivalente a la formación y llenado de los frutos. Camargo y Camargo (2001), mencionan que el desarrollo del cultivo de café se agrupa en cuatro etapas fenológicas o fenofases: 1) crecimiento foliar, que agrupa yemas, hojas, senescencia; 2) floración, que agrupa botón, abierta, marchita, 3) crecimiento del fruto, que agrupa inmaduro, maduro, marchito; y 4) maduración y corte.

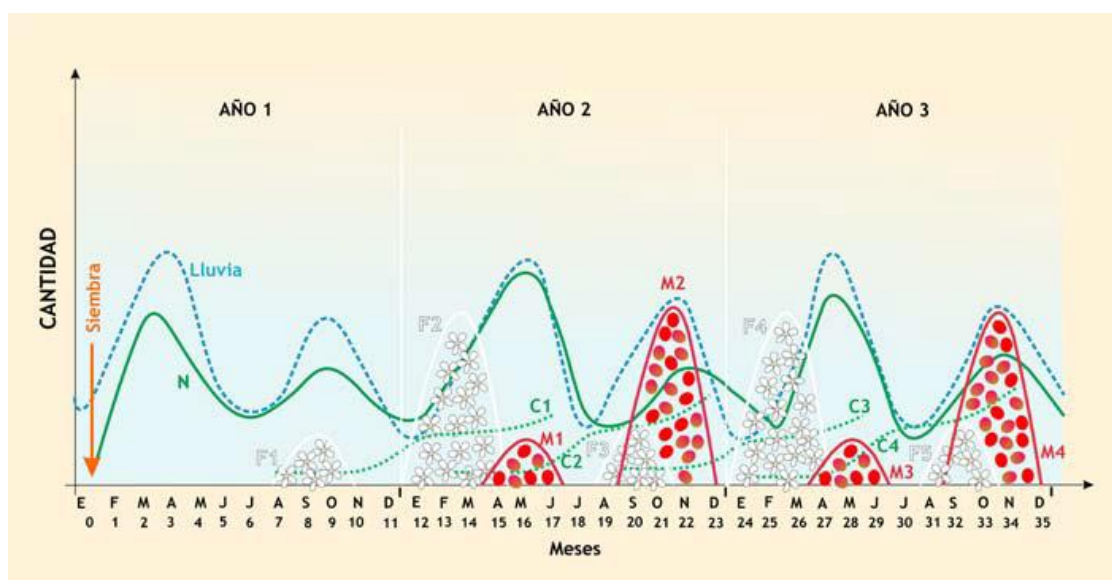


Figura 1. Épocas de formación de nudos y hojas (N), de floración (F), de crecimiento del fruto (C) y de maduración de frutos (M) en la planta de café y su relación con la disponibilidad hídrica, durante tres años.

Fuente: Arcila et al., 2001.

En la Figura 1 se muestra la secuencia durante tres años, de las épocas en que se ocurren las fases de desarrollo vegetativo y reproductivo de las plantas de *Coffea arabica* L. luego de la siembra definitiva en el campo en Colombia.

Los contrastes climáticos durante un ciclo anual, expresados en las estaciones, desempeñan un papel importante para el desarrollo fenológico de las plantas, siendo los eventos meteorológicos tales como la lluvia, temperatura y radiación solar los reguladores principales en la floración y desarrollo del fruto. Asimismo, las prácticas de manejo agrícola y la cosecha de las plantas cultivadas están estrechamente relacionados con el comportamiento del clima y tiempo atmosférico, pudiendo afectar o beneficiar a la planta de café (Fournier y Di Stefano, 2004).

#### 1.1.4 Variedades del Café

Duicela y Sotomayor (1993) mencionan que en el Ecuador las especies cultivadas comercialmente son: *Coffea arabica* y *Coffea canephora* (robusta), las cuales se distinguen por sus características morfológicas, constitución cromosómica y sus áreas de dispersión. A continuación mencionamos las principales variedades presentes en el país y sus características según los autores antes citados:

#### **1.1.4.1 Arábicos**

##### **1.1.4.1.1 Typica**

Presenta plantas hasta de 4 m de altura. Tiene un amplio rango de adaptabilidad, buena calidad de bebida, baja producción y susceptibilidad a roya. Introducida en 1830, la mayor parte de las plantaciones de café arábicos del país (92 %).

##### **1.1.4.1.2 Bourbon**

Comprende dos cultivares: “Bourbon rojo” y “Bourbon amarillo”. Los nombres rojo y amarillo se han dado en base al color de las cerezas. Su porte es similar a la variedad typica. Las ramas forman un ángulo de 40 a 50 grados con respecto al eje ortotrópico. Los brotes nuevos presentan un color verde. Tiene un rendimiento mayor que el de la variedad typica. En Ecuador se empezó a cultivar en el año 1956.

##### **1.1.4.1.3 Mundo Novo**

Originaria de Brasil, probablemente proviene del cruce natural entre Sumatra (selección de typica y bourbon). Es de porte alto, entrenudos cortos con una coloración verde o bronceada de los brotes tiernos. Las ramas forman un ángulo de 45 grados con relación al eje ortotrópico. De adaptabilidad limitada. En Ecuador se empezó a cultivar en el año 1956.

##### **1.1.4.1.4 Caturra**

Encontrada en Minas Gerais, Brasil, es considerado como una mutación del café bourbon. Comprende dos cultivares: “caturre rojo” y “caturre amarillo”. Los nombres rojo y amarillo se han dado en base a la coloración de los frutos. Son de porte bajo, de aspecto vigoroso y compacto, de entrenudos cortos y con una coloración verde de sus brotes tiernos. Las ramas forman un ángulo de 45 grados en relación al eje ortotrópico. La variedad caturra es considerada de amplio rango de adaptabilidad, alta producción, buenas características agronómicas y organolépticas, pero susceptible a la roya del cafeto. En Ecuador se empezó a cultivar en el año 1956 y en la actualidad el 5 % aproximadamente de las zonas de producción de café es arábicos corresponden a plantaciones de esta variedad.

##### **1.1.4.1.5 Pacas**

Originaria de El Salvador, es considerada como una mutación del café bourbon. Las características agronómicas y productivas son similares a la variedad caturra y se empezó a cultivar en el Ecuador alrededor de 1966.

##### **1.1.4.1.6 Catuaí**

Esta variedad se originó en Brasil y tiene base genética una hibridación artificial entre mundo novo y caturra. El café catuaí comprende dos cultivares, “catuaí rojo” y “catuaí amarillo”. Las plantas de esta variedad son de porte bajo. Las ramas forman un ángulo de 45 grados con relación al eje ortotrópico, con entrenudos cortos y brotes nuevos de coloración verde.

##### **1.1.4.1.7 Geisha**

Originaria de Geisha, Etiopia. Son plantas de porte alto con frutos de mayor tamaño que la variedad typica. Es considerada como una variedad de amplio rango de adaptabilidad y resistente a varias razas de roya del cafeto. La línea genética geisha

T-2722 ha presentado adecuados rendimientos en el país y se encuentra distribuida en forma limitada a partir del año 1980.

#### **1.1.4.1.8 Villalobos**

Es una variedad originaria de Costa Rica y es considerada como una mutación de típica. Las plantas de villalobos son de porta bajo, color bronceado oscuro de los brotes nuevos y con una productividad menor en comparación con la variedad típica. Se empezó a cultivar en el Ecuador alrededor de 1966.

#### **1.1.4.2 Híbridos intervarietales**

##### **1.1.4.2.1 Catimor**

Resulta de la cruce entre caturra x híbrido de timor. Las plantas de este híbrido presentan gran variabilidad genética y resistencia a la roya. Es de bajo porte, muy productiva y con una copa amplia y vigorosa.

##### **1.1.4.2.2 Sarchimor**

Resulta de la cruce entre villa sarchi x híbrido de timor. Presenta excelentes características agronómicas, productivas y de resistencia a la roya.

##### **1.1.4.2.3 Cavimor**

Resulta de la cruce entre catuaí x catimor. Consiste en una variedad de bajo porte, presenta resistencia a la roya del cafeto y altos rendimientos. De excelentes características agronómicas y productivas superiores al cultivar caturra rojo.

##### **1.1.4.2.4 S.795**

Resulta de la cruce entre *C. arabica* x *C. liberica* y el retro cruzamiento con una variedad de *C. arabica*. Son de porte alto, crecimiento homogéneo, abundantes ramas laterales con entrenudos largos ubicados en ángulos variables. Presenta una buena adaptabilidad y producción.

##### **1.1.4.2.5 Híbridos interespecíficos**

Resulta de la cruce natural entre *C. arabica* x *C. canephora*. Presenta gran variabilidad en sus características morfológicas y productivas. Los rangos de adaptación son limitados, es resistente a la roya y a la enfermedad causada por el hongo *Colletotrichum coffeanum* y a varias especies de nematodos.

##### **1.1.4.2.6 Icatú**

Resulta de la cruce natural entre *C. arabica* (Bourbón) x *C. canephora*. Presenta gran variabilidad en la morfología y producción.

#### **1.1.5 Requerimientos Edafoclimáticos del cultivo de café**

Al igual que todo cultivo, el café requiere de que las condiciones climáticas sean favorables para que la fertilización tenga un mayor impacto (Sadeghian, 2008)

##### **1.1.5.1 Temperatura**

Según Enríquez (1993), las temperaturas medias óptimas para el café varían de 18 a 21 °C. Fischersworing y Robkamp (2001), indican que la temperatura óptima oscila entre 19 y 21°C, con extremos de 17 a 23°C. Las temperaturas medias por encima de los 24°C, aceleran el crecimiento vegetativo, limitando la floración y el llenado de los frutos.

Las temperaturas altas inhiben el crecimiento del cafeto, porque a los 24°C, la fotosíntesis comienza a decrecer y se hace casi imperceptible a los 34°C (Enríquez, 1993).

#### **1.1.5.2 Humedad**

La humedad relativa ideal para el cafeto varía de acuerdo a la especie o variedad. El café arábigo se adapta bien a ambientes que tengan de 70 % a 95 % de humedad relativa (Enríquez, 1993; Fischersworing y Robkamp, 2001).

Enríquez (1993), indica que se prefiere una humedad relativa baja para un mejor desarrollo del cultivo de café, debido a que los ambientes con alta humedad atmosférica favorecen el desarrollo de enfermedades fungosas.

#### **1.1.5.3 Precipitación**

Las deficiencias hídricas son necesarias para la floración, pero si estas son muy prolongadas no permiten la apertura floral, limitan el crecimiento vegetativo y el llenado de los frutos. Por otra parte, los excesos hídricos disminuyen la inducción floral y la formación de estructuras reproductivas, favorecen la presencia de enfermedades en el cultivo, promueven el lavado de nutrientes en el suelo y las pérdidas por erosión (Ramírez et al., 2013).

Según Moguel y Toledo (2004), la precipitación para un apropiado crecimiento y productividad se encuentra entre los 1500 a 2500 mm anual promedio, sin heladas o sequías prolongadas. Por otro lado; PRO ECUADOR, (2003), menciona que al ser un cultivo estacional requiere de 180 – 200 días de lluvia (6 meses) para su buen desarrollo.

#### **1.1.5.4 Altura**

Según Lim (2013), generalmente se cultiva en altitudes de 1300 a 1500 m s.n.m en los trópicos y sub trópicos. Esto coincide con lo que mencionan ICAFE (1998); Delgado et al. (2002), que los arbustos arábigos se pueden encontrar desde el nivel del mar hasta los 2500 m s.n.m, aunque producen mejor entre 1000 y 2000 m s.n.m.

#### **1.1.5.5 Suelos y topografía**

Los mejores suelos son los francos, de estructura granular, donde hay buena aireación y permeabilidad moderada (en esos suelos, las raíces pueden penetrar con facilidad y disponen de buena cantidad de aire y agua). El cafeto requiere buen drenaje, tanto interno como externo, además necesita de suelos profundos, ya que las raíces penetran hasta más de 1,50 m metros de profundidad (CORECAF et al., 2000), y con topografías de planas a onduladas; sin embargo pese a sus exigencias, muchos cafetales se suelen adaptar con facilidad a condiciones topográficas desfavorables (Alarcó, 2011).

#### **1.1.5.6 Viento**

El viento es otro factor limitante en el cultivo de café, especialmente en zonas altas, donde el rango óptimo de la velocidad del viento para el café es de 5 a 15 km h<sup>-1</sup>; valores más altos provocan alta defoliación y caída de flores y frutos (Guía para la innovación de la caficultura, 2010). Christiansen (2004), marca el umbral de velocidad del viento en 20 – 30 km h<sup>-1</sup>, a partir del cual se producen daños físicos y fisiológicos a la planta.

### 1.1.6 Características físico-químicas

El suelo ideal para el cultivo de café es uno con 50 cm de profundidad, 50 % de porosidad, 45 % de sustancia mineral y 5 % de materia orgánica (Guía para la innovación de la caficultura, 2010). El rango de pH óptimo se encuentra entre 5,5 y 6,5; el porcentaje de nitrógeno superior al 3% para el adecuado desarrollo del café. Las condiciones óptimas en cuanto a macronutrientes para este cultivo son de 0,2-0,7 (meq 100gr<sup>-1</sup>) en el caso del potasio y 6-14 (ppm) en el caso del fósforo (Alarcó, 2011)

### 1.1.7 Plagas y enfermedades del cultivo de café

Muchas de las plagas y enfermedades a las que se enfrenta la caficultura ecuatoriana, se deben al mal manejo del cultivo. Las principales causas que aumentan la incidencia de las mismas se deben a: la deficiente nutrición de cafetales, la inadecuada regulación de la sombra, la carencia de podas y desyerbes (Alarcó, 2011).

En la Tabla 2 se mencionaran las principales plagas y enfermedades de mayor incidencia en la caficultura del Ecuador:

Tabla 2. Plagas y enfermedades más frecuentes en la caficultura ecuatoriana.

PLAGAS				
Nombre común	Nombre científico	Condiciones propicias	Ubicación del daño	Control
Broca del Fruto	<i>Hyoponemus hampei</i>	Altas temperaturas, excesiva sombra y poca aireación interna	Frutos	Eliminación de frutos caídos y afectados por la plaga. Utilización de <i>Beauveria bassiana</i> como controlador biológico y Avispa de Uganda ( <i>Cephalonomia stephanoderis</i> ) como parasitoide.
Minador de la hoja	<i>Leucoptera coffella</i>	Alta humedad del aire y altas temperaturas. Periodos secos y vientos fuertes.	Hojas	Favorecer el establecimiento de enemigos naturales. Mayor sombrío.
Palomilla de la raíz	<i>Dysmicoccus criptus</i>	Periodos prolongados de sequía con escaso sombrío en suelos de poca fertilidad.	Tronco y raíz	Controlar las colonias de hormigas ya que viven asociadas con estos insectos que las transportan de un tallo a otro.
ENFERMEDADES				
Roya del café	<i>Hemileia vastatrix</i>	Zonas bajas, muy sombreadas, con exceso de humedad y/o plantas desnutridas y expuestas a mucho sol.	Hojas	Abonado antes de la floración y la cosecha (rico en K y Mg). Poda y control de malezas.
Mal de Hilachas	<i>Pellicularia koleroga</i>	Sombra excesiva y alta humedad.	Hoja y frutos	Ventilación y luminosidad a la plantación. Uso de caldo bordeléz.
Mancha de Hierro	<i>Cercospora coffeicola</i>	Cafetales mal nutridos y a plena exposición solar, suelos de baja	Frutos y hojas	Utilización de abonos con altos contenidos en K. en los estados jóvenes de la planta.

		fertilidad.		
Malla o Maya	<i>Rosellinia sp.</i>	Cafetales viejos y en zonas con gran cantidad de desechos vegetales.	Raíz y hojas	Eliminación del material afectado y de parte de la sombra con el fin de favorecer la entrada de luz.

Fuente: ICAFE (1998); CORECAF (2000); Fischersworrning y Roßkamp (2001).  
Elaboración: El autor.

## 1.2 Fertilización y su importancia

El mantenimiento de la capacidad productiva del suelo requiere integrar prácticas de nutrición vegetal y de mejoramiento del suelo que permitan un manejo adecuado de los nutrimentos para evitar su carencia o pérdidas por lixiviación, y de la materia orgánica para potenciar la biodiversidad edáfica y optimar las variables edáficas ligadas a su conservación (Labrador, 1996). Para este fin se requiere aplicar prácticas agroecológicas, así como generar información de la evolución de las características del suelo en diferentes condiciones de manejo (Astier-Calderón et al., 2002; Bautista-Cruz et al., 2004).

