



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

**Trabajo de titulación presentado como requisito previo a la obtención del
título de Ingeniera Forestal**

**EVALUACIÓN DE TRES TIPOS DE FERTILIZANTE EN CAFÉ (*Coffea
arabica*), EN UN SISTEMA AGROFORESTAL, PURANQUÍ, INTAG,**

IMBABURA

AUTORA

Núñez López Nancy Daniela

DIRECTOR

Ing. Jorge Luis Cue García, PhD.

IBARRA-ECUADOR

2022

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

EVALUACIÓN DE TRES TIPOS DE FERTILIZANTE EN CAFÉ (*Coffea arabica*), EN
UN SISTEMA AGROFORESTAL, PURANQUÍ, INTAG, IMBABURA

Trabajo de titulación revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza la presentación
como requisito parcial para obtener el título de:

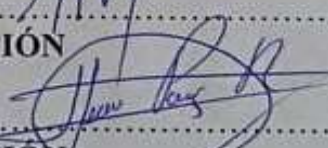
INGENIEROA FORESTAL

APROBADO

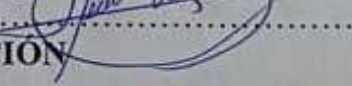
Ing. Jorge Luis Cue García, PhD.
DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN

.....


Ing. Andrés Carrión, Mgs
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

.....


Ing. Hugo Paredes, Mgs.
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

.....




UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A

FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

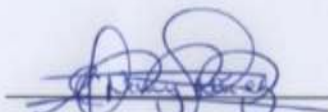
En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0401911037		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Núñez López Nancy Daniela		
DIRECCIÓN:	Tulcán		
EMAIL:	ndnunezl@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	2984094	TELÉFONO MÓVIL:	099 710 6965
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	Evaluación de tres tipos de fertilizante en café (<i>Coffea arabica</i>), en un sistema agroforestal, Puranquí, Intag, Imbabura		
AUTOR/A:	Nancy Daniela Núñez López		
FECHA: (dd/mm/aaaa)	07/03/2022		
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN			
PROGRAMA:	PREGRADO	<input checked="" type="checkbox"/>	POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Forestal		
DIRECTOR:	Ing. Jorge Luis Cue García, PhD.		

CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros; por lo tanto, la obra es original y es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 7 días del mes de marzo de 2022

LA AUTORAA handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Nancy Daniela Núñez López', is written over a horizontal line.

Núñez López Nancy Daniela

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

vii

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO**Guía:** XXXXX, FICAYA - UTN**Fecha:** Ibarra, marzo del 2022

XXXX XXXX : **EVALUACIÓN DE TRES TIPOS DE FERTILIZANTE EN CAFÉ (Coffea arábica), EN UN SISTEMA AGROFORESTAL, PURANQUÍ, INTAG, IMBABURA** /Trabajo de titulación. Ingeniería Forestal. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Forestal. 95 páginas.

DIRECTOR: Ing. Jorge Luis Cue García, PhD.

El objetivo principal de la presente investigación fue: Determinar el fertilizante de mayor influencia en la productividad del cultivo de café asociado a un sistema agrosilvícola. Entre los objetivos específicos se encuentran: Determinar propiedades del suelo, Analizar las características morfológicas del café, Evaluar la productividad en el café con tres tipos de fertilizantes, tomando en cuenta las normas ISTA.

**JORGE LUIS
CUE GARCIA****Fecha:** Ibarra, 7 de marzo 2022

Ing. Jorge Luis Cue García, PhD.
Director de trabajo de titulación



Núñez López Nancy Daniela
Autora

DEDICATORIA

En memoria de María Aguilar, el ser que fue guía en toda mi formación personal y mi frente en lo académico, mi abuelita, mi ser de luz y la inspiración de mi vida, a quien dedico cada logro y llevaré por siempre en mi corazón.

AGRADECIMIENTO

Al director del Proyecto Silvopastura de los Andes Charles R. Venator, quien financió este trabajo y se convirtió en guía y maestro a lo largo de mi proceso, gracias por cultivar en mí nuevos valores y sobre todo conocimiento que me permiten afrontar la realidad, por ser apoyo e inspiración a ser una mejor persona y buena profesional.

Al Sr. Marcelo Vergara, quien me dio la confianza para interceder en sus cultivos y así poder realizar la investigación.

Al Dr. Jorge Luis Cue, Mgs. Andrés Manolo Carrión, Ing. Hugo Paredes, Mgs. Gabriel Carvajal y a todos aquellos docentes quienes con su conocimiento hicieron que me apasionara por la Ingeniería Forestal e inculcaron en mi la perseverancia y el amor hacia tan prestigiosa carrera.

A mi amada María Aguilar que donde quiera que este siempre será mi mayor motivación, a mi familia, quienes han sido mi motor de lucha ante cada adversidad, y finalmente a mis amigos quienes estuvieron a lo largo de mi carrera universitaria apoyándome y acompañándome en este camino lleno de altibajos.

Sin ninguno de ustedes este proceso no habría sido el mismo, Gracias.

LISTA DE SIGLAS

CODA. Código Orgánico del Ambiente

MAE. Ministerio del Ambiente del Ecuador.

MAG. Ministerio de Agricultura y Ganadería

IICA. Instituto Interno Americano de Cooperación para la Agricultura

INAMHI. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – Ecuador.

SAF. Sistemas Agroforestales

SIPA. Sistema de Información Pública Agropecuaria del Ecuador

ÍNDICE DE CONTENIDO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.....	i
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	iii
REGISTRO BIBLIOGRÁFICO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
LISTA DE SIGLAS	viii
ÍNDICE DE CONTENIDO	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Problema de investigación.....	1
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 General.....	3
1.3.2 Específicos.....	3
1.4 Hipótesis	3
CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Fundamentación legal.....	5
2.1.1 Constitución de la República de Ecuador (2008)	5
2.1.2 Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021.....	6

2.1.3	Código de ética de la Universidad Técnica del Norte	6
2.1.4	Línea de investigación	6
2.2	Fundamentación teórica.....	7
2.2.1	Sistemas Agroforestales	7
2.2.2	Clasificación de los sistemas Agroforestales.....	7
	Elaborado por: el autor con base a Ospina (2016).....	8
2.2.3	Sistemas agrosilvícolas.....	8
2.2.4	Efectos de los árboles de sombra en el cultivo de café	9
2.2.5	El café en la región Latinoamericana	10
2.2.6	El cambio climático y el café	11
2.2.7	Enfermedades en el cultivo de café	12
2.2.8	Descripción de las especies del sistema agrosilvícola.....	12
2.2.9	Fertilidad del suelo	16
2.2.10	Fertilización del café	17
2.2.11	Fertilizantes	19
2.2.12	Tipos de Fertilizantes.....	20
2.2.13	Funciones que desempeñan los elementos	22
2.2.14	Fertilización bajo sombra	22
	CAPÍTULO III.....	24
	MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	24
3.1	Ubicación del sitio.....	24
3.1.1	Política	24
3.1.2	Geográfica	24

3.1.3	Límites	25
3.2	Caracterización edafoclimática del lugar	25
3.2.1	Suelo	25
3.2.2	Clima	25
3.2.3	Precipitación	25
3.3	Materiales, equipos, insumos y software	26
3.4	Metodología.....	26
3.4.1	Universo.....	26
3.4.2	Diseño experimental	27
3.4.3	Esquema del diseño del experimento en campo	31
3.4.4	Variables.....	31
CAPÍTULO IV.....		35
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		35
4.1	Propiedades químicas del suelo.....	35
4.1.1	Nitrógeno disponible en el suelo	35
4.1.2	Fósforo disponible en el suelo	37
4.1.3	Potasio disponible en el suelo.....	38
4.1.4	pH	40
4.1.5	Materia orgánica disponible en el suelo	42
4.2	Morfología del café	43
4.2.1	Altura total del café	43
4.2.2	Número de ramas ortotrópicas.....	45
4.2.3	Número de ramas plagiotrópicas	47