Los fertilizantes tienen un papel fundamental en la producción de alimentos, piensos, fibras y energía. Decir que “los fertilizantes alimentan al mundo”, como ha dicho IFA (International Fertilizer Association), parece una exageración, pero no lo es tanto, ya que el suelo, por sí mismo, no es capaz de abastecer las necesidades nutritivas de los cultivos y sólo es posible hacerlo en su totalidad gracias a los abonos (Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España, 2010).

Los abonos orgánicos aportan materia orgánica, nutrimentos y microorganismos, lo cual favorece la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas (Eghball et al., 2004), permitiendo restituir a los suelos los elementos nutritivos que las plantas extraen, o que los suelos pierden por lavado, retrogradación y erosión, poniendo a disposición de los cultivos los nutrientes que precisan en cada momento. Dicho de otro modo, el agricultor con los fertilizantes mantiene llena la despensa de nutrientes, que en parte, es el suelo (Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España, 2010).

## 1.3 Fertilización del café

La fertilidad es definida como la cualidad del suelo para proveer los nutrientes apropiados y en cantidades adecuados para el correcto desarrollo de la planta (Duicela, 2011).

Los cafetos tienen diferentes exigencias de fertilización según la etapa fenológica y la estación en la que se encuentren. Lo óptimo para el cultivo es el uso de fertilizantes de bajo coste, que sean respetuosos con el medioambiente y que promuevan una óptima capacidad productiva. Una carencia de elementos minerales en el suelo afecta al metabolismo del cultivo, propiciando el ataque de plagas y enfermedades, y disminuyendo la capacidad productiva del mismo, por ello, es de suma importancia conseguir mantener la fertilidad natural de este, mediante el uso de abonos verdes, coberturas naturales y la aplicación de fertilizantes orgánicos mediante un manejo adecuado, teniendo en cuenta la época del año y la dosis adecuada para cada cafetal en particular. La planta de café necesita 16 elementos esenciales, el carbono, hidrógeno y oxígeno los absorbe del agua y del aire, en cambio, los otros elementos los atrapa del suelo por medio de la raíz. Los elementos necesarios para el cultivo del café, se encuentran divididos según la cantidad en que los precise; así el nitrógeno,



fósforo y potasio, al ser elementos que la planta necesita en gran cantidad, se encuentran entre los llamados macronutrientes (Alarcó, 2011).

Según Sadeghian y González (2012), las cantidades de nutrientes que requiere el cultivo de café por son: 300 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de N, 50 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 260 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, 50 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de MgO y 50 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de S.

### **1.3.1 Nitrógeno (N)**

Es el constituyente básico de importancia en las moléculas orgánicas, claves para el crecimiento y desarrollo de las plantas (García, 2001). Castro (1998), indica que es el elemento primario o macronutriente que las plantas utilizan en mayor cantidad, ya que según Orozco (1999) participa en la síntesis de aminoácidos y otros compuestos vitales como la clorofila, los ácidos nucleicos y las enzimas. Cabe mencionar que el contenido de clorofila en las hojas es un indicador confiable de la actividad fotosintética, de las mutaciones, del grado de estrés y del estado nutricional en la agricultura de precisión (Wu et al., 2008) y una disminución en la tasa fotosintética bajo condiciones de limitación de nitrógeno es atribuida a una reducción en el contenido de clorofila y en la actividad de la Rubisco (Correira et al., 2005).

Las plantas lo absorben, en mayor cantidad, en formas aniónicas oxidadas como nitrato (NO<sub>3</sub>) (Donald C. L. Kass, 1998), especialmente de la materia orgánica que es la principal fuente de nitrógeno asimilable por la planta de café (Calero y Balladares, 2005). En la planta se combina con componentes producidos por el metabolismo de carbohidratos para formar amino ácidos y proteínas. Siendo el constituyente principal de las proteínas, está involucrado en todos los procesos principales de desarrollo de las plantas y en la elaboración del rendimiento. La deficiencia de nitrógeno causa decoloración amarillenta de las hojas a partir de la punta clorosis en las; también las hojas más bajas pueden morir prematuramente mientras la cima de la planta permanece verde (algunas veces confundido con la falta de humedad) (FAO, 2002).

### **1.3.2 Fósforo (P)**

Las plantas lo absorben rápidamente como fosfato monovalente (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sup>-1</sup>. Si el fosfato está en forma divalente (HPO<sub>4</sub>)<sup>-2</sup>, o como trifosfato (PO<sub>4</sub>)<sup>-3</sup>, es absorbido con mayor lentitud. La forma de absorción está más ligada a las condiciones de pH del suelo. Un buen ámbito de pH en el suelo para su absorción está entre valores de 6 y 6,8. Además, los contenidos adecuados de Mg en el suelo a un pH cercano a la neutralidad pueden tener un efecto sinérgico, incrementado la cantidad de fósforo que absorbe la planta, cuando ésta tiene buen contenido de magnesio (Donald C. L. Kass, 1998).

K. Menguel et al. (2001), mencionan que solo una pequeña fracción del total del fósforo en el suelo se encuentra disponible para ser absorbida por las plantas, más del 90% del total de fósforo es inaccesible para las plantas y se encuentra en formas insolubles. El fósforo interviene en muchas de las reacciones que utilizan energía dentro de la célula ya que forma parte integral de las moléculas que acumulan energía como el adenosin trifosfato (ATP). Estas moléculas se forman como resultado de la fotosíntesis y son utilizadas en la respiración de la planta. Por consiguiente, es de vital importancia para la generación de celular nuevas; por ejemplo, la producción de raíces al inicio de los ciclos vegetativos; además ejerce una función de control en los procesos de fotosíntesis y metabolismo de carbohidratos, así como interviene en la maduración de los frutos (Fernández M., 2007).

En el café los síntomas de deficiencia de fósforo se presentan como una clorosis lobular entre las venas de las hojas más viejas en las ramas inferiores del arbusto. Estas hojas presentan unas manchas de forma irregular de color amarillo bronceado y pueden contener unas áreas con tinte rojizo. La defoliación es evidente y aunque no es un síntoma visible hay un pobre desarrollo del sistema radical. Este elemento es bien requerido en la etapa juvenil de los arbolitos para el buen desarrollo de la raíz (Vélez G., y Sepulveda D., 2012).

### **1.3.3 Potasio (K)**

Es un elemento de fuerte demanda por las plantas y su absorción en forma iónica ( $K^+$ ) del suelo es favorecida si su concentración, en la solución del suelo, es superior respecto al calcio y al magnesio (Donald C. L. Kass, 1998). Es vital para los procesos de crecimiento y desarrollo de la planta e interviene en el rendimiento del cultivo (Imas, 2005). El potasio se encuentra dentro de las células de la planta y se usa para mantener la presión de turgencia de la célula (lo que significa que evita que la planta se marchite prematuramente); además, el potasio cumple un rol en la formación correcta de estomas y actúa como activador de enzimas (Peery J., 2016).

La evaporación se reduce si hay una carencia de potasio. Como consecuencia, subirá la temperatura de las hojas y las células e quemarán. Esto sucede principalmente en los bordes de las hojas, donde, normalmente, la evaporación es máxima (CANNA, 2016).

## **1.4 Fertilización orgánica**

El *Codex Alimentarius* (Código alimentario es una colección de normas internacionales en materia de inocuidad de los alimentos adoptadas por la Comisión del Codex Alimentarius (el "Codex"). El Codex tiene su sede en Roma y es financiado conjuntamente por la FAO y la OMS), 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 (Codex, 1999). 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 al 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. (Codex, 1999).

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 sola 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 (Amador, 2001).

Una de las ventajas agronómicas en el contexto de la Agricultura Orgánica de mayor importancia, es la posibilidad cierta de elevar el potencial productivo de los suelos, generando condiciones para una mayor actividad biológica, mejorando su estructura y perfil químico, además de contribuir a la disminución que conlleva a su erosión. Además, existe un enriquecimiento genético donde interactúan distintas especies animales y vegetales, lo que logra un equilibrio ecológico que permite disminuir el ataque de plagas y enfermedades. Por otra parte, los productos agrícolas presentan mejor post cosecha y algunos estudios demuestran que tienen mejor calidad nutricional y organoléptica (Agricultura orgánica nacional: Bases técnicas y situación actual, 2013).

### 1.5 Producción mundial de café

El café es la mercancía más importante en el comercio agrario internacional y la segunda del mundo por detrás del petróleo, representando una fuente importante de ingresos en la mayoría de países de Latinoamérica (González, 2007).

El café se cultiva en el cinturón tropical y subtropical del Ecuador, entre los paralelos 23° N y 25° S, esto es entre los trópicos Cáncer y Capricornio. Las mejores áreas para el cultivo de café son las comprendidas en los 1200 y 1700 m s.n.m, con condiciones climáticas que oscilan entre los 2000 a 3000 mm anuales de precipitaciones y los 16 20°C (IHCAFE, 2005).

Según los datos publicados en octubre de 2015 que se muestran en la Tabla 3. Elaborada por la Organización Internacional de Café (OIC), muestra a Brasil como el principal productor de café mundial para agosto de 2014 con 45342 millones de sacos de 60 kg, seguido de Vietnam con 27500 millones de sacos, Colombia con 13333 millones de sacos e Indonesia con 10365 millones de sacos; Ecuador se encuentra con una producción de 644 millones de sacos.

Tabla 3. Producción total de todos los países exportadores en miles de sacos de 60 kilos.

Año de cosecha	2011	2012	2013	2014	%Cambio 2013-
<b>TOTAL</b>	<b>136 571</b>	<b>147 615</b>	<b>146 630</b>	<b>143 253</b>	<b>-2.3%</b>
Arábicas	82 007	88 370	87 010	84 999	-2.3%
Colombiano suave	8 720	11 523	13 488	14 656	8.7%
Otros suaves	31 845	28 933	26 829	26 531	-1.1%
Brasileño natural	41 442	47 914	46 693	43 812	-6.2%
Robustas	54 564	59 245	59 620	58 253	-2.3%
<b>África</b>	<b>16 058</b>	<b>16 632</b>	<b>16 240</b>	<b>16 569</b>	<b>2.0%</b>
Burundi	204	406	163	248	51.7%

Camerún	574	366	413	475	15.0%
Congo, DR	357	334	347	335	-3.5%
Costa de Marfil	1 966	2 072	2 107	2 175	3.2%
Etiopía	6 798	6 233	6 527	6 625	1.5%
Guinea	385	233	158	150	-5.0%
Kenia	757	875	838	850	1.4%
Madagascar	585	500	588	518	-11.9%
Ruanda	251	259	254	258	1.5%
Tanzania	544	1 109	809	728	-10.1%
Togo	162	78	135	100	-26.0%
Uganda	3 075	3 878	3 602	3 800	5.5%
Otros	399	289	298	307	3.3%
<b>Asia y Oceanía</b>	<b>41 919</b>	<b>45 379</b>	<b>46 573</b>	<b>45 693</b>	<b>-1.9%</b>
India	4 922	5 001	5 121	5 517	7.7%
Indonesia	7 288	13 048	11 449	10 365	-9.5%
Laos	512	542	544	500	-8.0%
Papúa Nueva Guinea	1 414	717	828	798	-3.6%
Filipinas	180	177	186	193	4.1%
Tailandia	831	608	638	494	-22.6%
Vietnam	26 500	25 000	27 500	27 500	0.0%
Yemen	185	190	191	185	-3.2%
Otros	88	96	116	142	22.6%
<b>México y Centro América</b>	<b>20 194</b>	<b>18 481</b>	<b>16 585</b>	<b>18 001</b>	<b>8.5%</b>
Costa Rica	1 462	1 571	1 444	1 508	4.4%
Cuba	100	88	107	101	-4.9%
República Dominicana	491	488	425	392	-7.8%
El Salvador	1 152	1 235	537	680	26.7%
Guatemala	3 840	3 743	3 159	3 500	10.8%
Haití	349	350	345	344	-0.4%
Honduras	5 903	4 537	4 568	5 400	18.2%
México	4 563	4 327	3 916	3 900	-0.4%
Nicaragua	2 193	1 991	1 941	2 050	5.6%
Panamá	106	116	110	95	-13.9%
Otros		35	32	30	-5.2%
<b>Sudamérica</b>	<b>58 400</b>	<b>67 122</b>	<b>67 232</b>	<b>62 990</b>	<b>-6.3%</b>
Bolivia	143	115	128	106	-16.8%
Brasil	43 484	50 826	49 152	45 342	-7.8%
Colombia	7 652	9 927	12 124	13 333	10.0%
<b>Ecuador</b>	<b>825</b>	<b>828</b>	<b>666</b>	<b>644</b>	<b>-3.2%</b>
Perú	5 373	4 453	4 338	2 883	-33.5%
Venezuela	902	952	805	660	-18.0%
Otros		21	21	21	1.3%

Fuente: © International Coffee Organization. Data as at October 2015 - next update January 2016.  
Elaboración: El autor.

Por otra parte es importante indicar, que varios de los principales países productores tendrán que enfrentar posibles contratiempos de la producción, con una gran presión sobre la cosecha brasileña de 2016/17. Ya que según la Compañía Nacional de Abastecimiento (Conab) de Brasil, reportó que la producción cafetera de ese país para 2015/16 disminuirá en 2,3 %, a 44,3 millones de sacos, la más baja predicción de este año (ICO, 2015).

## **CAPÍTULO 2**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**



## 2.1 Metodología

### 2.1.1 Localización del Proyecto

El proyecto se realizó en el sector Shucos, ubicado en el cantón Loja, provincia de Loja, donde hay una importante actividad de producción agrícola (Andes, 2013), con una altitud de 2100 m s.n.m. El clima de la zona es temperado-ecuatorial subhúmedo con una precipitación anual de 900 mm m<sup>-2</sup>, temperatura promedio de 16°C, humedad relativa de 75 %. Los suelos han sido clasificados como inceptisoles (GEO Loja, 2007). Los suelos indican que, algunos parámetros se encuentran en un rango apropiado para la producción de café: el pH ligeramente ácido, la materia orgánica (MO) con contenidos buenos, al igual que los contenidos de K son adecuados para la producción agrícola; mientras que el N total (Nt) y P presentaron contenidos bajos, que no son apropiados para la producción de café (Alarcó, 2011).

### 2.1.2 Selección del área de estudio

El área de estudio fue seleccionada en base a encontrar una parcela homogénea, en cuanto a: precipitación, humedad, temperatura, topografía regular, características del suelo, variedad de café (Caturra).

## 2.2 Diseño experimental

En un área de 2520 m<sup>2</sup>, se establecieron 12 parcelas de estudio, bajo un diseño experimental *Split-plot* (Diseño de parcelas divididas), el cual es una extensión de bloques al azar, basado en la ubicación de 12 parcelas de café, a las cuales se les aplicó tres tratamientos de fertilización orgánica a base del abono orgánico BIOABOR (Ver Anexo 1, composición de Bioabor), con dosis bajas, medias y altas, más un tratamiento testigo, indicando que cada tratamiento tuvo tres repeticiones (Ver Figura 2).

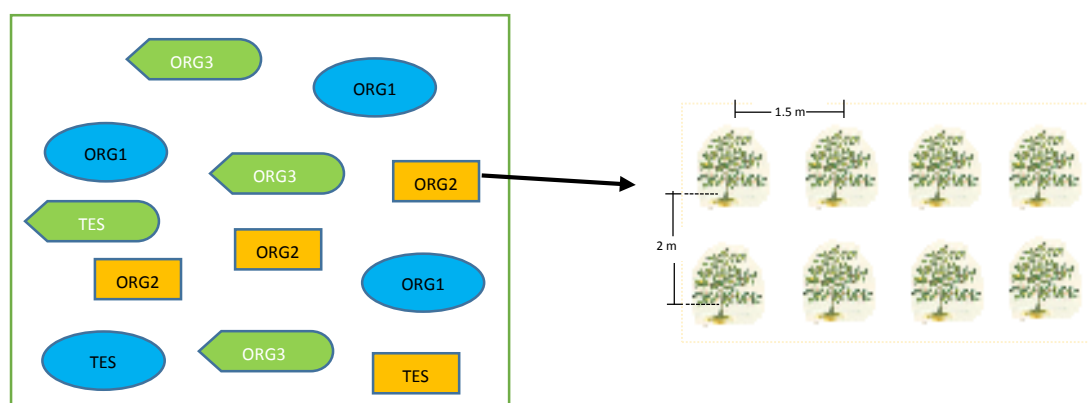


Figura 2. Distribución al azar y combinación de los tratamientos en la parcela de estudio. **ORG1** = Tratamiento orgánico dosis baja. **ORG2** = Tratamiento orgánico dosis media. **ORG3** = Tratamiento orgánico dosis alta. **Testigo** = Dosis cero. Elaboración: El autor.

## 2.3 Muestreo de suelo

En cada una de las parcelas establecidas de 10 x 5 m, se tomó las muestras de suelos, con una barrena (20 cm de profundidad por 5 cm de ancho), se recogió muestras de suelo a 20 cm de profundidad (horizonte mineral) que es donde se encuentra la mayor parte del sistema radicular de la planta; la muestra recolectada

tuvo un peso de 1 Kg, la cual estuvo compuesta de seis sub-muestras. El respectivo muestreo se realizó en dos periodos (cada seis meses): al inicio del estudio, antes de la aplicación de los tratamientos de fertilización orgánica y otra al final del estudio, después de la aplicación de los tratamientos de fertilización orgánica.

Una vez tomadas e identificadas las muestras de suelo, fueron llevadas inmediatamente al laboratorio de Suelos Agrícolas de la UTPL, en donde comenzó su proceso de secado, triturado y tamizado, utilizando un tamiz menor a 2 mm.

#### **2.4 Análisis químicos de suelos**

Los análisis de suelos se los realizó al inicio y final del estudio (periodo de evaluación de un año), antes y después de las fertilizaciones orgánicas, con la finalidad de evaluar el balance de nutrientes del suelo y sus respectivos cambios.

Los análisis de suelos que se realizaron fueron:

##### **2.4.1 pH (relación 1:2,5 suelo - agua)**

Se midió mediante un pH-metro (pH-metro Mettler – Toledo S20-ks, electrodo InLab 410) cuya calibración se apoya en tres búferes de pH 4,7 y 10. La medida se hace en un extracto acuoso 1:2,5 suelo-agua.

##### **2.4.2 Materia orgánica (MO)**

Se utilizó el método de Walkley y Black (Nelson y Sommers, 1996) basado en la oxidación de C con exceso de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) en presencia de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), con calentamiento espontáneo por dilución del sulfúrico, valorando el exceso de dicromato por retroceso con sal ferrosa.

$$\% C \text{ orgánico} = (B - M) \cdot N \cdot 0,003 \cdot 1,3 \cdot 100 / Wm$$

Dónde:

B = Volumen (mL) de sulfato ferroso amónico gastado en la titulación del blanco

M = Volumen (mL) de Sulfato Ferroso gastado en la titulación de la muestra

Wm = Peso (g) de la muestra seca a 105 o C

N = Normalidad real de la solución de sulfato ferroso usado en la titulación

Factor 0,003 = Peso en gramos de un miliequivalente de C, obtenido al dividir el peso atómico del C (12) entre el número de valencia del C (4) y luego dividido entre 1000

Factor 1,3 = Factor de eficiencia de Oxidación del C orgánico, obtenido al dividir 100 entre 77. Es un factor de compensación por la combustión incompleta de la materia orgánica.

##### **2.4.3 Nitrógeno total (Nt)**

Se determinó el Nitrógeno total mediante el método micro Kjeldahl (Bremmer, 1982), que se basa en la mineralización del nitrógeno orgánico del suelo a través de la digestión (equipo de digestión LABCONCO tipo SI 36), que es ejecutada al calentar la muestra con ácido sulfúrico concentrado. Y seguido se realizó la lectura para determinación del nitrógeno total en el espectrofotómetro UV a 660 nm (Jenway 6.400 serie 13.309).

$$Nt = 1,4007(Vm - Vb)m$$

Dónde:

Nt = Nitrógeno total (g/Kg).

Vm = Volumen del HCL gastado en la muestra (mL).



Vb = Volumen del HCL gastado en el blanco (mL).  
N = Normalidad real de HCL.  
Vm = Peso de la muestra seca de a 105 °C (g)  
1,4007 = Factor del nitrógeno

#### 2.4.4 Fósforo (P)

La extracción del fósforo se hizo utilizando Olsen (bicarbonato de sodio NaHCO<sub>3</sub> más hidróxido de sodio NaOH) y la determinación se hizo por el método colorimétrico descrito por Murphy y Riley (1962). La lectura se realizó en el espectrofotómetro de emisión UV a 882 nm (Jenway 6.400 serie 13.309).

#### 2.4.5 Potasio (K)

Se utilizó la solución Olsen y espectrofotometría de absorción atómica (Perkin Elmer AAnalyst 400). A la muestra de suelo le adicionamos la solución Olsen modificada que contiene NaHCO<sub>3</sub> y EDTA (ethylenedinitrilo, etracetic acid, diodium salt, dihydrate), agitamos 30 minutos y filtramos. Realizamos la lectura de acuerdo a las especificaciones del equipo (Suárez, 1996).

$$k \text{ (ppm)} = CC * Vo * fd / Wm$$

Dónde:

CC = Concentración de la curva (mg/l)

Vo = Volumen original (mL)

Fd = Factor de dilución

Wm = Peso de la muestra seca a 105 o C (g)

### 2.5 Fertilización del cultivo de café

Lo que se consideró para la aplicación de las dosis de fertilizante orgánico es, necesidades del cultivo, la edad del cultivo, fechas de floraciones de la zona, contenido de nutrientes en el suelo de cada una de las parcelas establecidas y productos más utilizados en la fertilización orgánica por parte de los productores de café en la provincia de Loja (humus, nombre comercial Bioabor).

BIOABOR es un fertilizante orgánico comercial, natural, balanceado, biodegradable y asimilable para todo tipo de suelo. Elaborado a partir de estiércol de caballo, ceniza, fermentos orgánicos con bacterias de fermentación láctica y fototrópicas, levaduras y actinomicetos, de inmediata disponibilidad y fácil absorción por las plantas, además de tener un efecto residual en el suelo por más de 18 meses (BIOECO, 2006) (Ver Anexo 1).

Las aplicaciones de los fertilizantes se las realizó dos veces al año (enero y junio) según las recomendaciones dadas por Iñiguez (1996). El método de fertilización se realizó siguiendo las recomendaciones de Valencia (1998), el cual indica que el abono o fertilizante, debe ser aplicado alrededor del tronco, con una cobertura similar a la copa de la planta (plato del árbol), donde se localiza el área radicular de la planta.

La dosis de fertilización que se aplicaron se muestra en la Tabla 4:

Tabla 4. Dosis de fertilización orgánica (Bioabor).

<b>Dosis de N, P, K (Kg ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>)</b>				
Tratamiento	Inicio del ensayo			
	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Total*</b>
<b>ORG 1</b>	85	42,5	20	147,5
<b>ORG 2</b>	153	76,5	36	265,5
<b>ORG 3</b>	212	106	50	368
<b>Testigo</b>	0	0	0	0

**ORG1** = Tratamiento orgánico dosis baja. **ORG2** = Tratamiento orgánico dosis media. **ORG3** = Tratamiento orgánico dosis alta. **Testigo** = Dosis cero.

\*La dosis total se dividió en dos fertilizaciones (Enero y Junio).

Elaboración: El autor.

## 2.6 Muestreo de la vegetación (fenología y productividad)

Con el fin de estudiar el comportamiento agronómico fisiológico y productivo en los ensayos del cultivo de café y su relación con la fertilización orgánica, se llevaron a cabo la toma de los siguientes datos:

### 2.6.1 Altura de la planta

La medición de altura de la planta de café se la realizó con un flexómetro, desde la base de la planta (suelo), hasta la yema o ápice. A cada planta se le realizó tres mediciones de altura, de estas medidas se obtuvo un promedio, el cual sirvió de dato final. El muestreo para este parámetro fue cada cuatro meses (Ver Figura 3).

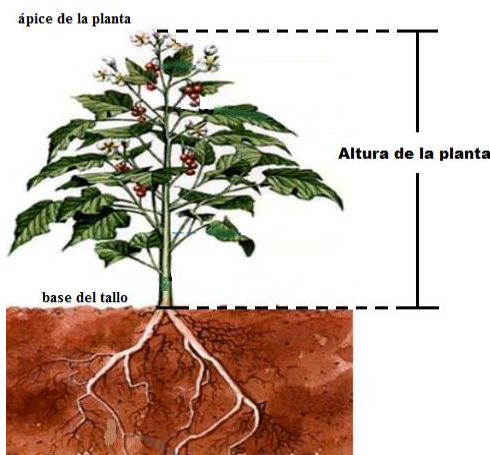


Figura 3. Medición de la altura de una planta de café.  
Elaboración: El autor.

### 2.6.2 Ancho de copa

Este parámetro fisiológico, al igual que la altura se lo efectuó con una frecuencia de cada cuatro meses, esta medida fue tomada a nivel de los extremos de la copa (ramas más sobresalientes de la planta), se utilizó una plomada para hacer el cálculo más exacto, así mismo se tomó tres datos y se obtuvo una media (Ver Figura 4).



Figura 4. Medición del ancho de copa de la planta de café.  
Elaboración: El autor.

### 2.6.3 Diámetro del tallo

De manera similar, medido cada cuatro meses, con calibrador de vernier (se ha realizado la respectiva transformación del dato a cm, para homogenizar variables). Los datos se tomaron a 10 cm de altura del tallo, e igual que en la altura y ancho de copa se realizó tres muestreos para obtener un promedio final por planta (Ver Figura 5).

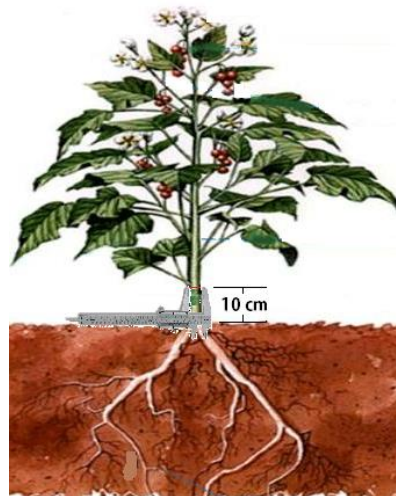


Figura 5. Medición de diámetro del tallo de una planta de café.  
Elaboración: El autor.

### 2.6.4 Cosecha y productividad

La estimación de la producción en cada parcela se calculó al final de la cosecha, se colectaron las cerezas de café cuando tuvieron un grado de madurez de al menos un 90 %, después se las secó al sol hasta obtener un peso constante (Café pergamino), los valores se registraron expresándolos a  $\text{Kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  de café pergamino (Ver Figura 6).



Figura 6.Recolección de cerezos de una planta de café.  
Elaboración: El autor.

## 2.7 Manejo específico del ensayo

El control de plagas y enfermedades, control de malas hierbas y riego en el cultivo, se lo realizó de manera similar en todas las parcelas o tratamientos establecidos, con la finalidad de que esto no afecte los datos de las variables estudiadas.

Se realizó la aplicación de insecticidas y fungicidas sello verde para el control de plagas y enfermedades. El control de malas hierbas se lo realizó cuando era necesario y de forma manual y el riego según la necesidad del cultivo y por inundación.

## 2.8 Análisis estadístico

Para evaluar y observar las diferencias estadísticas significativas de los parámetros en estudio (propiedades químicas del suelo, desarrollo fenológico y productividad del cultivo) se aplicó ANOVAS de una vía, con la prueba de Tukey ( $p > 0,005$ ) subconjuntos homogéneos y, utilizando el programa estadístico SPSS 17.0

## **CAPÍTULO 3**

### **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

### 3.1 Propiedades químicas del suelo

A continuación se describen los resultados de las propiedades químicas del suelo, al inicio y al final del ensayo en el cultivo de café, en los diferentes tratamientos de fertilización orgánica aplicados (dosis baja, dosis media, dosis alta y testigo,) durante un año.

#### 3.1.1 pH

Los valores de pH se muestran en la Figura 7, se puede observar que al inicio del ensayo, el pH del suelo es ligeramente ácido (PROCAFE, 1995), con un promedio de 6,34 en los tratamientos, no existiendo diferencia estadística significativa entre ellos. Por otra parte, al finalizar el ensayo tras las aplicaciones de los abonos orgánicos, los valores de pH disminuyeron, tendiendo a la acidificación (6,31 a 6,33), sin embargo no se ve diferencias estadísticas significativas entre tratamientos al cabo de un año de haber fertilizado el cultivo. No obstante, se puede apreciar que los tratamientos que más se acidificaron son los tratamientos ORG2 (dosis media) y ORG3 (dosis alta). Sin embargo hay que indicar que los valores de pH en todos los tratamientos, tanto al inicio como al final de la investigación, se encuentran en un rango óptimo para el desarrollo adecuado del cafeto (Alarcó, 2011).

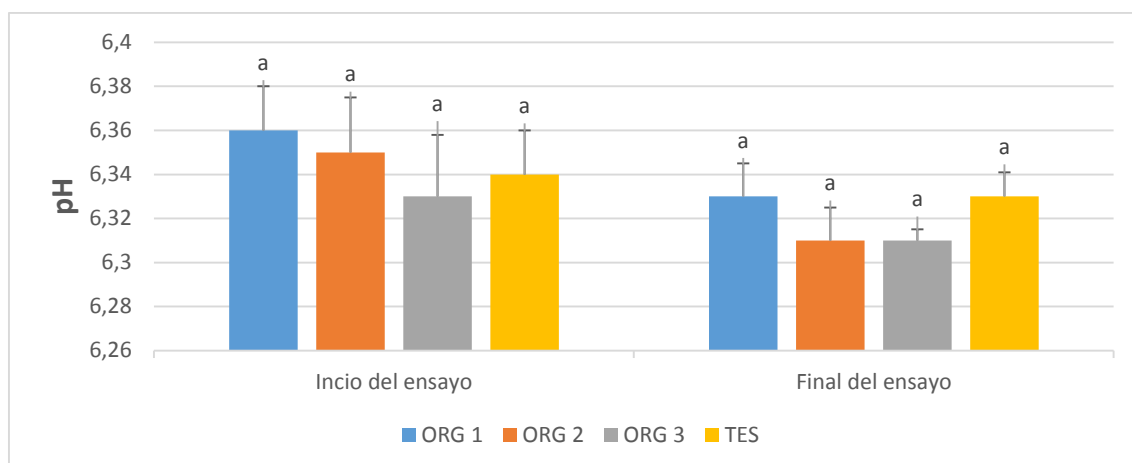


Figura 7. Valores de pH al inicio y al final del ensayo.

**ORG1** = Tratamiento orgánico dosis baja. **ORG2** = Tratamiento orgánico dosis media. **ORG3** = Tratamiento orgánico dosis alta. **Testigo** = Dosis cero.

\*Letras minúsculas diferentes, indican diferencia estadística significativa entre tratamientos en cada periodo evaluado.

Elaboración: El autor.

Esta ligera acidificación en los tratamientos en las parcelas de café, probablemente se debe al proceso de mineralización, mediante el cual el nitrógeno orgánico del suelo es transformado por los microorganismos del suelo a formas inorgánicas amonio y nitrato (Binkley y Hart, 1989), que produce la liberación de cationes  $H^+$  por acción de la nitrificación del abono nitrogenado, que provoca la reducción de pH en el sustrato (PRO-MIX, 2016). Lo indicado por los autores coincide con lo ocurrido en las parcelas de investigación, en donde claramente se puede observar que luego de un año de fertilización orgánica, el pH del suelo tiende a la acidificación; aunque cabe indicar que esta variación ha sido mínima, ya que el humus contiene grupos activos que se comportan como ácidos débiles liberando iones hidrógeno. Por otra parte también

podemos atribuir parte de esta acidificación a la descomposición de los residuos orgánicos, lo que produce dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el cual al combinarse con agua forma ácido carbónico. La disociación de este ácido débil proporciona otra fuente de acidificación en el suelo (Campillo y Sadzawka, 2009). Por otro lado, la ligera acidificación puede explicarse debido a la hidrólisis del  $\text{CO}_2$  proveniente de la respiración de los microorganismos, los grupos ácidos y alcohólicos de la materia orgánica (Zapata, 2004) y a la acumulación de materia orgánica en la superficie del suelo a causa de labranza mínima (Burle et al., 1997; Tang, 1998; Limousin & Tessier, 2007). Aguilera (2000), encontró que la materia orgánica del suelo (MO) afecta la reacción del suelo (pH) debido a los diversos grupos activos que aportan grados de acidez, a las bases de cambio y al contenido de nitrógeno presente en los residuos orgánicos aportados al suelo.