4.2.4	Número de nudos.....	48
4.3	Producción del cafeto	49
4.3.1	Café cereza	49
4.3.2	Peso café pergamino seco.....	50
4.3.3	Peso promedio Grano del café.....	52
CAPÍTULO V.....		54
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		54
5.1	Conclusiones.....	54
5.2	Recomendaciones	54
CAPÍTULO VI.....		56
REFERENCIAS.....		56
CAPÍTULO VII		74
ANEXOS		74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Función elementos mayores y menores</i>	22
Tabla 2. <i>Materiales, equipos, insumos y software utilizados en la investigación</i>	26
Tabla 3. <i>Características del diseño</i>	27
Tabla 4. <i>Características del diseño</i>	28
Tabla 5. <i>Dosificación de los tratamientos para el año y por cada aplicación</i>	29
Tabla 6. Resultado de análisis de suelo.....	74
Tabla 7. Primera Prueba de Dunnet en Altura total de cafeto.....	74
Tabla 8. Tercera Prueba de Dunnet del promedio ejes ortotrópicos	75
Tabla 9. Tercera Prueba de Dunnet del promedio ejes plagiotrópicos	75
Tabla 10. Prueba de Dunnet del promedio del peso del grano de café en los tratamientos	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Clasificación agroforestal</i>	8
Figura 2. <i>Ubicación del sitio</i>	24
Figura 3. <i>Comportamiento de la Precipitación en el sector de Puranquí año 2020</i>	26
Figura 4. <i>Diseño de bloques para el área de estudio</i>	31
Figura 5. <i>Comportamiento del Nitrógeno posterior a la fertilización edafológica</i>	35
Figura 6. <i>Comportamiento del fósforo posterior a la fertilización edáfica</i>	37
Figura 7. <i>Comportamiento del Potasio posterior a la fertilización edáfica</i>	39
Figura 8. <i>Comportamiento del pH posterior a la fertilización edáfica</i>	40
Figura 9. <i>Materia orgánica disponible en el suelo posterior a la fertilización edáfica</i>	42
Figura 10. <i>Altura Total Cafeto del cafeto posterior a la fertilización edáfica</i>	44
Figura 11. <i>Número de ejes ortotrópicos en los cafetos posterior a la fertilización edáfica</i>	46
Figura 12. <i>Número de ramas plagiotrópicas de los cafetos posterior a la fertilización edáfica</i>	47
Figura 13. <i>Número de nudos de los cafetos posterior a la fertilización</i>	48
Figura 14. <i>Producción de café cereza por tratamiento</i>	50
Figura 15. <i>Producción de café pergamino por tratamiento</i>	51
Figura 16. <i>Peso promedio del grano de café por tratamiento</i>	52
Figura 17. <i>Trabajo de campo</i>	76
Figura 18. <i>Procesado de café cereza a café pergamino</i>	77

RESUMEN

Los tipos de fertilizante influyen en los cultivos y es necesario conocer el más eficiente para solventar, en esta investigación, la baja productividad del café que afecta a los caficultores del país, como es el caso de los sistemas agroforestales en la zona de Intag; por lo que se planteó determinar el fertilizante de mayor influencia en la productividad del cultivo de café asociado a un sistema agroforestal en el sector de Puranquí. Se aplicó los tratamientos: químico (NPK/10-30-10), orgánico (Champiñonaza), mixto (NPK + Champiñonaza), y testigo. Se obtuvo las muestras del suelo antes, durante y después de la fertilización para un análisis de suelo de N, P, K, pH y MO. Se realizó un submuestreo de bloques al azar conformado por 72 cafetos, cada submuestreo contó con tres cafetos por unidad experimental, se evaluó las características morfológicas de la planta: altura, número de ramas ortotrópicas, plagiotrópicas y número de nudos. Para la productividad se aplicó un diseño por bloques al azar que estuvo conformado por 288 cafetos, cada unidad experimental contó con 12 cafetos, se realizó mediante la cosecha y transformación de café cereza a pergamino, pesando en kg lo que se obtuvo de cada tratamiento. En la morfología del cafeto se logró precisar diferencias a partir de los 180 y 270 días observando la influencia de los tipos de fertilizantes en el sistema y en la productividad del cafeto no se obtuvo mayor diferencia en ningún tratamiento, excepto en el peso del grano del café el cual tuvo diferencias significativas en los tres tratamientos.

Palabras clave: Morfología del cafeto, fertilización, productividad del cultivo de café, sistemas agroforestales.

ABSTRACT

The types of fertilizers influence crops and it is necessary to know the most efficient one to solve, in this research, the low productivity of coffee that affects coffee growers in the country, as is the case of agroforestry systems in the area of Intag; therefore, it was proposed to determine the fertilizer with the greatest influence on the productivity of the coffee crop associated with an agroforestry system in the Puranquí sector. The following treatments were applied: chemical (NPK/10-30-10), organic (mushroom manure), mixed (NPK + mushroom manure), and control. Soil samples were obtained before, during and after fertilization for soil analysis of N, P, K, pH, and OM. A randomized block subsampling was conducted with 72 coffee plants, each subsampling had three coffee plants per experimental unit, and the morphological characteristics of the plant were evaluated: height, number of orthotropic and plagiotropic branches, and number of nodes. For productivity, a randomized block design was applied, which consisted of 288 coffee plants, each experimental unit had 12 coffee plants, and was conducted by harvesting and transforming cherry coffee to parchment, weighing in kg what was obtained from each treatment. In the morphology of the coffee plant, differences were found after 180 and 270 days, observing the influence of the types of fertilizers in the system, and in the productivity of the coffee plant, no major differences were found in any treatment, except in the weight of the coffee bean, which had significant differences in the three treatments.

Key words: Coffee tree morphology, fertilization, coffee crop productivity, agroforestry systems.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Problema de investigación

El mal manejo de fertilizantes contribuye en la degradación del suelo y el rendimiento de los cultivos (Sentís, 2010), existen varios tipos de fertilizantes que pueden influir en la productividad, y se necesita considerar su eficiencia. Los fertilizantes orgánicos mejoran la estructura, y favorece la formación de agregados del suelo lo que reduce la erosión, aumenta la capacidad de retención de agua y la permeabilidad hídrica y gaseosa, los fertilizantes químicos producen un suministro equilibrado de nutrientes y tiene un efecto regulador sobre el pH y la salinidad, por lo que la eficiencia de los tipos de fertilizantes depende de las condiciones edáficas y climáticas en las que se desarrolle el cultivo (Rípodas, 2011).

En el Ecuador la caficultura se encuentra estancada principalmente por la baja productividad del cultivo de café, la reducción del producto impide cumplir con las necesidades de la demanda lo que ocasiona una disminución en las exportaciones (Ponce Vaca, *et al* 2018). Debido a que la producción es de apenas 518 kg/ha (Melo y Piñeros, 2016); entre las principales causas están la escasa experiencia en el uso de diferentes tipos de fertilizantes y abonos orgánicos, la solubilidad de estos influye en la producción de café (Luna *et al*, 2012); situaciones que ocasionan consecuencias como reducción de las exportaciones y divisas, importación de materia prima, salida de divisas, reducción de ingresos para los productores, abandono de la actividad y migración campesina (Ponce Vaca, *et al* 2018).

Las necesidades nutricionales del cultivo de café disminuyen la fertilidad natural del suelo, en términos generales; se ha demostrado que por cada 1250 kilos de café pergamino seco que se

producen por hectárea al año, el cultivo extrae 60kg de nitrógeno, 20kg de fósforo y 60kg de potasio (Farfán y Baute, 2020).

Willis, (2010) afirma, que existen factores favorables y adversos para el cultivo del café y dependen de la zona en que se encuentran ubicadas las plantaciones, tienen una incidencia directa en la calidad y productividad de los sembríos. Los productores de este cultivo en la zona de Intag tienen un rendimiento aproximado de 400 kg/ha, ha esto se une que el cultivo de café en mayor parte se desarrolla en áreas inferiores a una hectárea, mientras que en países como México la producción por planta es de 4,52 kg, que equivale a una producción de 800 kg/ha bajo sombra (López, et al., 2016).

Los tipos de fertilizantes influyen en la productividad de un cultivo, la eficiencia es un aspecto por considerar, el cultivo de café en su etapa productiva necesita de una mayor proporción de nutrientes para desarrollar una cantidad optima de granos; en este sentido se debe estudiar el tipo de fertilizante que permita mejorar la producción del cafetal asociado a un sistema agrosilvícola.

1.2 Justificación

Los tipos de fertilizantes químicos, orgánicos y mixtos influyen en la productividad de café, su absorción depende de las condiciones ambientales en las que se desarrollan y las necesidades nutricionales del cultivo (Sadeghian, Hernández, González, 2013). La fertilización es un gasto adquirido por el agricultor para obtener una mayor eficiencia en los cultivos, identificar el tipo de fertilizante adecuado o una combinación de ellos, influirá sobre los beneficios económicos y ambientales (Rípodas, 2011).

En la comuna de Puranquí, al tratarse de suelos en estado de agotamiento por el uso excesivo de actividades agrícolas, se encontró deficiencias en los nutrientes esenciales para el

crecimiento y formación del cultivo de café, lo que provocó una baja productividad, con el uso de diferentes tipos de fertilizante en un año se logró identificar su influencia en la morfología del cultivo, para evaluar la influencia en la productividad se necesita más años (Farfán, 2006).

En la zona es necesario usar fertilizantes y nutrir el suelo para evitar la erosión, un análisis previo del suelo permite conocer las condiciones en las que se desarrolla el cultivo y así seleccionar un adecuado tipo de fertilizante. Los sistemas agroforestales son una gran opción para el uso adecuado del suelo, pese a esto la necesidad nutricional de los cultivos varía según los factores en los que se desarrolle, por eso es necesario adaptar prácticas como la fertilización e identificar tipos y dosis de fertilizantes que permitan al agricultor obtener óptimos rendimientos sin perjudicar su economía.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Determinar el fertilizante de mayor influencia en la productividad del cultivo de cafeto asociado a un sistema agrosilvícola.

1.3.2 Específicos

- Determinar propiedades del suelo
- Analizar las características morfológicas del cafeto.
- Evaluar la productividad en el café con tres tipos de fertilizantes.

1.4 Hipótesis

- Nula H_{01} : El tipo de fertilizante no influye de manera significativa en la productividad del café asociado a un sistema agrosilvícola
- Nula H_{02} : El tipo de fertilizante no influye significativamente en las características morfológicas del café

- Alternativa H_{a1} : El tipo de fertilizante influye de manera significativa en la productividad del café asociado a un sistema agrosilvícola
- Alternativa H_{a2} : El tipo de fertilizante influye significativamente en las características morfológicas del café

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Fundamentación legal

2.1.1 *Constitución de la República de Ecuador (2008)*

Art.10.- Las personas, comunidades, pueblos, nacionalidades y colectivos son titulares y gozarán de los derechos garantizados en la Constitución y en los instrumentos internacionales.

Art. 27.- Se menciona que la educación se centrará en el ser humano y garantizará su desarrollo holístico, en el marco del respeto a los derechos humanos, al medio ambiente sustentable y a la democracia.

Art. 71.- Menciona que; la naturaleza o Pachamama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.

Art. 74.- Señala que las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades tendrán derecho a beneficiarse del ambiente y de las riquezas naturales que les permitan el buen vivir.

Art. 395.- De la sección primera, naturaleza y ambiente menciona que; el Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras, en la sección tercera, patrimonio natural y ecosistemas.

Art. 409.- Es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, en especial su capa fértil. Se establecerá un marco normativo para su protección y uso sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión. En áreas afectadas por procesos de degradación y desertificación, el Estado desarrollará

y estimulará proyectos de forestación, reforestación y revegetación que eviten el monocultivo y utilicen, de manera preferente, especies nativas y adaptadas a la zona (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

2.1.2 Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021

Objetivo 3: Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones.

Política 3.4: Promover buenas prácticas que aporten a la reducción de la contaminación, la conservación, la mitigación y la adaptación a los efectos del cambio climático, e impulsar las mismas en el ámbito global.

Política 3.5: Impulsa la economía urbana y rural, establecida en el uso sostenible y agregador de valor de recursos renovables, propiciando la corresponsabilidad social y el desarrollo la Bioeconomía.

Política 3.6: Impulsar la generación de bio-conocimiento como alternativa a la producción primario-exportadora, así como el desarrollo de un sistema de bioseguridad que precautele las condiciones ambientales que pudieran afectar a las personas y otros seres vivos. (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES], 2017).

2.1.3 Código de ética de la Universidad Técnica del Norte

El código de ética tiene como finalidad contribuir a la mejora del comportamiento de los integrantes de la comunidad dentro y fuera de la Universidad valorando el aliento del estudiante para que asuma una responsabilidad bajo los principios de eficacia, calidad y transparencia.

2.1.4 Línea de investigación

El presente estudio se enmarca en la línea de investigación de la Carrera de Ingeniería Forestal: Desarrollo agropecuario y forestal sostenible.

2.2 Fundamentación teórica

2.2.1 *Sistemas Agroforestales*

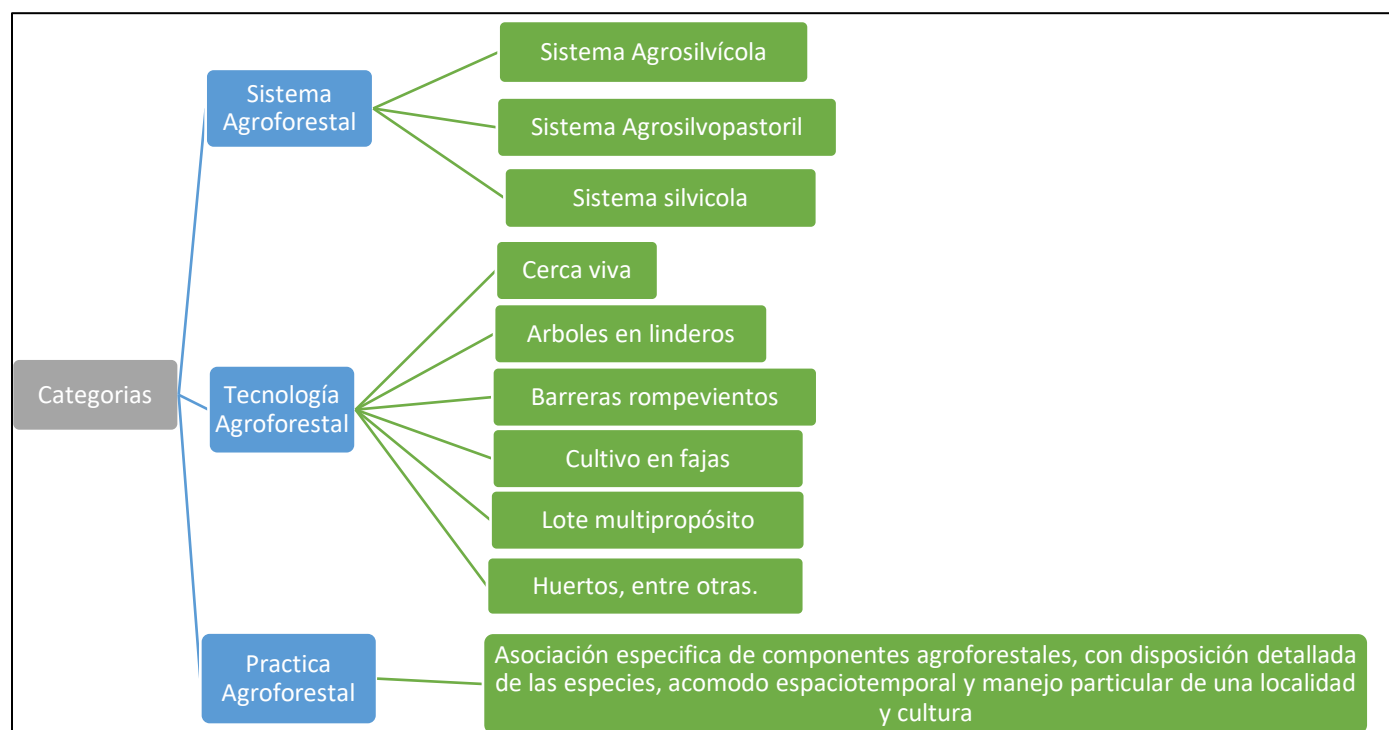
La agroforestería es la ciencia que describe un sistema de uso de tierra antiguo y ampliamente practicado (Farell y Altieri, 1997). Mientras Iglesias (1999) afirma que la agroforestería es la interacción que existe entre especies arbóreas, cultivos perennes y de corto plazo, pastos, animales, entre otros. Los sistemas agroforestales son definidos como el manejo sostenido de la tierra, donde los factores ya nombrados se desarrollan en un espacio determinado, demostrando que existe una influencia ecológica mutua.