Además indicar que el pH del Bioabor es ligeramente ácido (alrededor de 6), lo cual también puede estar influenciando, en que los niveles de pH del suelo bajen o se acidifiquen ligeramente.

### **3.1.2 Materia Orgánica (MO)**

En la Figura 8, se puede observar los contenidos en porcentajes de MO presentes en el suelo de los diferentes tratamientos. Se indica que al inicio del ensayo los suelos parten con contenidos similares en MO, sin mostrar diferencia estadística. Luego de las fertilizaciones realizadas durante un año, los valores estadísticos no presentan diferencias significativas entre tratamientos orgánicos; sin embargo se aprecia que el tratamiento ORG 3 es el que mejor contenido ha acumulado; al inicio antes de fertilizar tenía un total de 2,62 % y al final de 2,87 %, así pues su aumento en contenido de MO fue de 0,25 %, seguido del tratamiento ORG2 que al inicio tiene un total de 2,56 % y al final de 2,79 %, y su aumento en contenido total fue de MO fue de 0,23 %. Por otra parte se puede ver que el tratamiento Testigo ha perdido MO en los suelos de las parcelas del mismo, de 2,56 % (Inicio) a 2,27 % (Final); es decir, una disminución de 0,29 % con respecto a su contenido inicial, he indica diferencias estadísticas frente a los tres tratamiento orgánicos. Así mismo cabe indicar que estos contenidos según Gil (2008), están dentro de los porcentajes óptimos para el desarrollo y producción del cultivo.

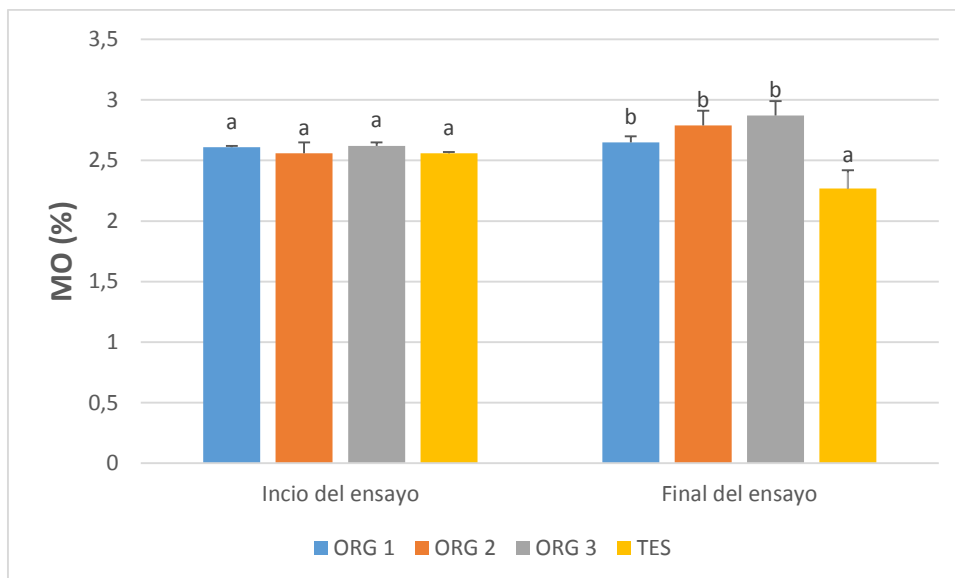


Figura 8. Valores de Materia orgánica (MO) en porcentajes al inicio y al final del ensayo. **ORG1** = Tratamiento orgánico dosis baja. **ORG2** = Tratamiento orgánico dosis media. **ORG3** = Tratamiento orgánico dosis alta. **Testigo** = Dosis cero.

\*Letras minúsculas diferentes, indican diferencia estadística significativa entre tratamientos en cada periodo evaluado.

Elaboración: El autor.

El aumento de MO en el suelo en estas parcelas fertilizadas a base de humus (Bioabor), se debería principalmente al gran contenido de MO que contiene el abono o fertilizante en su composición (75,3 % de MO) (Ver Anexo 1), lo cual concuerda con Basavaraju y Gururaja Rao (2000), ellos comentan que el contenido de MO aumenta en el suelo a corto plazo debido a la acumulación de residuos orgánicos en el suelo; también los resultados del trabajo coinciden con Pinamonti (1998), que encontró un incremento en el contenido de MO del suelo al aplicar compost. El incremento en contenidos de MO en el suelo, se da también por el aporte de materiales orgánicos de distinta naturaleza al suelo (Sadeghian, 2003), tal como el resto de podas, mismas que se incorporaron en cada parcela de estudio. Pérez Díaz et al. (2001), mencionan que los aportes de hojarasca incrementan la MO del suelo en comparación a su contenido inicial, debido a su descomposición, tanto por el cafeto como por los árboles leguminosos utilizados como sombra, aunque en esta investigación solo se aportó hojarasca del café, debido a que el cultivo no estuvo asociado con otra especie. Este incremento de la MO también se corrobora con los resultados obtenidos de Pavan et al. (1999), que encontraron que, en un cafetal con elevada densidad de siembra los residuos orgánicos contribuyeron a incrementar el carbono orgánico del suelo.

### 3.1.3 Nitrógeno total (Nt)

En la Figura 9, se aprecia que los niveles en porcentaje de Nt al inicio del ensayo son homogéneos, no habiendo diferencia estadística significativa entre los tratamientos aplicados de fertilización orgánica y testigo; además podemos ver, que los valores son bajos en todos los tratamientos (ORG1, ORG2 y ORG3) con porcentajes del 0,07 % y, de 0,06 % para el testigo (TES); estos porcentajes según Duicela (2011), no son aptos para el correcto desarrollo del cultivo, por lo que la fertilización es necesaria. Después de un año de fertilizar el cafetal, podemos observar, que los contenidos de este



nutriente han aumentado, indicando que los tratamientos ORG2 y ORG3 son los que tienen mayor contenido. Ambos tratamientos (ORG2 y ORG3) al inicio tienen un total de 0,07 % y al final de 0,11 %, en este sentido su aumento en contenido de N fue de 0,04 % no mostrando diferencia estadística entre ellos, pero estos si lo hacen con el ORG1 y testigo (TES), que elevaron sus valores en un 0,03 % y 0,01 % respectivamente.

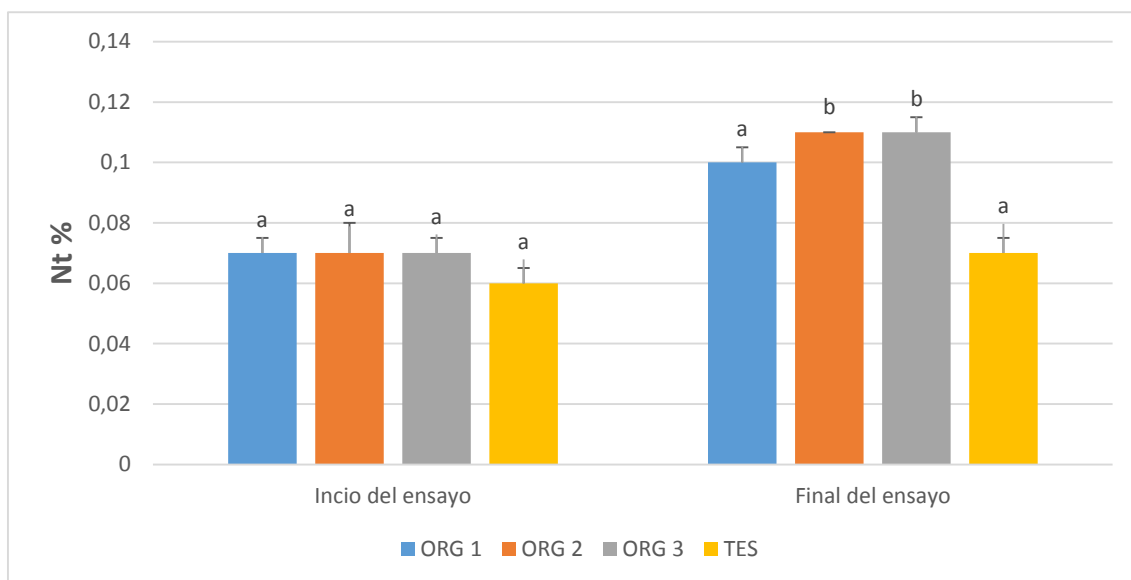


Figura 9. Contenidos en porcentajes de nitrógeno total al inicio y al final del ensayo. **ORG1** = Tratamiento orgánico dosis baja. **ORG2** = Tratamiento orgánico dosis media. **ORG3** = Tratamiento orgánico dosis alta. **Testigo** = Dosis cero.

\*Letras minúsculas diferentes, indican diferencia estadística significativa entre tratamientos en cada periodo evaluado.

Elaboración: El autor.

Aunque los valores de Nt aumentaron gracias a la adición del fertilizante orgánico, éste incremento fue muy bajo, posiblemente debido a la alta extracción del cultivo de café, lo que sumado a los procesos de mineralización y volatilización del N hayan hecho que este nutriente no haya tenido una acumulación significativa mayor. Otra de las consecuencias de la poca acumulación de N puede ser que hubieron pérdidas de N por escorrentía; según Lindau et al. (1996), encontraron que alrededor del 3-4% del N aplicado en campos de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en Inceptisoles fue removido por la escorrentía superficial, en general las pérdidas de N del suelo por escorrentía son pequeñas, excepto cuando esta se produce poco después de la aplicación de los fertilizantes nitrogenados (Ramos y Ocio, 1992). Por otra parte Meléndez (2003), indica que la adición de residuos orgánicos está acompañada de un incremento en la población microbiana, estas poblaciones requieren nitrógeno para hacer posible el crecimiento de la biomasa microbiana. Al tomar el N necesario para su crecimiento, la flora microbiana baja los niveles de  $\text{NO}_3$  y  $\text{NH}_4$  disminuyendo la disponibilidad de N para los organismos nitrificantes y para las plantas, esto se conoce como inmovilización, lo cual también debe estar ocurriendo en la presente investigación, en donde al adicionar cantidades altas de abono orgánico, las poblaciones microbianas lo están absorbiendo para cumplir con sus ciclos de vida, por lo que podría ser una causa de la menor acumulación del N en el suelo.

Así mismo, la poca acumulación se puede dar por las importantes pérdidas debido a los procesos de desnitrificación, erosión del suelo, lixiviado y volatilización (Philippot y Germon, 2005).

### 3.1.4 Fósforo (P)

En la Figura 10, se ve que los contenidos de P son uniformes al inicio de la investigación, y no presentan diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos establecidos; en este nutriente de manera similar al N, los contenidos son bajos entre 1,44 a 1,50 mg Kg<sup>-1</sup>. Al final del ensayo (luego de la aplicación del respectivo abono) los tratamientos de fertilización orgánica se incrementaron con respecto a sus valores iniciales, sin embargo en este periodo de evaluación no mostraron diferencias estadísticas entre ellos, pero sí lo hicieron con el tratamiento testigo, este último no tuvo un aumento significativo. Dentro de este marco las concentraciones de P en el tratamiento ORG2, que al inicio tiene un valor de 1,44 mg Kg<sup>-1</sup> y al final un valor de 2,08 mg Kg<sup>-1</sup>, aumentaron 0,64 mg Kg<sup>-1</sup>; las concentraciones de P en ORG3 elevaron sus valores de 1,49 mg Kg<sup>-1</sup> al inicio a 2,12 mg Kg<sup>-1</sup> al final del estudio, con un incremento de 0,63 mg Kg<sup>-1</sup>; en este sentido ORG3 es el tratamiento que presentó el valor más alto, seguido del tratamiento ORG2, no obstante ORG2 aumento en mayor concentración, sin mostrar diferencia estadística con el tratamiento ORG 1, el cual también tuvo un pequeño incremento. Estos contenidos están por debajo de los rangos de las condiciones óptimas para el desarrollo del cultivo según ICAFE (1998); Valencia y Bravo (1975), citados por Alarcó (2011).

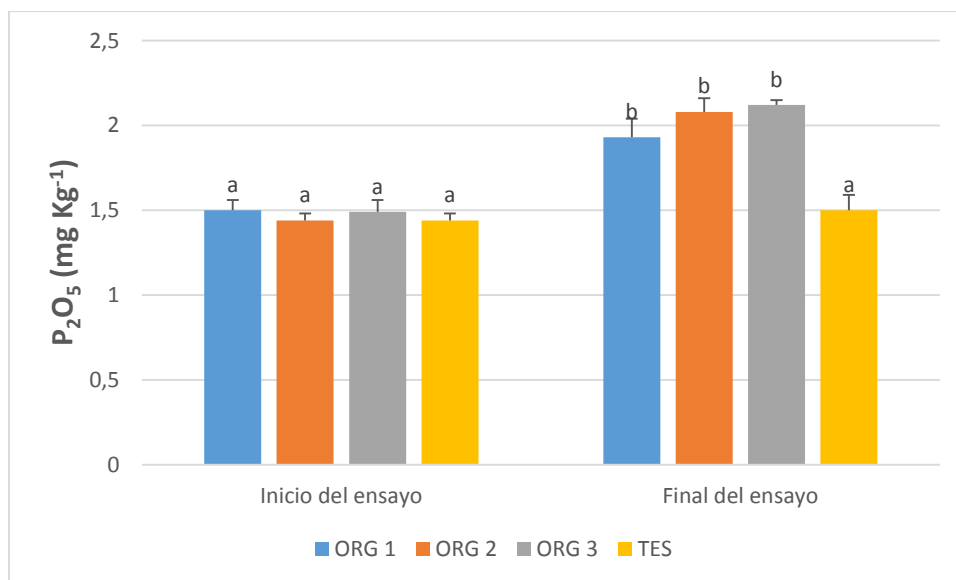


Figura 10. Contenidos en mg Kg<sup>-1</sup> de fósforo disponible al inicio y al final del ensayo. **ORG1** = Tratamiento orgánico dosis baja. **ORG2** = Tratamiento orgánico dosis media. **ORG3** = Tratamiento orgánico dosis alta. **Testigo** = Dosis cero.

\*Letras minúsculas diferentes, indican diferencia estadística significativa entre tratamientos en cada periodo evaluado.

Elaboración: El autor.

Es importante mencionar que los valores de P en el suelo de estas parcelas en estudio aumentaron, probablemente debido al abono aplicado en el transcurso del año de

estudio, por la alta correlación entre el carbono orgánico y el P disponible en suelos, tal como lo indica Boschetti et al. (2003); sin embargo cabe indicar que los contenidos siguen siendo bajos para producir café. Según Holford (1997), el fósforo es el elemento menos móvil y con más problemas de biodisponibilidad de todos los macronutrientes. También puede estar retenido por óxidos e hidróxidos de Fe y por Al o por complejos humus-aluminio, lo cual es propio de suelos pertenecientes al orden de los Andisoles (Espinosa, 2007). Por otro lado, la baja disponibilidad de P está asociada con la alta estabilidad y la baja tasa de mineralización de los compuestos fosfatados (Daza et al., 2006).

### 3.1.5 Potasio (K)

En la Figura 11, se muestran los resultados de análisis de suelos que se obtuvieron para el K, al igual que los otros parámetros químicos de suelos estudiados, estos son homogéneos al inicio de la investigación, no muestran diferencia estadística entre los tratamientos establecidos. Después de las fertilizaciones realizadas, el K presenta contenidos medios y altos, para los tratamientos ORG1, ORG2 y ORG3, con un rango comprendido entre 1,1  $\text{cmol Kg}^{-1}$  a 1,4  $\text{cmol Kg}^{-1}$ , no indicando diferencias estadísticas significativas entre ORG2 y ORG3, pero si lo hacen contra ORG1. El tratamiento ORG 3 es el que mayores aumentos presentó, con un contenido inicial de 1,02  $\text{cmol Kg}^{-1}$  y final de 1,4  $\text{cmol Kg}^{-1}$ , por lo que su incremento en contenido de K fue de 0,38  $\text{cmol Kg}^{-1}$ , en contraste el tratamiento Testigo disminuyó sus contenidos, siendo el más bajo y presentando menos valor estadístico con respecto a los tratamientos orgánicos. Según Sadeghian (2003), los contenidos de K superiores a 0,85  $\text{cmol Kg}^{-1}$ , son clasificados como contenidos altos.

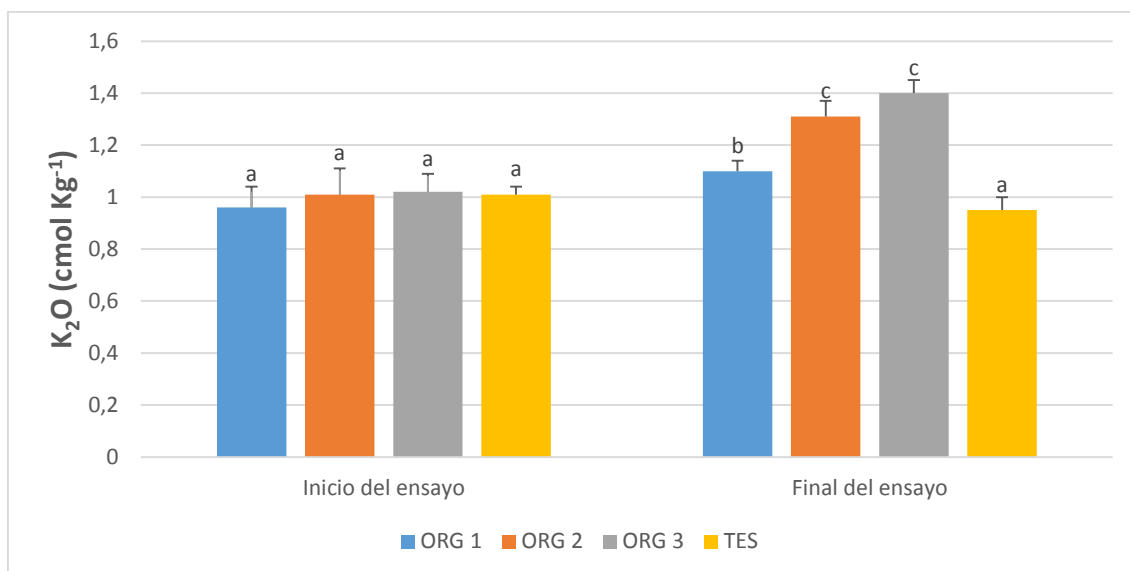


Figura 11. Contenido en  $\text{cmol Kg}^{-1}$  de potasio disponible, al inicio y al final del ensayo. **ORG1** = Tratamiento orgánico dosis baja. **ORG2** = Tratamiento orgánico dosis media. **ORG3** = Tratamiento orgánico dosis alta. **Testigo** = Dosis cero. Letras minúsculas diferentes, indican diferencia estadística significativa entre tratamientos en cada periodo evaluado. Elaboración: El autor.

El contenido de K al final se incrementó, siendo favorable para la producción y buen desarrollo del cultivo. La adición de fertilizante o abono orgánico ha provocado

posiblemente el incremento de este elemento, lo cual coincide con Bebe et al. (2009) que menciona que la aplicación de enmiendas orgánicas eleva la concentración de K en la composición del suelo además de otros micronutrientes como el Ca, Mg y Na; también se eleva la disponibilidad de nutrientes principalmente del potasio y mejora la capacidad de intercambio catiónico (Quintero, 2003) que permite retener y liberar los cationes como el K para equilibrar la composición del suelo. Thompson y Troeh (1988), mencionan que el K es un elemento que no se desplaza mucho en el suelo debido a materiales parentales con Feldespato, además por otra parte, la textura arcillosa de este suelo tiene una gran capacidad de retención de K (Capa et al., 2015), y que gracias a la meteorización de los minerales primarios y secundarios se libera el potasio hidrosoluble e intercambiable en el suelo que puede ser aprovechado por las plantas (Núñez, 2002). Por otro lado según Padilla (2007), generalmente los suelos ácidos no presentan mayores problemas de fijación de K, pues hasta con un proceso de enclamiento de estos suelos hasta pH 6, no se producen problemas de fijación ya que el  $Al^{+++}$  permanece en las inter láminas del suelo, esto explica el buen contenido de potasio en el suelo de este estudio ya que presentan valores de pH similares a los mencionados por el autor.

### **3.2 Desarrollo Vegetativo**

Los resultados del desarrollo fenológico del café (altura, ancho de copa y diámetro de tallo), se muestran a continuación, en este punto se debe indicar que se parte de resultados estadísticamente homogéneos en todas las parcelas de estudio.

#### **3.2.1 Altura**

En la Figura 12 y Anexo 2, se puede ver que al inicio del ensayo los datos de las alturas son muy aproximados entre ellas, y van desde 69,9 cm (TES) a 73,54 cm (ORG3), no mostrando diferencia estadística significativa entre tratamientos. Después de la primera fertilización (mes 1), observamos en la Figura 12, que existe diferencia estadística significativa en el tratamiento ORG3 frente a los otros dos tratamientos orgánicos y el Testigo, así mismo podemos observar que entre los tratamientos ORG1, ORG2 y TES hay un aumento visual de 18,69 cm, 18,4 cm y 19,67 cm respectivamente pero que no se mostraron diferencias estadísticas entre sí. En el mes 4, antes de la segunda aplicación de fertilización, los tratamientos ORG2 y ORG3 presentaron la mayor altura, con un incremento visual de 35,76 cm y 34,04 cm, con respecto a sus valores iniciales respectivamente, sin mostrar diferencia estadística significativa entre ellos, pero si con ORG1 y TES que solo aumentaron 26,39 cm y 28,39 cm respectivamente, en comparación de sus valores iniciales. Luego de la segunda aplicación de fertilizante en el mes 8, se mantiene la misma tendencia que en el muestreo anterior, siendo ORG2 y ORG3 los tratamientos estadísticamente con mayor desarrollo de altura, con aumentos de 46,18 cm y 46,25 cm individualmente, aunque ORG1 registró un incremento gráfico mayor que ORG2, con 38,83 cm, no presentando una diferencia estadística significativa. Al finalizar el estudio el tratamiento ORG3 se consolidó como el mejor tratamiento, siendo estadísticamente diferente a los demás tratamientos, y con un incremento final total de altura de 59,44 cm, que corrobora lo antes dicho; seguido de ORG2 con un aumento de 52,7 cm y luego ORG1 con 49,44 cm que son estadísticamente diferentes entre sí. De esta forma, la aplicación de fertilización de dosis alta (ORG3), incremento la altura del

cultivo, a lo largo del año de estudio, de 73,54 cm a 130,27 cm, mostrando los mejores resultados.

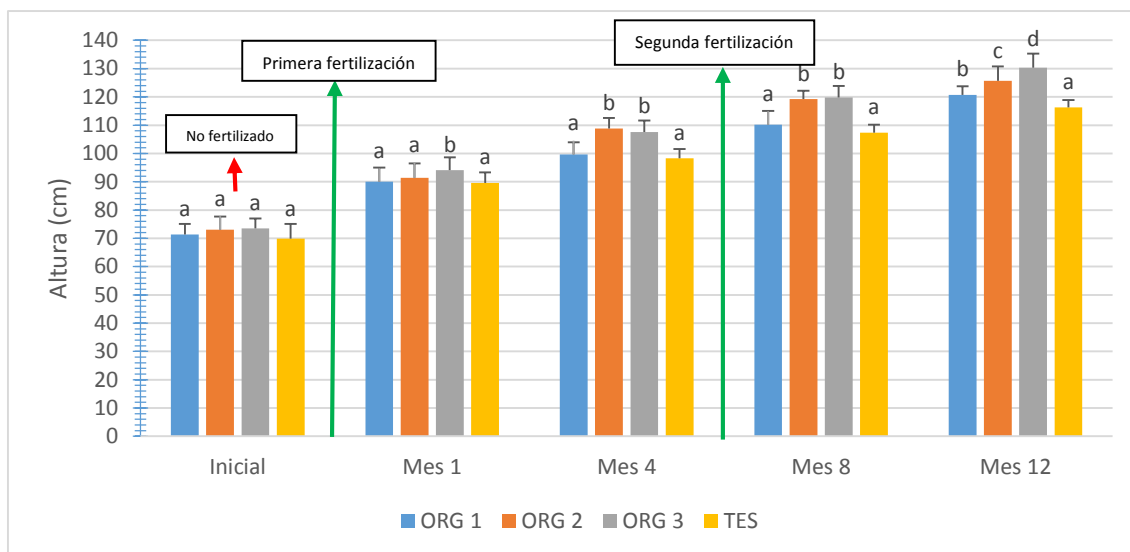


Figura 12. Crecimiento de la altura al inicio y al final del ensayo.

**ORG1** = Tratamiento orgánico dosis baja. **ORG2** = Tratamiento orgánico dosis media. **ORG3** = Tratamiento orgánico dosis alta. **Testigo** = Dosis cero.

Letras minúsculas diferentes, indican diferencia estadística significativa entre tratamientos en cada periodo evaluado.

Elaboración: El autor.

El incremento de la altura de la planta, se dio probablemente a la influencia del fertilizante orgánico (Bioabor) utilizado en esta investigación, ya que a que a mayor concentración o adición de fertilizante, mayor incremento en altura de la planta de café. Según Restrepo (2010), las foto-hormonas y foto-reguladores naturales que contiene la planta se ven afectadas a través de los abonos fermentados, estimulando el crecimiento de la planta, cosa que estaría ocurriendo con los tratamientos establecidos. Este crecimiento también se pudo dar debido a que los abonos orgánicos pueden mejorar la condición de la raíz y aportar nutrientes a la planta, lo que favorece un crecimiento adecuado del cultivo (Huber 1980; Huber 1991), mejorando la absorción de nutrientes para el desarrollo de la planta. Por otra parte, Arcila et al. (2001), encontraron que la aplicación de abono orgánico contribuye a un mayor crecimiento en altura del tallo y perímetro del pseudo tallo de la planta, lo que es corroborado por Viteri et al. (2008), que mencionan que la aplicación de abonos orgánicos (caldos) provoca un efecto directo sobre la tasa de crecimiento de las plantas en sus primeros días de desarrollo, ya que actúa específicamente sobre los aminoácidos esenciales que requiere la planta en sus primeros días de desarrollo, donde genera un aumento en la longitud.

### 3.2.2 Ancho de copa

A continuación en la Figura 13 y Anexo 3, podemos observar que los datos al inicio de la investigación son homogéneos y no presentan diferencias estadísticas entre ellos. De esta manera los resultados de los tratamientos orgánicos y del Testigo luego de la fertilización inicial varían estadísticamente; aunque existe diferencia observacional entre todos los tratamientos; ORG1 y ORG3 son estadísticamente relevantes con

aumentos individuales 18,6 cm y 22,6 cm, con respecto a sus medidas iniciales. En el mes 4, ORG2 y ORG3 son estadísticamente diferentes entre sí frente al tratamiento ORG1 y el Testigo y, aunque visualmente ORG2 presentó un mayor incremento con 38,01 cm en comparación con el incremento de 41,19 cm de ORG3, es éste último, el que estadísticamente mostró los mejores resultados. Luego de la segunda fertilización final (mes 8) se mantiene la misma tendencia que el mes anterior, donde todos los tratamientos presentan diferencias estadísticas entres sí, pero sigue siendo ORG3 el tratamiento que tuvo un mayor incremento sobre los demás tratamientos, con un aumento de 58,81 cm. De esta manera se corrobora que al final del ensayo (mes 12) el aumento de ORG3 es estadísticamente significativo, con un aumento final total de 69,35 cm, es decir, que el ancho de copa aumento de 87,81 cm al inicio del ensayo a 157,16 cm al final del ensayo, ubicándolo como el mejor tratamiento al término de la investigación.

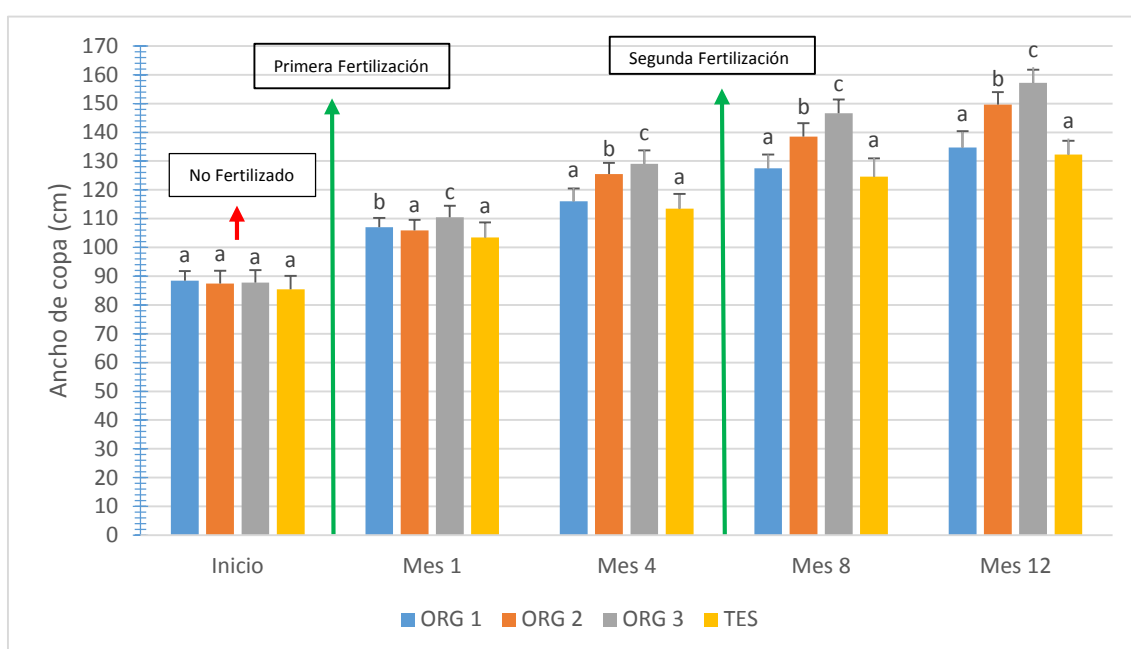


Figura 13. Aumento del ancho de copa al inicio y al final del ensayo.

**ORG1** = Tratamiento orgánico dosis baja. **ORG2** = Tratamiento orgánico dosis media. **ORG3** = Tratamiento orgánico dosis alta. **Testigo** = Dosis cero.

Letras minúsculas diferentes, indican diferencia estadística significativa entre tratamientos en cada periodo evaluado.

Elaboración: El autor.

Tomando en cuenta que la demanda de nutrimentos por parte de las hojas cambia durante el ciclo de vida (Gutiérrez, 2002), podemos observar en la Figura 13, que existe un aumento de la copa significativo durante este primer año de investigación, lo cual concuerda con lo indicado por Sánchez (2016), que el P es requerido en grandes cantidades en la etapa de crecimiento, para una mayor formación de masa foliar, además comenta que este nutriente se presenta en mayores concentraciones en las hojas, pero una vez que se ha desarrollado la copa su concentración disminuye, para luego intervenir en el crecimiento del fruto; bajo condiciones de deficiencia de nitrógeno y de magnesio ocurre menos producción de clorofila y puede presentarse defoliación (Arcila, 2007), Sanclemente y Peña (2008), muestran en su estudio que

existe una tendencia general de los parámetros de crecimiento de la planta (longitud del tallo y área foliar) con el aumento de la concentración de nitrógeno, esos resultados según Walley (2001), sugieren que la limitación de nitrógeno influye en el área foliar total de las plantas por efecto de estrés nutricional. Todo lo comentado por estos autores estaría sucediendo en esta investigación, en donde el tratamiento ORG3 muestra mejor desarrollo en el ancho de copa, debido a las altas cantidades de nutrientes aplicados, con respecto a los otros tratamientos.

### 3.2.3 Diámetro del tallo

En la Figura 14 y Anexo 4 se muestran los diámetros de tallos del cultivo en los diferentes tratamientos, al inicio no se aprecia diferencia significativa. Luego de las fertilizaciones realizadas, los resultados ORG2 y ORG3 presentan diferencias estadísticas significativas entre sí, siendo los que mayor incremento tienen con 2,21 cm y 2,49 cm respectivamente; mientras que ORG1 y TES no son diferentes estadísticamente. En el mes 4, el tratamiento ORG2 y ORG3 son estadísticamente significantes y mayores, no mostrando diferencias entre ellos, pero sin con ORG1 y TES y, con un aumento del 5,41 cm y de 5,2 cm cada uno con respecto a sus valores iniciales, apoyando lo anteriormente dicho. Después de aplicar la segunda fertilización final (mes 8) todos los tratamientos son estadísticamente diferentes entre sí, pero ORG3 muestra una diferencia mayor sobre los demás tratamientos, aunque con un aumento gráfico de 7,57 cm por arriba de ORG1 que aumentó un 5,38 cm y de ORG2 que tuvo un aumento de 7,43 cm, con respecto a sus valores iniciales. Al final de la aplicación de los tratamientos, se mantiene la misma tendencia de la evaluación anterior, conservando a ORG3 como el mejor tratamiento estadísticamente significativo y con un aumento visual final total del 11,04 cm, superior al ORG2 que tuvo un aumento del 10,75 cm y que se ubica como el segundo mejor tratamiento estadísticamente descriptivo. Al final de la investigación el diámetro de tallo aumento de 8,37 cm a 19,41 cm, bajo la aplicación del tratamiento ORG3.