Mendieta y Rocha, (2007) afirman que, un sistema es un conjunto de componentes, relacionados entre sí, formando una sola entidad; sus componentes incluyen poblaciones de plantas cultivadas y animales, que deben tener características estructurales y funcionales. Estructuralmente es un diseño físico de cultivos y animales relacionados en el espacio y a través del tiempo. Físicamente es una unidad que procesa ingresos tales como radiación solar, agua, nutrimentos, y produce egresos como alimentos, leña, fibras, entre otros.

2.2.2 *Clasificación de los sistemas Agroforestales*

La clasificación agroforestal debe realizarse mediante la asignación de categorías articuladas, de tal manera que unas mayores contengan otras de menor nivel (Ospina, 1994 y 2000).

En la figura 1 se puede observar las diferentes categorías y clasificaciones agroforestales.

Figura 1*Clasificación agroforestal*

Elaborado por: el autor con base a Ospina (2016).

2.2.3 *Sistemas agrosilvícolas*

La Agroforestería es una alternativa para el uso de la tierra (Mendieta y Rocha, 2017). Ospina (2016) afirma que, los sistemas agrosilvícolas están constituidos por componente vegetal leñoso y vegetal componente no leñoso; cumplen con varias funciones como productividad, sostenibilidad y adaptación, que le permiten cumplir sus efectos potenciales (Köpsell, 2001).

Un sistema agrosilvícola es el conjunto de árboles y cultivos que provocan mayor producción y beneficios ecosistémicos que los cultivos por separado (Sereke, et al., 2014); en Europa tiende a ser más productiva que los cultivos agrícolas convencionales y sistemas de pastizales; y es una alternativa rentable a la normalidad (Graves, et al., 2007). La agrosilvicultura aumenta significativamente el rendimiento de los cultivos, el nitrógeno total del suelo, el carbono

orgánico y el fósforo disponible también reducen la escorrentía, pérdida de suelo, mejora las tasas de infiltración y el contenido de humedad del suelo. (Kuyah, et al., 2019).

2.2.4 Efectos de los árboles de sombra en el cultivo de café

Los árboles de sombra son de vital importancia en los cultivos porque se encargan de conservar niveles altos de materia orgánica (Fernández y Muschler 1999); Guharay (2000), afirma que los árboles mantienen la estructura del suelo, por su importancia como fuente y sustrato de nutrientes. El nivel de materia orgánica del suelo influye en la productividad, por este motivo es importante su manejo.

Los cafetales asociados a especies forestales presentan mayores beneficios ante los cultivos expuestos a pleno sol, pues conservan mayor cantidad de hojarasca (Cabon y Thériez, 2015); son considerados cultivos beneficiados, ya que los árboles se encargan de interceptar las gotas de lluvia, lo cual disminuye el riesgo de erosión del suelo (Verbist, et al., 2010; Gómez-Delgado, et al., 2011). Cabon (2015) afirma que los árboles de sombra aumentan la energía cinética de las gotas de lluvia y que el efecto depende de la especie de árbol asociada porque algunas especies arbóreas tienen un efecto más fuerte que otros.

La sombra en conjunto con la hojarasca permite una menor evaporación, lo que beneficia al cultivo (Rapidel, et al., 2015). Con la presencia de sombra los niveles de carbono en el suelo aumentan, lo que refleja una mayor capacidad de intercambio catiónico (Muschler, 1999).

Los árboles de sombra transpiran más agua de la que la sombra permite ahorrar por menor transpiración del café o por menor evaporación del suelo (Van Kanten y Vaast, 2006). La profundidad de extracción de agua del suelo de los cafetales y árboles de sombra es diferente lo que se refleja en la reducción de competencia de agua entre estas especies (Cannavo, et al. 2011).

En los sistemas agrosilvícolas se han encontrado tasas de fijación de nitrógeno (Isaac y Col. 2012). Los árboles fijadores de nitrógeno pueden reemplazar el nitrógeno (N) perdido en la

cosecha, poseen la capacidad de establecerse en suelos deficientes en N, y proporcionar servicios y beneficios al ecosistema (Kurppa, et al., 2010 ; Araujo, et al., 2012). Muchos sistemas agrosilvícolas están asociados a cultivos perennes de importancia económica mundial como son café (*Coffea arabica*) y cacao (*Theobroma cacao*) (Munroe e Isaac, 2013)

2.2.5 El café en la región Latinoamericana

El cultivo de café a nivel de centro América influye trascendentalmente en la economía de los países que lo conforman, el cambio climático es un factor que influye en la disminución de áreas aptas para el desarrollo del cafeto, por esto es necesario asociar el cultivo de café con árboles para el mejor desarrollo del café y evitar la erosión o el desgaste del suelo (Ovalle Rivera, et al., 2015; Bouroncle, et al., 2014).

Ponce (2016), expresa que el promedio de rendimiento de café arábigo es de 22 t. ha⁻¹ esto se ve expresado en débil competitividad, reducción de exportaciones y aumento de importaciones de materia prima para la industria desde Vietnam, Brasil, Costa de Marfil e Indonesia.

En el Ecuador, el café es un producto primordial en el aspecto económico por la generación de divisas e ingresos que su exportación implica (6,468 toneladas al 2015); mientras que, en el aspecto social, en su producción genera empleo e ingresos a los actores de la cadena; beneficiando a 34,000 productores a nivel nacional. Este cultivo se ha ubicado en los últimos quince años entre los primeros ocho cultivos con mayor superficie cosechada y es producido en 21 provincias del país (ESPAC, 2015).

Los granos de café se clasifican por su tamaño, en grande, mediano o pequeño, teniendo mayor aceptación en el mercado, los grandes, porque este mayor tamaño de grano se asocia con una buena formación y uniformidad de tostado.

La escasez de estos nutrientes afecta el normal crecimiento y desarrollo de las plantas. Los suelos aptos para cultivar café deben tener contenidos de materia orgánica mayores al 5 % porque

influye de manera decisiva en el mejoramiento de las condiciones físicas del suelo (Duicela, 2011), una cantidad de materia orgánica óptima favorece la retención de humedad y es el principal sustrato para el desarrollo de microorganismos que la transforman en una gran fuente de alimento para el cafeto, la principal característica de un suelo con óptimas condiciones de materia orgánica presenta una coloración oscura (Wintgens, 2004).

2.2.6 *El cambio climático y el café*

Las precipitaciones aumentan los defectos del cafeto y modifican la composición bioquímica de las cerezas, eso influye en la calidad final de la bebida. El cambio climático provoca que existan períodos de sequía más pronunciados, esto puede cambiar considerablemente de manera significativa las regiones cafeteras geográficas, lo que lleva a un impacto ambiental, económico y social (Moffato, et al., 2016)

La variación de las condiciones climáticas interfiere en la formación y maduración de la fruta, cambiando sus características intrínsecas, lo que puede permitir diferentes calidades de bebida, con potencial para producir cafés especiales. el efecto de las condiciones ambientales y la práctica de cultivo en el aspecto físico y su consecuencia en la calidad de la bebida de los cafés (Andreoti, et al., 2008).

Entre los factores limitantes del desarrollo del cafeto están: factores climáticos, uso inadecuado de cultivares para cada región, métodos inadecuados de recolección, procesamiento y secado, además de la tradicionalista del cafetero tratando la cultura y comercialización de café (Dal Molin, et al., 2003).

Las condiciones climáticas, principalmente la temperatura y el régimen del agua, son decisivos por el buen desempeño de la cultura cafetera. Cuando las temperaturas durante la formación del fruto son muy altas, hay una reducción de ciclos entre floración y maduración, especialmente en la fase final del ciclo (Ortolani, et al., 2000).

El agua de lluvia influye en gran medida en el tamaño de los granos, ya que inciden directamente en la maduración de las frutas.

2.2.7 Enfermedades en el cultivo de café

El desarrollo de un cafetal dentro de un sistema influye en la dinámica ecológica, y favorece las interacciones de redes ecológicas (Macip Ríos y Casas Andreu, 2008; Kraker Castañeda y Pérez Consuegra, 2011). Dentro de la dinámica del cultivo y el manejo del agroecosistema, hay un reconocimiento de la incidencia de plagas y enfermedades, donde es necesario realizar el manejo fitosanitario de sus unidades de producción, los insumos en su mayoría provienen del mismo sistema o bien, son productos de origen natural. La percepción de los caficultores en el funcionamiento de la biodiversidad de sus cafetales es fundamental (Cruz Hernández y Torres Carral, 2015).

Las plagas con mayor incidencia en los cafetales son: la broca (*Hypothenemus hampei*) que afecta directamente los frutos de café, principalmente la producción y la calidad; minador de la hoja (*Leucoptera coffeellum*), que afecta el área fotosintética y causa la defoliación. Las enfermedades identificadas son: roya (*Hemileia vastatrix*); mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*) y ojo de gallo (*Mycena citricolor*) (Alvarado Méndez, et al., 2006; Benítez García, et al., 2015, Carmona Cruz, 2017).

2.2.8 Descripción de las especies del sistema agrosilvícola

2.2.8.1 *Alnus nepalensis*

2.2.8.1.1 Taxonomía y Morfología

- Familia: Betulaceae
- Nombre Común: Aliso

Es una especie que se desarrolla en todo el Himalaya entre los 1000 y 3000 msnm en Paquistán a través de Nepal, norte de la India, Bután y Birmania superior a sudoeste de China e Indochina. En bosque húmedo, fresco o climas de monzón subtropical de montaña, se lo puede encontrar en estado natural con precipitaciones que oscilan desde 500 – 2500 mm de 4 a 8 meses y una estación seca (Duke, 1983).

A. nepalensis pertenece a la familia Betulácea, y es el único género de esta familia que se asocia con *Frankia* para formar nódulos de raíces actino rizales fijadores de nitrógeno (Khan, et al., 2007). Esta especie tiene una amplia distribución en elevaciones de 1000-3000 m en las regiones montañosas de lugares como la provincia de Yunnan, China. Varios estudios a nivel internacional afirman el rápido crecimiento, alta calidad de madera y alto contenido de nitrógeno en las hojas y ramas, por estos motivos *A. nepalensis* es utilizada ampliamente como planta pionera para la regeneración forestal y la recuperación de suelos empobrecidos en nitrógeno.

En el Ecuador *A. nepalensis* se ha estudiado dentro de la zona de Intag (Vallejos, et al., 2020 y Añazco, et al., 2018) afirman que esta especie muestra un crecimiento precoz en altura, lo que permite registrar su máximo crecimiento anual (IMA) a los 3 años de edad, se adapta mejor en lugares con una mayor precipitación y temperatura, o en sitios denominados de transición y nublados, pese a ser una especie de rápido crecimiento necesita condiciones ambientales adecuadas que le permitan cumplir su ciclo productivo, el crecimiento puede ser mayor según las condiciones en las que se desarrolle, es una especie optima por los beneficios que aporta al suelo y el beneficio económico que puede aportar, por esto es una opción de ser una especie apta para asociarla con otro tipo de cultivos, siendo parte de un sistema agroforestal.

2.2.8.2 *Inga densiflora*.

2.2.8.2.1 *Taxonomía y Morfología*

- Familia: Fabaceae
- Nombre Común: Guaba

Este género es frecuentemente el más utilizado como sombrío en los cultivos de café, porque brindan varios servicios ecológicos de manera directa e indirecta, en algunos lugares son utilizados e implantados por tradición, sin tener claro o fundamentado las ventajas que presta, muchas ocasiones los agricultores son beneficiados por esta especie sin que ellos lo sepan, esta especie brinda servicios de protección micro climática para cultivos, otras son la protección de la erosión del suelo y el enriquecimiento de nutrientes en el suelo a través del colchón de hojarasca. Quizás el beneficio más desapercibido es la presencia de biota benéfica como aves, murciélagos, arañas y hormigas, entre otros (Sinisterra, et al., 2016).

Inga es un género muy utilizado en sistemas agroforestales (Monro, et al., 2016), reconocida por aportar nitrógeno y sombra a los ecosistemas, al ser un árbol de copa densa y altura de hasta 30m , su fruto es una legumbre cuya longitud varía según su especie, (Salazar, et al., 2010), este fruto tiene una diversidad de usos entre los principales alimentación y medicina humana (Ríos, et al., 2007), también se caracteriza por servir para la alimentación animal, construcción y su principal uso ambiental que es la sombra (Marín, et al., 2012).

Las características mencionadas del género *Inga* potencializan su uso dentro de sistemas agroforestales, ya que diversifican la producción, además de ser fuentes generadoras de sombra y fijadoras de nutrientes.

2.2.8.3 *Coffea arabica*

2.2.8.3.1 *Taxonomía y Morfología*

- Familia: Rubiaceae
- Nombre Común: Café

Coffea arabica es originario de Etiopía. Se cultiva desde la antigüedad, y representa el 75 % de la producción mundial de café. Produce un café fino y aromático, y necesita un clima fresco. Es un cultivo delicado, menos productivo y está reservado a tierras altas de montaña, entre 900 y 2 000 msnm (Gómez, 2010).

La variedad Caturra es una mutación de la variedad Bourbon. El color de los brotes tiernos es verde. Con una alta producción y buena calidad, pero que requiere de una amplia atención y fertilización. Tiene hojas grandes con bordes ondulados similares al Bourbon. Por ende, se adapta bien a casi cualquier ambiente, pero mejor entre los 500 y 1700 metros con precipitaciones anuales entre 2500-3500 mm. A mayor altitud aumenta la calidad, pero disminuye la producción (Bimbosa y Consuelo, 2019).

2.2.8.3.2 *Condiciones Ambientales de café*

El desarrollo adecuado de un cafeto depende de las siguientes condiciones ambientales (Alarco,2011 y Sánchez ,2018):

- a) Clima: Subtropical templado con temperatura media anual entre los 18°C y una precipitación entre los 800mm
- b) Altitud: La altitud optima se encuentra entre 1200 y 1700 msnm, pero en Ecuador existen cultivos de café desde los 300 a 1700 msnm
- c) Humedad relativa: entre el 70 y 85 %
- d) Topografía: Cultivo que se adapta a condiciones topográficas desfavorables, pero un terreno uniforme es mejor.

- e) Características físico – químicas: El rango de pH optimo esta entre los 5,5 y 6,5, porcentaje de materia orgánica entre 2-5% y el Superior a 3%.

2.2.8.4 *Musa paradisiaca.*

- Familia: Musaceae
- Nombre Común: Plátano

El plátano es establecido en sitios donde se cortan los charrales jóvenes (áreas de regeneración natural con menos de 5 años de abandono). Durante la voltea de la vegetación del charral, se retienen y favorecen los árboles de varias especies maderables valiosas, tal como el cedro, laurel y tangare (*Carapa guianeensis*) (Ballester, et al., 2008).

El plátano es un cultivo que ha asociado a cultivos perennes, en zonas tropicales húmedas de América central, el plátano es utilizado como sombra temporal durante el establecimiento de cacao o café (Somarriba, 1994).

2.2.9 *Fertilidad del suelo*

En la formación del suelo influyen varios actores como: clima, organismos, relieve, material parental y tiempo, dichos factores determinan las características finales del suelo. De los factores ya mencionados la precipitación y temperatura son los más importantes, en el caso de existir una temperatura elevada la capacidad de dispersión del agua es mayor y si la cantidad de lluvias supera la evaporación esto provoca la lixiviación (García y Navarro, 2014).