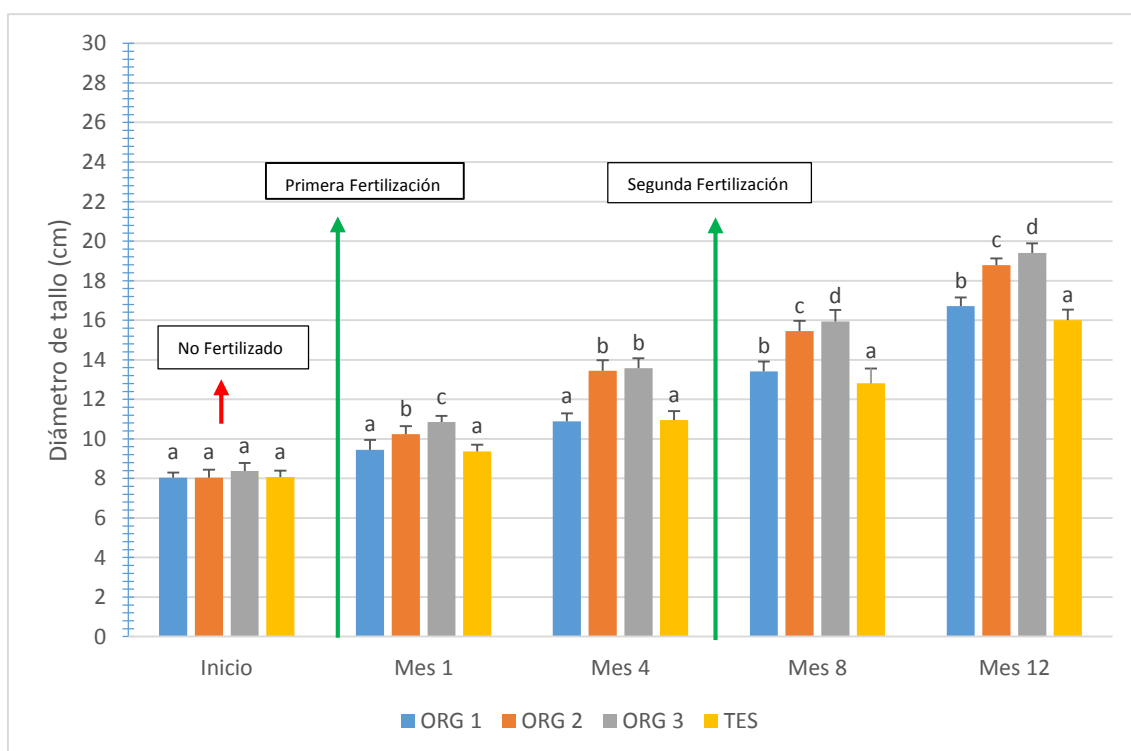


Figura 14. Incremento del diámetro al inicio y al final del ensayo.

**ORG1** = Tratamiento orgánico dosis baja. **ORG2** = Tratamiento orgánico dosis media. **ORG3** = Tratamiento orgánico dosis alta. **Testigo** = Dosis cero.

Letras minúsculas diferentes, indican diferencia estadística significativa entre tratamientos en cada periodo evaluado.

Elaboración: El autor.

El aumento del diámetro del tallo tiene relación con el incremento de la altura del tallo según Brazante (1985), este comportamiento se debe al efecto del N, el cual favorece el crecimiento vegetativo, en tanto que el P regula el metabolismo de los carbohidratos proporcionando un mayor aporte de fotosintatos al parénquima que funciona como reservorio; por otro lado, el K interviene en la formación de glúcidos y ejerce una influencia sobre el aumento de diámetro del tallo. De acuerdo con Mederos y Orquín (1983) y Mosqueda y Molina (1973), señalan que el diámetro del tallo es una de las variables morfológicas correlacionadas con el rendimiento de fruta y número de frutos planta. También el buen contenido de materia orgánica y nitrógeno presente en el fertilizante que se aplicó (Bioabor, con 75,3% de MO), el que pudo influir en un buen desarrollo del diámetro del tallo, ya que según Torres (2013) se obtiene un mejor desarrollo de esta variable al aplicar abonos orgánicos como estiércol de bovino, pues según Román (2001) es en la etapa de crecimiento en donde las células especializadas empiezan a crecer y a absorber gran cantidad de nutrientes en especial nitrógeno y calcio, aumentando su tamaño considerablemente. Por otro lado Matheus (2004), encontró que al aplicar bio fertilizantes se incrementa el diámetro del tallo de los cultivos, respuesta que probablemente fue determinada por la disponibilidad de nutrientes como el Nitrógeno que está estrechamente vinculado con la producción de biomasa (Mogollón, 2000). De manera similar a las variables fenológicas de altura de tallo y ancho de copa, la aplicación de fertilizantes o abonos orgánicos, está apoyando a su desarrollo del diámetro en el tallo de la planta, lo que concuerda con los autores antes mencionados, que la aplicación de nutrientes al suelo, apoyan el desarrollo de la planta de café.

### 3.3 Cosecha y Producción

En la figura 15 se indica los resultados de producción que se obtuvieron al final de la cosecha de un año durante el tiempo de investigación. Podemos observar que el tratamiento ORG3 es el que muestra los mejores rendimientos en peso con 972,2 Kg ha<sup>-1</sup>, indicando también que existe diferencia estadística significativa frente a los demás tratamientos y al testigo. Por otro lado ORG1 y ORG2 no presentan diferencias estadísticas significantes entre sí, pero ORG2 se establece como el segundo mejor tratamiento en producción con 883,3 Kg ha<sup>-1</sup> frente a los 785 Kg ha<sup>-1</sup> de ORG1. Finalmente el tratamiento de fertilización cero (TES) muestra los valores más bajos (571,43 Kg ha<sup>-1</sup>) en el ensayo al compararlo con los demás tratamientos orgánicos. Sin embargo; al comparar estos resultados con los rendimientos nacionales correspondientes al 85 % de la superficie nacional cafetalera, donde el sistema de manejo del cultivo es tradicional, los valores de este ensayo para los tratamientos orgánicos y testigo superan la media de producción para este tipo de cafetales que tienen rendimientos considerados bajos de 250 Kg ha<sup>-1</sup>. Por otro lado, al compararlos con el rendimiento del otro 15%, que corresponde a la superficie cafetalera manejada bajo un sistema tecnificado, podemos observar que solo los tratamientos orgánicos están por arriba del valor de producción de 750 Kg ha<sup>-1</sup> para este tipo de sistema de manejo. Por último, todos los tratamientos orgánicos incluido el testigo, muestran



mejor productividad que la media de producción nacional que es de 233 Kg ha<sup>-1</sup> para el 2012 según datos de COFENAC (2013).

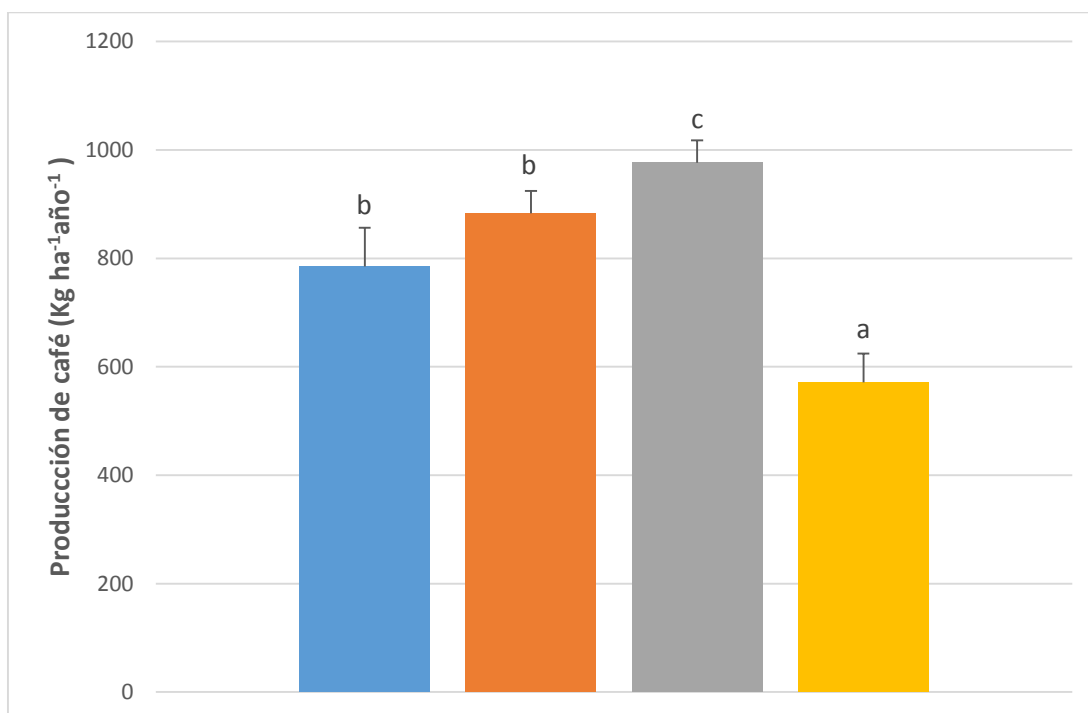


Figura 15. Resultados de producción que se obtuvieron al final de la cosecha.

**ORG1** = Tratamiento orgánico dosis baja. **ORG2** = Tratamiento orgánico dosis media. **ORG3** = Tratamiento orgánico dosis alta. **Testigo** = Dosis cero.

Letras minúsculas diferentes, indican diferencia estadística significativa entre tratamientos en cada periodo evaluado.

Elaboración: El autor.

El rendimiento obtenido se debe al aumento y buen contenido de potasio del suelo. Sweeney et al. (2000) corrobora lo antes dicho, ya que reportó que la fertilización con K redujo la severidad de la roya de la hoja (*Puccinia triticina*) y mejoraron la producción aumentando el peso del grano, aunque parte del impacto positivo podría también atribuirse al efecto del fertilizante aplicado. De acuerdo con Devaux et al. (2002), la incorporación de abonos orgánicos, incrementa los niveles de MO y favorece los rendimientos en suelos de reacción ácida en comparación con suelos alcalinos; esto coincide con los resultados obtenidos en este estudio, dado que los suelos de la zona en estudio, se caracterizan por ser moderadamente ácidos. Por otro lado ICAFE (2007), en Pueblo Nuevo Soto Cruz, Costa Rica, realizó ensayos para evaluar la respuesta del K en la productividad con dosis de 100, 200, 300, 400 y 500 kg ha<sup>-1</sup> en dos años (cosecha 2006-2007 y 2007-2008) encontrando mayor producción al aplicar 200 kg ha<sup>-1</sup> de K superando al testigo en 15 sacos de 46 kg ha<sup>-1</sup> de café cereza, estos datos tienen concordancia con los datos de nuestro estudio, que tienden al aumento; sin embargo la producción de ICAFE es menor al comparar con la de este estudio. En ese mismo estudio se sugiere que la productividad tiende a bajar después de incrementar la dosis por arriba de los 200 kg ha<sup>-1</sup> por lo tanto se sugiere hacer un uso racional de fertilizantes, esto sucede posiblemente debido a que al aumentar la concentración de un solo nutriente se produce un desbalance en el equilibrio de concentración de nutrientes del suelo, lo que causaría una deficiencia de otros nutrientes en la planta y suelo inducida por un exceso de potasio, afectando el rendimiento del cultivo; al contrario en nuestro estudio no se observa esa tendencia, ya que al aumentar las dosis de fertilizante se aumenta el rendimiento. Con esto en

mente, el uso racional del fertilizante orgánico aplicado en las parcelas estudiadas, ha permitido lograr buenos rendimientos.

Por otra parte indicar que Gale et al. (2000) y Zhongqi et al. (2006), comentan que la aplicación de enmiendas orgánicas tiene un impacto sobre la nutrición del suelo, por ejemplo mencionan que el contenido de P disponible puede ser similar al de la fertilización química, pudiendo suplir a corto plazo los requerimientos de P, por lo cual se verá beneficiada la producción del cultivo.

## CONCLUSIONES

- La aplicación del fertilizante orgánico en las tres dosis aplicadas (Baja, media y alta), provocó una ligera acidificación en el pH, un aumento de MO y en los nutrientes (NKP) del suelo; esto ocurrió de manera más significativa en el tratamiento de dosis alta (ORG3), por lo que se puede concluir que la aplicación de fertilizante orgánico, frente a no aplicar ningún fertilizante (dosis cero), resulta beneficioso para la mejora de las propiedades químicas del suelo.
- Las características fenológicas del cultivo de café evaluadas en este estudio, se vieron afectadas positivamente por la adición de fertilizante orgánico, en comparación a no aplicar ninguna fertilización; siendo el tratamiento ORG3 (Dosis alta) el que mejores resultados mostró en cuanto al desarrollo del cultivo (Altura de planta, ancho de copa y diámetro de tallo), probablemente debido a mayor aporte de nutrientes al suelo.
- La productividad del cultivo también se vio afectada por la adición del fertilizante orgánico, en todos los tratamientos se obtuvieron resultados buenos si los comparamos con el tratamiento testigo. Además los resultados muestran un incremento significativo frente a la media de producción nacional, inclusive en el tratamiento testigo, lo cual posiblemente se deba a la siembra en monocultivo, por lo que hay una mayor densidad de plantas, lo que repercute en la productividad.
- Como conclusión general, se puede decir que la fertilización orgánica así sea en dosis bajas, a la hora de producir café resulta beneficioso para mejorar las características químicas del suelo, fenología del cultivo y productividad, por lo cual se recomienda la aplicación de este tipo de fertilización.

## RECOMENDACIONES

- La provincia de Loja es representativa como productora de café, por lo que es importante realizar estudios adicionales con otros tipos de cultivos, ya que la fertilización orgánica mejora el perfil que la fertilización convencional y se presenta como una alternativa de producción amigable con el ambiente y sostenible en términos socio - económicos y de productividad para pequeños y medianos productores.
- Debido a que con la aplicación de fertilizante orgánico en dosis altas se obtuvo los mejores resultados, se recomienda el seguimiento y estudio de estas dosis más profundamente y por un periodo largo de tiempo, ya que una porción de los nutrientes que se hallan en los fertilizantes orgánicos pasan a formar parte del humus del suelo, quedando así almacenados, a resguardo de las pérdidas por lavado, y permitiendo liberación de los nutrientes para ser aprovechados por la planta y de esta manera evitar fertilizar en el futuro minimizando los costos de producción.
- Para futuras investigaciones o establecimientos de cultivo se recomienda evaluar también la extracción de nutrientes que el cultivo toma del suelo, para de esta manera realizar una adecuada fertilización que compense las pérdidas de nutrientes del suelo y evitar descompensaciones y deficiencias de nutrientes para futuros establecimientos de cultivos.
- Se sugiere hacer uso racional de la aplicación de fertilizantes, ya que como podemos observar en este ensayo, no existe una diferencia significativa al emplear la dosis baja y media de fertilizante en su rendimiento productivo, sin embargo, esto puede repercutir económicamente y sosteniblemente en las fincas productoras de café.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acebo Calderón, L. A. y Choez Pesantes A. J. (2003). Efecto de la aplicación de abonos orgánicos líquidos en café (*Coffea arabica* L.) en plantaciones establecidas en la zona sur en la Provincia de Manabí. Tesis Ing. For. Portoviejo, EC, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Unidad Académica, Ciencias Forestales, Ambientales y Agropecuarias, Carrera de Ingeniera forestal, 28 p.
- Agricultura orgánica nacional: Bases técnicas y situación actual. Gobierno de Chile. Ministerio de Agricultura. Servicio Agrícola y Ganadero. 2013.
- Aguilera, S.M., 2000. Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. Simposio Proyecto Ley Protección de Suelo. Boletín N° 14. Valdivia, Chile, p. 77-85.
- Amador, M. 2001. La situación de la producción orgánica en Centro América. Ponencia presentada en el Taller de Comercialización de Productos Orgánicos en Centro América. Abril, 2001. IICA.
- Amores P et al., 2004. Variedades mejoradas de café arábigo: una contribución para el desarrollo de la caficultura en Ecuador. Boletín técnico N° 113. Quevedo, Los Ríos, Ecuador. INIAP, COFENAC, PROMSA. p.2.
- Andes.info.ec. (2016). Café de Altura del norte ecuatoriano en busca de la excelencia. Diciembre 2013 | ANDES. [online] Disponible en: <http://www.andes.info.ec/es/noticias/cafe-altura-norte-ecuadoriano-busca-excelencia.html>. Citado al: 9/6/2016
- Alarcó López, A. (2011). Modelo de gestión productiva para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) En el sur del Ecuador. Doctorado. Universidad Politécnica de Madrid.
- Arcila, M., J. Valencia, S. Benalcázar, J. Morales. 2001. Efecto del desmane sobre la calidad y producción del híbrido de plátano FHIA 2. pp. 446-449. En: Memorias XV Reunión Internacional ACORBAT, Asociación de Bananeros de Colombia, Medellín, Colombia.