La capacidad nutricional del suelo depende de la fertilidad de este, esta puede ser natural haciendo referencia a que los nutrientes existentes en el suelo son propios y están en equilibrio con su entorno, en cambio las adquiridas son las que proporciona el hombre como, por ejemplo: abonos o fertilizantes en la práctica agrícola (Sadeghian, 2008).

Sí, el suelo es poco fértil es necesario administrar los nutrientes necesarios que serán aprovechados por el cultivo, en el caso de la agricultura el suelo está en constante desgaste de nutrientes por lo que es necesario realizar una fertilización (Sadeghian y González 2012).

La exigencia nutricional de los cultivos son la principal causa para realizar la aplicación de fertilizante al suelo y suplir las necesidades nutricionales y garantizar una mejor producción. Las necesidades nutricionales de un cultivo son influenciadas por factores como disponibilidad de agua, precipitación, humedad entre otros, que se estudian en conjunto (Uribe y Salazar 1981).

Los cafetos están constituidos por los siguientes elementos minerales: Carbono (C), Hidrógeno (H) y Oxígeno (O) que representan como 96% del peso seco total y que la planta la toma del aire y del agua. Luego están Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre (S), Boro(B), Hierro (Fe), Cloro (Cl), Cobre (Cu), Manganeseo (Mn), Zinc, (Zn) y Molibdeno (Mo) que representan aproximadamente el 4% del peso seco total y que la planta toma del suelo por medio de finas y delicadas raíces absorbentes (Valencia y Aristizábal, 2005). El café según es un cultivo que necesita de nutrientes esenciales los cuales se dividen en micro y macronutrientes (Sadeghian, 2008), los elementos esenciales del cultivo de café son N (nitrógeno), P (fosforo), K (potasio) y Mg (magnesio) esenciales en el desarrollo y producción del café (Gonzales, 2012).

En la etapa de floración y fructificación la demanda de los nutrientes principales del cafeto aumenta, y es absorbido en mayores cantidades del suelo, por lo que se considera que la fertilización debe realizarse en mayor cantidad cuando la cosecha ha sido mayor (Prezzoti, 2001).

2.2.10 Fertilización del café

El suelo es un importante reservorio de nutrientes minerales para las plantas, y en conjunto con las raíces se encargan de extraer los elementos que necesitan para su crecimiento y producción, la cosecha de un cultivo estará relacionada a las condiciones medioambientales predominantes.

Cuando existe una deficiencia del contenido de los nutrientes esenciales en el suelo y no se pueda suplir la demanda requerida por el cultivo, estos deben suministrarse mediante la aplicación de fertilizantes (Sadeghian, et al., 2013).

Las plantas toman los nutrientes del aire y del suelo por lo tanto si el suministro de nutrientes es amplio, existe la probabilidad de que los cultivos crezcan mejor y produzcan con mayor rendimiento. Pero la ausencia de alguno de los elementos o su escaso contenido provoca un crecimiento y una producción limitada, por este motivo la aplicación de fertilizantes es una opción para suministrar al suelo los nutrientes que necesita el cultivo (FAO, 2002).

La fertilización es una práctica costosa, arroja una gran relación beneficio/costo. Para conseguir una respuesta positiva a la fertilización, es necesario que las otras prácticas de manejo sean las adecuadas y que existan condiciones ambientales favorables (Restrepo y Suarez, 2003; Jaramillo, 2014).

La fertilización es una práctica utilizada para mantener o incrementar los contenidos de materia orgánica y los nutrientes en el suelo en base a las exigencias del cultivo, esta práctica es conocida por desarrollar la resistencia de la planta ante plagas, enfermedades, sequías, entre otros, y así mejorar el potencial de productividad del cultivo (Sadeghian, S., y González, H. 2012).

Las falencias que existan en un cultivo al momento de realizar el manejo agronómico son errores que el fertilizante no podrá corregir, así como otro tipo de prácticas o labores culturales descuidadas. La fertilización de manera racional, proporcional, y efectiva asegura que se logre la sostenibilidad ambiental y económica del sector agrícola. Esto se logra con ayuda de un análisis de suelo, considerado un instrumento importante para encontrar las dosis y fórmulas de fertilizantes más económicas (García, 2014).

Los fertilizantes utilizados de forma racional contribuyen a reducir la erosión, acelerando el crecimiento de la cubierta vegetal del suelo, evitando el daño de los agentes climáticos. La aplicación de fertilizantes no resuelve otros problemas derivados de; inadecuadas condiciones físicas del suelo, del clima o del manejo del cafetal (Huiguita, 2015).

La mejor respuesta al uso de fertilizantes se obtiene si el suelo posee un nivel elevado de fertilidad. Los factores determinantes de la fertilidad del suelo son: la materia orgánica (incluyendo la biomasa microbiana), textura, estructura, profundidad, contenido de los nutrientes, capacidad de almacenamiento, reacción del suelo y ausencia de los elementos tóxicos (por ejemplo: aluminio libre). Para mejorar la fertilidad, los agricultores deben tener un conocimiento básico de su suelo (Miro y Ares, 2018).

2.2.10.1 Épocas de aplicación y fraccionamiento del fertilizante

Las épocas de aplicación son detenidas en gran medida por el régimen de precipitación, ya que este influye en la fenología del café y es indispensable para mantener la humedad, permitir un crecimiento de las plantas, y mejorar la solubilidad del fertilizante (Chávez, 1999). La temporada húmeda es óptima para realizar este tipo de prácticas, con el propósito de disminuir la pérdida de nutrientes por lixiviación, escorrentía o volatilización; se recomienda el fraccionamiento del fertilizante en tres aplicaciones al año (Jaramillo, 2016).

2.2.11 Fertilizantes

Fertilizante es cualquier material orgánico e inorgánico y de origen natural o sintético, lo cual una vez aplicado al suelo, suministra a las plantas uno o más de los nutrientes esenciales para su crecimiento (Sadeghian, 2013).

El desarrollo de la industria productora de fertilizantes influye en la recuperación de la fertilidad de los suelos perdidos y mejora la fertilidad natural de los mismos. La aplicación del

fertilizante debe darse cuando no exista o se haya agotado un elemento nutricional del suelo, entonces el fertilizante tiene como misión un aumento de la producción y mejora de su calidad (García, et al., 2014).

2.2.12 Tipos de Fertilizantes

Según la Norma técnica ecuatoriana 209, (2016) se Define los siguientes tipos de fertilizantes:

- a) **Fertilizante químico:** Fertilizante en el que los nutrientes declarados están en forma de sales inorgánicas obtenidas por extracción y, o por un proceso industrial físico y/o químico.
- b) **Fertilizante orgánico:** Fertilizante que consta principalmente de productos carbonados de origen vegetal y/o animal.
- c) **Fertilizante en mezcla:** Producto que se obtiene de la mezcla de fertilizantes simples de origen orgánico e inorgánico (sólidos o líquidos).

2.2.12.1.1 Fertilizante Químico

También conocido como abono químico es un producto que contiene, por los menos, un elemento químico que la planta necesita para su ciclo de vida. La característica más importante de cualquier fertilizante es que debe tener una solubilidad mínima en agua, para que, de este modo pueda disolverse en el agua de riego, ya que la mayoría de los nutrientes entran en forma pasiva en la planta, a través del flujo del agua (ECURED, 2017). Generalmente son mezclas químicas artificiales que se aplican al suelo para su fertilidad, en Nicaragua este es el fertilizante más usado por los productores.

2.2.12.1.2 Fertilizante Orgánico

El abono orgánico es un residuo que se obtiene de los animales o especies vegetales, que posee cierta riqueza en materia orgánica y que también contiene elementos esenciales que son

nutritivos para las plantas. La utilización correcta de los abonos orgánicos está sujeta a muchas más consideraciones que la de los fertilizantes minerales, dada su complejidad constitutiva. En primer lugar, se debe tener en cuenta que su materia orgánica podrá alterar el complejo de cambio y la estructura del suelo, así como las propiedades que se derivan de esta (Ripodas, 2011).

El abono orgánico champiñonaza es un producto apto para la recuperación de suelos que aporta micro y macronutrientes a la planta, mejora las propiedades físicas del suelo, estructura permitiendo la aireación y mejora la porosidad (Vedder, 1996).

Champiñonaza genera beneficios como un mejor desarrollo radicular de las plantas, devuelve la actividad biótica del suelo, incrementa el número de microorganismos benéficos, aumenta la capacidad de retención de agua, mejora el pH de suelo, el sustrato el libre de patógenos debido a ser pasteurizado (Plaster, 2000).

2.2.12.1.3 Fertilizantes mixtos

En el caso de los cafetales Farfán y Baute (2020) afirman que, los que se encuentran sin sombra, tiene una mayor producción, pero esto también implica un mayor consumo de fertilizantes, lo que va de la mano con un manejo adecuado como la ejecución de renovaciones, podas, desyerbas, control de enfermedades o plagas, prácticas de prevención y control de erosión.

La aplicación de fertilizantes de una manera excesiva y sin la ayuda de un análisis del suelo produce problemáticas como; presentar un efecto residual acidificante, reflejando una disminución del pH, del C, Mg, y aumento del Al y Mn intercambiables, por ende, la eficiencia del fertilizante va a disminuir (Castro y Laguna, 2018).

Los nutrientes en el cultivo de café disminuyen según su etapa de desarrollo, es decir que en cada etapa la proporción de fertilizantes va a variar, según las necesidades de las plantas en ese momento (Echeverría, 1994). Sin embargo, la dosis anual recomendada es de 1 000 kg de mezcla

de fertilizantes simples para cafetales con rendimiento promedio por año de 5000 Kg ha⁻¹, sin considerar análisis de suelo (Valencia, 1992).

2.2.13 Funciones que desempeñan los elementos

En la tabla 1 se presentan las funciones que cumplen los elementos.

Tabla 1

Función elementos mayores y menores

Elementos mayores	Función
Nitrógeno	Interviene en el proceso de los tejidos para el crecimiento de las plantas. Es el nutriente que da mayor resultado a la producción del café.
Potasio	Incrementa la respuesta del Nitrógeno. Favorecen a la fijación de Nitrógeno atmosférico. Da resistencia a la planta a enfermedades.
Fosforo	Actúa en el proceso de la respiración. Acciona el desarrollo de la raíz. Ayuda a la formación de hojas y tallos gruesos. Participa en la fotosíntesis.
Magnesio	Funciones similares al calcio. Estimula el desarrollo de microorganismo benéficos del suelo.
Calcio	Favorece la germinación de semillas y aumenta la absorción de K. Mejora la absorción y utilización del Nitrógeno. En el suelo estimula la actividad microbiana.
Azufre	Participa en la síntesis de proteína. Estimula la formación de semillas, como también mejora la asimilación y metabolismo de N.
Elementos menores	Función
Boro	Participa en el metabolismo de la auxina y en el crecimiento de raíces. Mantiene el calcio soluble en la planta y actúa como regulador en la relación K-Ca.
Zinc	Favorece crecimiento de plantas necesario para la clorofila y carbohidratos. Ayuda en la formación y llenado del grano. Necesario para la formación de clorofila y proceso de respiración.
Cobre	Aumenta la resistencia a las enfermedades. Regula el crecimiento de la planta.
Hierro	Ayuda en la formación de la clorofila. Ayuda a los sistemas enzimáticos
Molibdeno	Importante en el metabolismo del P y ayuda en la asimilación del N. Está asociado a los mecanismos de absorción y traslación del Fe.
Manganeso	Ayuda en el proceso de respiración, en la fotosíntesis y en el metabolismo del N. Ejerce influencia en el transporte y utilización del Fe en la planta

Fuente: Scan, Solidaridad y Nacional, (2012) citado por Cerda y Salazar, (2020).

2.2.14 Fertilización bajo sombra

Los árboles prestan varios servicios a los cultivos del café, como, aporte de nitrógeno, regular la disponibilidad de agua, cortinas rompe viento, aporte de materia orgánica y mantener la fertilidad del suelo (Farfán y Mestre; 2013). La fertilización bajo sombra no ha sido tan estudiada,

porque varía según las condiciones climáticas del cafeto, la dosis adecuada del fertilizante depende del manejo, disposición y porcentaje de sombra presentes en el cultivo (Lau, et al., 2020).

Si las densidades de siembra disminuyen y los porcentajes de sombrero aumentan, las dosis estarían entre el 85% y el 95% de las definidas para cafetales a libre exposición y altas densidades de siembra. La aplicación se realiza en temporadas lluviosas, con el fin de potenciar la efectividad de la fertilización (Sadeghian y González, 2012)

CAPÍTULO III

MATERIALES Y METODOLOGÍA

3.1 Ubicación del sitio

3.1.1 Política

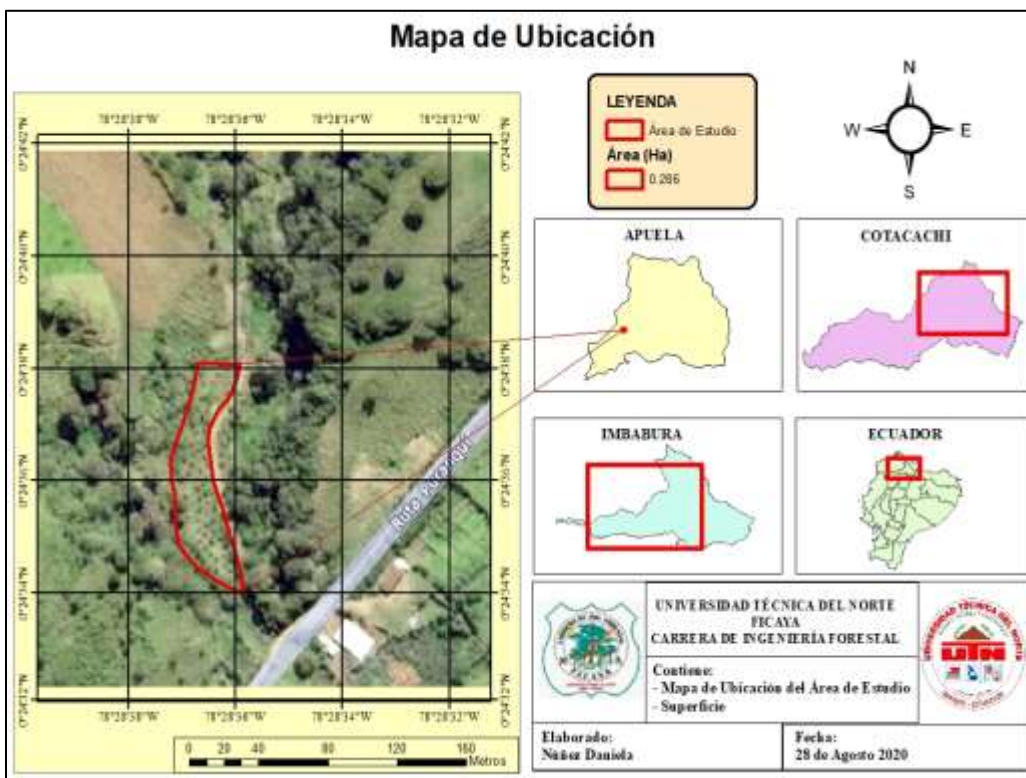
El estudio se realizó en la propiedad del Sr. Marcelo Vergara, ubicada en el sector Puranquí, parroquia Apuela, zona de Intag, cantón Cotacachi, Imbabura. La superficie de la propiedad es de 2860 m².

3.1.2 Geográfica

Las coordenadas del sitio de son en 78°28'36 de longitud W, 0°24'36" de latitud N, UTM WGS84 ZONA 17N y a una altitud de 1883 msnm aproximadamente. (Ver figura 2).

Figura 2

Ubicación del sitio



3.1.3 Límites

La propiedad del señor Marcelo Vergara se encuentra entre los límites:

- a) Norte: Al norte con el terreno de otro propietario
- b) Sur: Inicio del terreno, junto al camino
- c) Este: lindero de alisos a metros de riachuelo
- d) Oeste: Plantación de Alisos y café de diferentes edades.