- Arcila et al., 2001. Sistemas de Producción de café en Colombia. Chinchiná, Cenicafé, 2007. 309 p.
- Arcila, P.J. Crecimiento y desarrollo de la planta de café. En: Arcila, P.J.; Farfán, V.F.; Moreno, B.A.M.; Salazar G.L.F.; Hincapié, G.E. Sistemas de producción de café en Colombia: 21-60-2007.
- Arcila, P.J., Buhr, L., Bleiholder, H., Hack, H., Wicke, H. Application of the “extended BBCH-scale” for the description of the growth stages of coffee *Coffea* sp. *Annals of Applied Biology* (Inglaterra) 141:19-27.2002
- Astier-Calderón, M., M. Maass-Moreno., J. Etchevers-Barra. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36: 605-620. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v44n5/v44n5a7.pdf>
- Basavaraju, T.B., Gururaja, R., M.R. (2000). Tree-crop interactions in Agroforestry Systems; a brief review. *Indian Forester* 126 (11): 1155 – 164.
- Bautista-Cruz, A., J. Etchevers-Barra, F. del Castillo R., C. Gutiérrez. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas* 2004/2 (URL: <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=149>). (consulta: 11/07/2016).Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v44n5/v44n5a7.pdf>
- Brazante, B. 1985. Influence of phosphate fertilization on the growth and nutrient status of micropropagation apple infected with endomycorrhizal fungi during the wearing stage. *Agronomie* 12: 841-845.
- Bebe, F. V.; Rolim, M. M.; Pedrosa, E. M. R.; Silva, G. B. e Oliverira, V. S. 2009. Dinâmica do potássio em cana de açúcar fertirrigada com vinhaça. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 13:781-787
- Binkley, D., and Hart, S. 1989. The components of nitrogen availability assessments in forest soils. *Adv. Soil Sci.* 10: 57-112.

- BIOECO. (2006). Portafolio de Productos, fertilizantes y bioabonos. Boletín divulgativo, p. 1-4.
- Bremner, J.M., Sulvaney, C.S. (1982). Total nitrogen. In Page, A.L., et al. (Eds.), *Methods of soil analysis* (Segunda edición). ASA and Soil Science Society American Journal, Madison, WI, p. 595- 624.
- Boschetti, N.; Quintero, C.; Benavidez, R.; Giuffre, L. 2003. Cuantificación de las fracciones orgánicas e inorgánicas de fósforo en suelos de la Mesopotamia Argentina. *Ciencia del suelo* 21: 1 - 7.
- Boyce, J.K; Fernandez, A; Furst, E; Segura, O. 1994. *Café y desarrollo sostenible: Del cultivo agroquímico a la producción orgánica en Costa Rica*. EFUNA, Heredia, Costa Rica. 248p.
- Burle, ML; A Mielniczuck and S Focchi. 1997. Effect of cropping systems on soils chemical characteristics, with emphasis in soil acidification. *Plant Soil* 190:309-316
- Calero, J. y Balladares, D. 2005. Efecto de la sombra y fertilización sobre el crecimiento, estructura productiva, rendimiento y calidad del café (*Coffea arabica*) vr. Costa Rica 95. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua: Disponible en: <http://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnf04b188.pdf>.
- Calderón, L; Bernal, A; Pérez, M. 2011. Ensayo preliminar sobre la utilización de un medidor portátil de clorofila para estimar el nitrógeno foliar en orégano (*origanum vulgare* l.). Disponible en: [www.umng.edu.co/documents/10162/1085012/6. OREGANO.pdf](http://www.umng.edu.co/documents/10162/1085012/6. OREGANO.pdf)
- Camargo AP, Camargo MBP (2001). Definición y esquematización de las fases fenológicas de *Coffea arábica* en condiciones tropicales en Brasil. *Bragantia* 60: 65 - 68.
- CANNA. (2016). Potasio guía deficiencia. ESPAÑA: Disponible en: [http://www.canna.es/infocourier\\_potassium](http://www.canna.es/infocourier_potassium). Citado al: 11/08/2016.

- Charrier A, Berthaud J. Coffee botany, biochemistry and production of beans and beverage. In: Clifford MN, Willson KC, editors. Botanical classification of coffee. (Connecticut, USA): The AVI Publishing Company, Inc.; 1987. 1985.
- Capa, D., Pérez, J., Masaguer, A. (2015). Unsustainability of recommended fertilization rates for coffee monoculture due to high N<sub>2</sub>O emissions. Agron. Sustain. Dev. DOI 10.1007/s13593-015-0316-z. © INRA and Springer-Verlag France 2015
- Castro, H. Fundamentos para el conocimiento y manejo de suelos agrícolas: Manual Técnico. Tunja, Produmedios, 1998. 360 p.
- Codex alimentarius. 1999. Guidelines for the production, processing, labeling and marketing of organic produced products. GL-32 - 1999. Rev. 2001.
- COFENAC (2010). Informe Técnico. [http://www.cofenac.org/wp-content/uploads/2010/09/Informe\\_DT%202010\\_COFENAC.pdf](http://www.cofenac.org/wp-content/uploads/2010/09/Informe_DT%202010_COFENAC.pdf) Citado al: 4/12/2015.
- COFENAC (2013). Situación del Sector Cafetalero Ecuatoriano. <http://www.cofenac.org/wp-content/uploads/2010/09/situacion-sector-cafe-ecu-2013.pdf>. Citado al: 3/12/2015
- CORECAF (Corporación Ecuatoriana de Cafetaleros) (2000). Determinación de los parámetros técnicos para plantaciones tradicionales y plantaciones tecnificadas de café arábica y robusta. Quito.
- Correira CM, Mouthino-Pereira JM, Coutinho FJ, Björn LO, Torres-Pereira JMG. Ultraviolet-B radiation and nitrogen affect the photosynthesis of maize: a Mediterranean field study. Eur J Agronomy. 2005; 22:337-347.
- Christiansen, J. A. (2004). "Café Orgánico con Diversificación". 1ª ed. Lima, Perú, 346pp.
- Cumbicus Torres, E. M., y Jiménez Azuero, R. M. (2012). Análisis Sectorial del Café en la Zona 7 del Ecuador. Universidad Técnica Particular de Loja. Tesis



Ing. Mireya Landacay, Escuela de Administración de Empresas, 24 p.  
<http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/2703/1/338X1227.pdf>. Citado al:  
7/12/2015

- Davis, A. P., Govaerts, R., Bridson, D. M. and Stoffelen, P. (2006), an annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). Botanical Journal of the Linnean Society, 152: 465–512. doi: 10.1111/j.1095-8339.2006.00584.x
- Daza, M.; Álvarez, J.; Rojas, A. 2006. Efecto de materiales orgánicos e inorgánicos sobre las fracciones de fósforo de un Oxisol de los Llanos Orientales colombianos. Agronomía Colombiana 24 (2): 326 - 333.
- Delgado P, Larco A, García C, Alcívar R, Chillán W, Patiño M, 2002. Café en Ecuador. Manejo de la broca del fruto (*Hypothenemus hampei Ferrari*). Informe de terminación del proyecto: Manejo integrado de la broca del café. Asociación Nacional de Exportadores de Café (ANACAFE).
- DESERTOLOJA, Desertificación en la provincia de Loja. 07 de Agosto de 2007. <http://desertloja.blogia.com/> Citado al: 1/12/2015
- Devaux. A. K. Manrique, C. Rivero, N. Zúñiga, A. Santana. 2002. Efectos de la fertilización orgánica y fosfatada en las características de calidad para fritura de 35 variedades nativas de papa amarilla en la Sierra Central del Perú. Revista ALAP (11):190-195. <http://www.andes.info.ec/es/noticias/cafe-altura-norte-ecuatoriano-busca-excelencia.html>.
- Donald C. L. Fertilidad de suelos / Donald C. L. Kass; ed. Jorge Núñez Solís. - L reimp. de la 1. ed. - San José, C. R.: EUNED, 1998. 272 p.
- Duicela, L. (2011). Manejo sostenible de fincas cafetaleras: buenas prácticas en la producción de café arábigo y gestión de la calidad en las organizaciones de productores. Primera edición. Impresión CGRAF, Manta - Ecuador, p. 310.
- Ecosistemas de montaña, UNESCO 2007. <http://www.unesco.org/mab/doc/ekocd/spanish/ecuador.html>. Citado al: 18/11/2015

- Ed Bloodnick. (Jueves, 14 de julio de 2016). Rol del potasio en el cultivo de plantas. PRO-MIX. EU: <http://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/rol-del-potasio-en-el-cultivo-de-plantas/>
- Eghball, B., D. Ginting, and J. E. Gilley. 2004. Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. Agron. J. 96:442–447. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v44n5/v44n5a7.pdf>
- EL MERCURIO, 2014. Disponible en: <http://www.elmercurio.com.ec/454508-en-la-provincia-de-loja-solo-el-7-de-tierra-es-fertil/#.VsIBpa2-PqU>. Citado al: 1/12/2015
- Enríquez, G. 1993. Eco fisiología del Cultivo. En: Manual del Cultivo del Café. INIAP, FUNDAGRO, GTZ. Quevedo, Ecuador. pp.28 - 40.
- Espinosa, J. 2007. Fijación de fósforo en suelos derivados de ceniza volcánica. Quito: INPOFOS.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación). (2002). Perspectivas para el Medio Ambiente.
- FAO (2010): Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/007/y5143s/y5143s0v.htm>. Citado al: 7/12/2015
- Fernández, C. E., y Muschler, R. G. 1999. Aspectos de la sostenibilidad de los sistemas de cultivo de café en América Central. P. 69-96 In: Bertrand B, Rapidel B (Eds.). Desafíos de la Caficultura en Centro América .CIRAD-IICA-PROMECAFE.
- Fernández, M. (2007). Fósforo: amigo o enemigo. Cuba. ICIDCA No. 2 [http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/F%C3%B3sforo\\_amigo\\_%20o\\_enemigo.pdf](http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/F%C3%B3sforo_amigo_%20o_enemigo.pdf). Citado al: 10/08/2016.
- FINAGRO. (Consultado el 7 de Enero de 2016). Disponible en: <http://studylib.es/doc/768471/-2500-4000-kg-café-pergamino-seco-por-hectárea->

- Fischersworing, B.; Robkamp, R. 2001. Guía para la Caficultura Ecológica. GTZ Alemania. 3 ed. Popayán, CO. 153 p.
- Fournier LA, Di Stefano JF (2004). Variedades climáticas entre 1988 y 2001, y posibles efecto sobre la fenología de varias especies leñosas y el manejo del cafetal con sombre en Ciudad Colón Mora, Costa Rica. Agron. Costaric. 101-120
- Gale. P., M. Mullen, C. Cieslik, D. Tyler, B. Deuk, M. Kirchner, J. McClure. 2000. Phosphorus distribution and availability in response to dairy manure applications. Commun Soil Sci Plant Anal 31:553-565 p.
- García, L. 2001. Fertilidad de Suelos y Fertilización de cultivos. Texto básico. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 182 pp.
- GEO Loja (2007). Perspectivas del medio ambiente urbano. United Nations Environment Programme (UNEP), Regional Office for Latin America and the Caribbean, Loja Municipality and Nature and Culture International. <http://www.pnuma.org/deat1/pdf/2008GEOLoja.pdf>. Citado al: 13/11/2015
- Gil, S. PhD., (2008). PROCAFÉ- Fundación Salvadoreña para la Investigación del Café. [online] Procafe.com.sv. Disponible en: <http://www.procafe.com.sv/menu/publicafe/SerieDCn1.htm>. Citado al: 22/7/2016
- González de Miguel, César (2007). *Producción de café en Honduras: modelado de las relaciones cafeto-arbolado*. Proyecto Fin de Carrera / Trabajo Fin de Grado, E.T.S.I. Agrónomos (UPM).
- Gómez Lucas, C.M.; Suarez Suarez, V. (2003). Aplicaciones de abonos orgánicos líquidos y sólidos en el establecimiento de café arábigo (*Coffea arábica* L.) en la zona sur de la provincia de Manabí. Tesis Ing. For. Jipijapa, EC, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Unidad Académica de Ciencias Forestales, 32 p.

- Gómez O. 2010. Cultivo de café y las condiciones hídricas de la Zona Cafetera Colombiana. Federación nacional de cafeteros de Colombia. CENICAFE. Colombia. 64-76 p.
- Guía para la innovación de la caficultura de lo convencional a lo orgánico. San Salvador, El Salvador, Septiembre de 2010.
- Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España. Gobierno de España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 2010.
- Gutiérrez, V. M., (2002). Aspectos básicos de la nutrición mineral de las plantas absorción foliar de sustancias útiles en la aplicación de agroquímicos al follaje. pp. 1. En Memorias del Seminario. Fertilización Foliar: Principios y Aplicaciones. Universidad de Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, ACCS .Costa Rica Febrero 2002.
- Holford, I. C. R. 1997. Soil phosphorus: Its measurement, and its uptake by plant. Aust. J. Soil Res. 35: 227 - 239. disponible en: [http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta\\_agronomica/rt/printerFriendly/28783/29088](http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/rt/printerFriendly/28783/29088)
- Huber D.M. 1991. The use of fertilizers and organic amendments in the control of plant disease, pp. 405-494. In: D. Pimentel (Ed). Handbook of Pest Management in Agriculture. CRC Press.
- Huber D.M. 1980. The role of mineral nutrition in disease, pp. 381-406. In: J.G. Horsfall y E.B. Cowling (Eds). Plant Disease, an Advanced Treatise Vol 3. Academic Press.
- ICAFE (Instituto del café de Costa Rica). 1998. Manual de recomendaciones para el cultivo de café. San José, CR. 195 p.
- ICAFE (Instituto del Café de Costa Rica). 2007. Informe Anual de Investigaciones Café 2007. Respuesta productiva del café a la fertilización con potasio, en un andisol de Coto Brus. Heredia, CR. 149-151 p.

- ICAFE-MAG. (1989). Manual de recomendaciones para el cultivo del café. Ged. ICAFE. Programa cooperativo, Costa Rica, p. 122.
- IHCAFE (Instituto Hondureño del Café). (2005). La caficultura en Honduras. Tegucigalpa, Honduras.
- Imas P. (2005). El potasio: Nutriente esencial para aumentar el rendimiento y la calidad de las cosechas. Israel. ICL Fertilizers: [http://www.iclfertilizers.com/Fertilizers/Knowledge%20Center/El\\_potasio,\\_un\\_nutriente\\_esencial.pdf](http://www.iclfertilizers.com/Fertilizers/Knowledge%20Center/El_potasio,_un_nutriente_esencial.pdf). Citado al: 11/08/2016
- Iñiguez, M. (1996). Fertilidad y fertilización del suelo; Universidad Técnica de Machala, Facultad de Agronomía y Veterinaria; Escuela de Ingeniería Agronómica; Machala-Ecuador.
- J. M. Quijano Landaverde, "La injertación del cafeto utilizando porta-injerto (variedad Nemaya) tolerante a nematodos y la técnica Drench, para su nutrición efectiva. [online], PROCAFÉ, Santa Tecla, El Salvador, 25 de Agosto de 2010. Disponible en: [http://www.procafe.com.sv/menu/ArchivosPDF/Articulo\\_tecnico\\_vivero\\_cafe\\_Injertado.pdf](http://www.procafe.com.sv/menu/ArchivosPDF/Articulo_tecnico_vivero_cafe_Injertado.pdf). Citado al: 22/6/2016
- Labrador M., J. 1996. La Materia Orgánica en los Agro sistemas. Primera Edición. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación & Mundi-Prensa. Madrid. 193 p. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v44n5/v44n5a7.pdf>
- Limousin, G and D Tessier. 2007. Effects of no-tillage on chemical gradients and topsoil acidification. *Soil & Tillage Research* 92: 167-174.
- Lindau, CW; Delaune, RD; Alford, DP. 1997. Monitoring nitrogen pollution from sugarcane runoff using 15N analysis. *Water, Air and Soil Pollution* 89: 389-399
- López-Martínez, J. D., A. Díaz-Estrada, E. Martínez-Rubín, R. D. Valdez-Cepeda. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra* 19: 293-299. <http://www.chapingo.mx/terra/contenido/19/4/art293-299.pdf>. Citado al: 8/1/2016

- MAGAP, (2012). *Proyecto de Reactivación de la Caficultura Ecuatoriana*. <http://www.agricultura.gob.ec/magap-ejecuta-proyecto-de-reactivacion-de-la-caficultura-ecuatoriana/> Citado al: 3/12/2015
- Matheus, J. 2004. Evaluación agronómica del uso de compost de residuos de la industria azucarera (biofertilizante) en el cultivo del maíz (*Zea mays L.*). *Revista Bioagro*. 16(3):219-224.
- Matiello, J. B. et al. *Cultura de Café no Brasil: manual de recomendações*. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFE, 2010. 542 p.
- Mederos, E. y J. Orquín. 1983. Estudio preliminar de la influencia del diámetro del tallo sobre la producción de flores y frutos en la planta de fruta bomba var. Maradol Roja. *Revista Centro Agrícola* 12(3): 89
- Medina Micolta, M. y Luna Merchán, R. (2013). Análisis de la cadena del café y estrategia de mejoras para el sector caficultor en la provincia de Manabí cantón Jipijapa parroquia Pedro Pablo Gómez. Ingeniería. Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil. <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4112/1/UPS-GT000365.pdf>. Citado al: 14/12/2015
- Mengel K, Kirkby EA, Kosegarten H, Appel T. *Principles of plant nutrition*. Dordrecht: Kluwer Academic; 2001.
- Mogollón, L. 2000. Uso eficiente de los fertilizantes. En: Lobo, D. (ed.). *Manejo de la Fertilidad de los Suelos*. Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo. Maracay (Venezuela). p.25-36.
- Moguel, P. y Toledo, V. (2004). *Conservar produciendo: Biodiversidad, café orgánico y jardines productivos*. [online] BIODIVERSITAS. Disponible en: <http://www.biodiversidad.gob.mx/Biodiversitas/Articulos/biodiv55art1.pdf> Citado al: 2/8/2016
- Monge, L. 1999. Manejo de la Nutrición y Fertilización del Cultivo del café orgánico, XI Congreso Nacional Agronómico / III Congreso Nacional de Suelos. San José- Costa Rica. Pág 183-184.

- Mosqueda V., R. y J.G. Molina. 1973. Estudio de caracteres correlacionados y análisis de componentes de rendimiento empleando coeficientes de sendero en Carica papaya L. *Agrociencia* 11: 3-14.
- Murphy, J. and Riley, J.P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural Waters. *Analytica Chimica Acta* 27, 31-36.
- Nelson, D.W., Sommers, L.E. (1996). Total organic carbon and organic matter. In Sparks, D.L. (Ed.), *Method of Soil Analysis, part 3- Chemical Method*. USA, p. 961- 1006.
- Núñez E. R. 2002. Apuntes del curso de tecnología y uso de fertilizantes. COLPOS
- Orozco, F.H. La Biología del nitrógeno. Conceptos básicos sobre sus transformaciones biológicas. Medellín, Universidad Nacional de Colombia, 1999. 231 p.
- Padilla G. (2007). Fertilización de suelos y nutrición vegetal. Quito - Ecuador: Grupo Clínica Agrícola.
- Pavan, M.A.; Chavez, J.C.D.; Siquiera, R.; Androciolifilho, A.; Colozzi filho, A.; Libro, E. High coffee population density to improve fertility of an Oxisol. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, v.34, p.459-465, 1999.
- Peery J. La influencia del nitrógeno en el pH del sustrato. PRO-MIX, Miércoles, 09 de marzo de 2016. Disponible en: <http://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-influencia-del-nitrogeno-en-el-ph-del-sustrato/>. Citado al 21/04/2016.
- Pérez Díaz, A., Bustamante González, C., Martín Alonso, G., Rivera Espinosa, R., Viñals Núñez, R., Rodríguez Castro, M. (2001). Fertilización nitrogenada después de la poda del cafeto robusta en Cambisoles. [online] SCIELO. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/pab/v46n8/21.pdf>. Citado al:1/7/2016
- Pinamonti, F., 1998. Compos mulch effects on soil fertility, nutritional status and performance of grapevine. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51, 239 – 248.

- PRO ECUADOR (Instituto de promoción de exportaciones e inversiones). (2013). Análisis sectorial del café.
- PROCAFE (1995) Interpretación de resultados de análisis de suelo y recomendaciones de fuentes orgánicas e inorgánicas para el cultivo del café. Fundación Salvadoreña para Investigaciones del Café.
- (PROCAFE), Santa Tecla, El Salvador
- Pushpa S. Murthy, M. Madhava Naidu, Sustainable management of coffee industry by products and value addition A review, Resources, Conservation and Recycling, Volume 66, September 2012, Pages 45-58, ISSN 0921-3449, <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.005>.(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344912000894>)
- Quintero, D. R. 2003. Resultados preliminares y proyecciones acerca del uso de la vinaza en Colombia. In VI Congreso colombiano de asociación de técnicos de la caña de azúcar. Memoria Vol. 1. (Ed.) Tecnicaña. Cali, Colombia. 113-121 pp.
- Ramírez, B.V.H.; Arcila, P.J.; Jaramillo, A.; Rendón, J.R.; Cuesta, G.; García, J.C.; Menza, H.D.; Mejía, C.G.; Montoya, D.F.; Mejía, J.W.; Torres, J.C.; Sánchez, P.M.; Baute, J.E. Variabilidad climática y la floración del café en Colombia, Avances Técnicos Cenicafé, no. 407, 28 de enero de 2013, ISSN 0120-0178, [Consultado: 02 de junio de 2016], Disponible en: <<http://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/333>> .
- Ramírez, V. (2014). La fenología del café, una herramienta para apoyar la toma de decisiones. Marzo, CENICAFE. Sitio web: <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/489/1/avt0441.pdf>
- Ramos, MC; Ocio, JA. 1992. La agricultura y la contaminación de las aguas por nitrato. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, ES. 32 p. (Hojas divulgadoras no. 7/92).



- Restrepo, J. A, B, C de la agricultura orgánica y panes de piedra: Abonos orgánicos fermentados. 1a ed. Colombia: Feriva S.A. 2010. 86 pp. ISBN 978-958-44-126-1.
- Ricardo Campillo R.; Angélica Sadzawka R. 2009. La acidificación de los suelos. Origen y mecanismos involucrados. Disponible en: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR33853.pdf>. Citado al: 31/05/2016
- Rice, R. 1991. Observaciones sobre la transición en el sector cafetalero. Agroecología Neo-Tropical 2:1-6.
- Sánchez, E. (2016). El Fósforo en la Producción de Frutales: Artículos. [online] Fertilizando.com. Disponible en: <http://www.fertilizando.com/articulos/El%20Fosforo%20en%20la%20Produccion%20de%20Frutales.asp>. Citado al: 14/6/2016
- Sadeghian K., S. Efecto de la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio sobre las propiedades químicas de suelos cultivados en café. CENICAFE 54(3): 242-257. 2003.
- Sadeghian K., S. 2008. Fertilidad del suelo y nutrición del cafeto en Colombia. Guía práctica. Boletín Técnico No. 32. Cinchona: CENICAFE. 43 p.
- Sadeghian K., S.; Gonzáles O. (2012). Alternativas generales de fertilización para cafetales en la etapa de producción. Octubre, CENICAFE. Sitio web: <http://www.cenicafe.org/es/publications/avt04241.pdf>
- Soto, G. (2003). *Agricultura Orgánica: Una herramienta para el desarrollo rural sostenible y la reducción de la pobreza*. 1st ed. [ebook] Turrialba, Costa Rica: Oscar Cuevas, pp.12 - 13. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-at738s.pdf> Citado al: 20/11/2015
- Suarez, D. (1996). Methods of soil analysis: Beryllium, Magnesium, Calcium, Strontium. SSSA, Madison, WI.
- Sweeney, D.W., Granade, G.V., Eversmeyer, M.G. and Whitney, DA (2000): Phosphorus, potassium, chloride, and fungicide effects on wheat yield and leaf rust severity. J. Plant Nutr. 23:9, 1267-1281.

- Taller, Abonos orgánicos/CATIE/GTZ/UCR/CANIAN, Gloria Meléndez y Gabriela Soto, 3 y 4 de marzo, 2003. CITDADO AL 05/07/2016. DISPONIBLE EN:  
<http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Taller%20Abonos%20Org%C3%A1nicos.pdf>.
- OIC (Organización Mundial del Café). (2015). Informe de la OIC sobre el mercado del café. Octubre 2015.
- Sanclemente, M., Peña, E. 2008. Crecimiento y eficiencia fotosintética de *Ludwigia decurrens* Walter (Onagraceae) bajo diferentes concentraciones de nitrógeno. *Acta biol. Colombia*. Vol. 13 (1): 175 – 186.
- Soto M. y Rojas G., (1994). El cultivo y beneficiado del café. San José, Costa Rica: EUNED, 2007.
- Sotomayor I. y Duicela L., (1993). Manual del cultivo de café. Quevedo - Ecuador: INIAP.
- Sreenath HL, Shanta HM, Babu KH, Naidu MM. Somatic embryogenesis from integument (perisperm) cultures of coffee. *Plant Cell Rep* 1995; 14:670–3.
- Tang, C. 1998. Factors affecting soil acidification under legumes I. Effect of potassium supply. *Plant Soil* 199: 275-282.
- T.K. Lim, *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants: Volume 5, Fruits*, DOI 10.1007/978-94-007-5653-3\_1, © Springer Science Business Media Dordrecht 2013
- Thompson, L. M. y Troeh, F. R. 1988. Los suelos y su fertilidad. Editorial Reverté. Madrid, España. 649 p.
- Torres, L. M., (2013). Evaluación de 6 abonos orgánicos, como complemento a la empresa “ANNIROSES S.A.”. Tabacundo – Ecuador. Ingeniería Agropecuaria. Universidad Politécnica Salesiana de Quito.

- USDA. United States Department of Agriculture, National Resources Conservation Services; January 2014. Disponible en: <http://plants.usda.gov/core/profile?symbol=COAR2>. Citado: 17/02/2016
- Valencia A., G. (1998). "Manual de nutrición y fertilización del café". Instituto de la Potasa y el Fósforo (InPOFOS), Quito, Ecuador.
- Valencia, A. G. & Bravo, G. E. (1975). "Influencia del encalamiento en la producción de cafetales establecidos". CENICAFÉ, Colombia, 32(1): 3-14.
- Vélez G., y Sepulveda D., (2012). El fósforo elemento indispensable para la vida vegetal. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Viterí S, Granados M, González A. 2008. Potencial de los caldos rizósfera y súper cuatro como biofertilizantes para la sostenibilidad del cultivo de cebolla de bulbo (*Allium cepa*). Ed. Agronomía Colombiana 26(3), 517-524.
- Walley F, Yates T, Groenigen JV, Kessel CHV. Relationships between Soil Nitrogen Availability Indices, Yield, and Nitrogen Accumulation of Wheat. Soil Sci Soc Am J. 2002; 66:1549.
- Wu, C., Niu, Z., Tang, Q., Wang, W. 2008. Estimating chlorophyll content from hyperspectral vegetation indices: Modeling and validation. Agricultural and Forest Meteorology 148:1230-1241.
- XIII Simposio Sobre Caficultura Latinoamericana. IICA. San José, C. R. Septiembre 18 - 21 de 1990. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?id=t20OQAAlAAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=t20OQAAlAAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Zapata HR (2004) Química de la acidez del suelo. Primera Edición. Cali, Colombia. Impresión Cargraphics Impresión Digital, 208 pp.
- Zhongqi, H., T. Griffin, S. Honeycutt., C. Wayne. 2006. Soil phosphorus dynamics in response to dairy manure and inorganic fertilizer applications. Soil Science. 171(8):598-609.

## ANEXOS

### Anexo 1. Composición química del abono Bioabor

<b>Análisis</b>	<b>Contenido Promedio</b>
pH (al 10%)	6,73 %
<b>Materia Orgánica</b>	<b>75,3 %</b>
Carbono	43,7 %
Relación Carbono Nitrógeno	25,70 %
Humedad	40,74 %
<b>Nitrógeno (N)</b>	<b>1,70 %</b>
<b>Fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)</b>	<b>0,85 %</b>
<b>Potasio (K<sub>2</sub>O )</b>	<b>0,40 %</b>
Magnesio (Mg)	0,21 %
Calcio (CaO)	1,85 %
Azufre (S)	0,77 %
Hierro (Fe)	0,85 %
Boro (B)	280 ppm
Zinc (Zn)	137 ppm
Cobre (Cu)	30 ppm
Manganeso (Mn)	357 ppm
Cobalto (Co)	< 0,10 ppm
Molibdeno (Mo)	< 0,10 ppm
Capacidad de intercambio Catiónico	152,6 cmol/Kg
Densidad	1,527 g/mL

**Fuente:** BIOECO, 2006

**Anexo 2.** Altura de la planta en los diferentes muestreos realizados en las parcelas de ensayo ( $p=0,05$  Tukey, post hoc).

Tratamiento	Octubre 10	Febrero 11	Junino 11	Octubre 11
<b>ORG 1</b>	71,31 ± 3,81 a	90,00 ± 4,98 a	99,70 ± 4,30 a	110,14 ± 4,88 ab
<b>ORG 2</b>	73,00 ± 4,71 a	91,40 ± 5,08 ab	108,76 ± 3,77 cd	119,18 ± 2,95 c
<b>ORG 3</b>	73,54 ± 3,49 a	94,13 ± 4,49 bc	107,58 ± 4,09 bc	119,79 ± 4,13 c
<b>TES</b>	69,90 ± 5,17 a	89,57 ± 3,78 a	98,29 ± 3,31 a	107,33 ± 2,82 a

**Anexo 3.** Ancho de copa de la planta en los diferentes muestreos realizados en las parcelas de ensayo ( $p=0,05$  Tukey, post hoc).

Tratamiento	Octubre 10	Febrero 11	Junino 11	Octubre 11
<b>ORG 1</b>	88,45 ± 3,30 a	107,05 ± 3,19 abc	116,08 ± 4,35 a	127,45 ± 4,81 a
<b>ORG 2</b>	87,46 ± 4,42 a	105,89 ± 3,68 ab	125,47 ± 3,89 b	138,52 ± 4,64 b
<b>ORG 3</b>	87,81 ± 4,33 a	110,41 ± 4,05 c	129,00 ± 4,70 b	146,62 ± 4,79 c
<b>TES</b>	85,38 ± 4,71 a	103,42 ± 5,28 a	113,43 ± 5,15 a	124,54 ± 6,38 a

**Anexo 4.** Diámetro del tallo de la planta en los diferentes muestreos realizados en las parcelas de ensayo ( $p=0,05$  Tukey, post hoc).

Tratamiento	Octubre 10	Febrero 11	Junino 11	Octubre 11
<b>ORG 1</b>	8,04 ± 0,26 a-b	9,45 ± 0,50 a	10,88 ± 0,41 a	13,42 ± 0,50 b
<b>ORG 2</b>	8,03 ± 0,42 a	10,24 ± 0,40 b	13,44 ± 0,54 c	15,46 ± 0,51 d
<b>ORG 3</b>	8,37 ± 0,41 a	10,86 ± 0,30 c	13,57 ± 0,50 c	15,94 ± 0,58 e
<b>TES</b>	8,07 ± 0,32 a	9,37 ± 0,34 a	10,95 ± 0,45 a	12,81 ± 0,75 a