3.2 Caracterización edafoclimática del lugar

3.2.1 Suelo

El suelo del lugar es de textura franco-arenosa, con un pH ácido de 5.4, con una alta cantidad de materia orgánica de 7.03% (LABONORT, 2020).

3.2.2 Clima

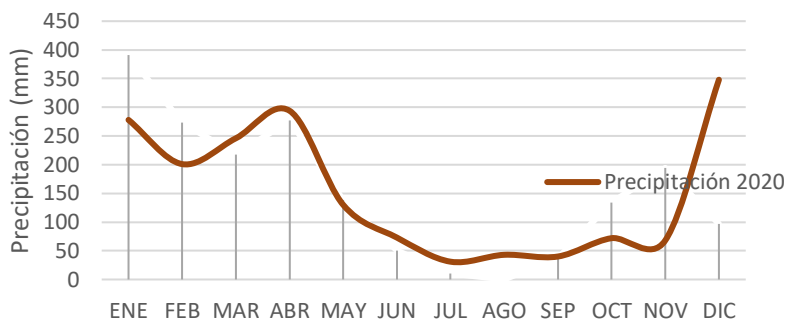
La zona de Puranquí es parte de la parroquia de Apuela, y cuenta con una altitud entre 1850-1900 msnm, un clima Ecuatorial mesotérmico, semihúmedo. La precipitación oscila entre 1000 a 1500mm, Con una temperatura que varía entre 15 a 16 °C (GAD Apuela, Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, 2015).

3.2.3 Precipitación

En el sector de Puranquí en el año 2020 la precipitación media anual tuvo un promedio de 152 mm, dicha información se obtuvo con un pluviómetro por parte del señor Charles Venator. A continuación, se puede observar una figura del comportamiento de las precipitaciones en el 2020 del sector. (Ver figura 3).

Figura 3

Comportamiento de la Precipitación en el sector de Puraquí año 2020



3.3 Materiales, equipos, insumos y software

Los materiales de campo, materiales de laboratorio, equipos y software que se emplearon en el desarrollo de la investigación están descritos en la tabla 2.

Tabla 2

Materiales, equipos, insumos y software utilizados en la investigación

Materiales de campo	Equipos	Software
Cinta métrica	GPS.	Microsoft Word.
Hoja de campo	Clinómetro digital Haglöf EC II D	Microsoft Excel.
Machete	Cámara fotográfica.	ArcGIS 10.4
Útiles de escritorio	Brújula	InfoStat
Etiquetas	Computadora.	Power point
Pala	Balanza electrónica	
Cinta de precaución		

3.4 Metodología

3.4.1 Universo

La investigación se realizó en un área de 2860 m² compuestas por el cultivo de café (*Coffea arabica*) plantado a una distancia de 2x2; un lindero de alisos (*Alnus nepalensis*) distribuido a una

distancia de 4x4; guabas (*Inga densiflora*) y plátano (*Musa paradisiaca*) a una distancia de 5x5, las cuales se encuentran distribuidas dentro del sistema agrosilvícola.

3.4.2 *Diseño experimental*

3.4.2.1 *Bloques Completamente al Azar con submuestreo.*

Para contestar la hipótesis del objetivo uno se estableció un Diseño de Bloques Completamente al Azar con submuestreo. Se consideró la pendiente del suelo y la distribución del aliso como factor de bloqueo, determinándose tres áreas homogéneas. Dentro de cada bloque se distribuyó de manera aleatoria cuatro tratamientos con unidades experimentales de 12 plantas de las cuales se seleccionaron tres al azar para la toma de datos. Los detalles del diseño experimental se muestran en la tabla 3.

Tabla 3

Características del diseño

Características	Números
# tratamientos	4
# repeticiones	3
# unidades experimentales	24
# de plantas de café por UE	12
# de plantas por submuestreo	3
# de plantas de café para el submuestreo	72

3.4.2.2 *Bloques Completamente al Azar*

Para contestar la hipótesis del objetivo tres se estableció un Diseño de Bloques Completamente al Azar. Se consideró la pendiente del suelo y la distribución del aliso como factor de bloqueo, determinándose tres áreas homogéneas. Dentro de cada bloque se distribuyeron de

manera aleatoria cuatro tratamientos con unidades experimentales de 12 plantas. Los detalles del diseño experimental se muestran en la tabla 4.

Factor de estudio: Tipos de fertilizante

Niveles

- a) Fertilizante químico NPK 10-30-10,
- b) Fertilizante orgánico - Champiñonaza
- c) Fertilizante mixto o de mezcla – NPK y Champiñonaza

Tabla 4

Características del diseño

Características	Números
# tratamientos	4
# repeticiones	3
# unidades experimentales	24
# de plantas de café por UE	12
# de plantas de café	288

Para el análisis estadístico se determinó si los datos cumplen con los supuestos de normalidad (Prueba de Shapiro Wilks) y homocedasticidad (Prueba de Levene). Posteriormente se aplicó ADEVA. Al existir diferencias significativas se aplicó una prueba de Dunnet ya que el experimento cuenta con un testigo.

Los cuatro tratamientos para la investigación, TQ es el código para el tratamiento químico, el cual se aplicó en una dosis de 501 gr al año que equivale a tres aplicaciones de 167 gr, TO es el tratamiento orgánico que se aplicó 6kg por año equivalente a tres aplicaciones de 2kg, TQ+O referente al tratamiento mixto el cual está conformado por 252gr de NPK y 3kg de Champiñonaza

al año, que equivale a tres aplicaciones de 84gr de NPK y 1 kg de Champiñonaza y TT que es el testigo. Los detalles de los tipos de fertilizantes en los tratamientos se exponen en la tabla 5.

Tabla 5

Dosificación de los tratamientos para el año y por cada aplicación

Tratamientos	Dosis total anual por planta	Dosis fraccionada por planta
TQ	501 gr	167 gr
TO	6kg	2kg
TQ+O	252 gr+3kg	84gr+1kg
TT	0	0

3.4.2.3 Detalle de los tratamientos

Tratamiento químico (TQ)

Sadeghian, García y Montoya (2006) afirman que, el fertilizante NPK es una fuente recomendada para el café. En base a las necesidades nutricionales observadas para el cálculo se tomó en cuenta la deficiencia de fósforo (P) donde:

30 kg de P_2O_5 existentes en 50kg de NPK

100gr de P_2O_5 equivalen a 167 gr de NPK

Tratamiento orgánico (TO)

La dosis óptima de aplicación de este tipo de abono orgánico es de 6kg por planta, en el año que se debe aplicar en la época lluviosa Monge, (1999); lo que hace referencia a que se deberá aplicar 2kg de champiñonaza por planta en tres aplicaciones al año.

Los principales componentes de la champiñonaza son tamo de arroz, yeso, gallinaza, urea. El sustrato de champiñón es un recurso orgánico muy rico en nutrientes Se aplicó a principios de la época lluviosa para que el porcentaje de humedad del suelo sea favorable para la acción del abono (Castillo, 2015).

Tratamiento Mixto o en mezcla

La mezcla de dos tipos de fertilizante, como son un fertilizante orgánico y químico, es una buena combinación, ya que el abono orgánico crea la base que mejora las condiciones del suelo para que el fertilizante químico se vuelva más eficiente y sea mayormente asimilable para la planta. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2002). En la investigación se considerará; 140gr de NPK y 1kg de Champiñonaza, debido a que la mezcla de estos dos tipos de fertilizante tendrá una composición de varios elementos como son: Nitrógeno (N), fosforo (P), Potasio (K), Magnesio (Mg), Calcio (Ca), Cobre (Cu), Zinc (Zn), entre otros.

3.4.2.4 Aplicación de Tratamientos

La aplicación de los tratamientos químico y orgánico se realizó por voleo, al ser la manera más eficiente y menos costosa para el agricultor; esta aplicación se hizo a una distancia aproximada de 50cm del tallo principal; es decir, dentro de la corona de la planta. Antes de la aplicación se hizo una limpieza de la corona de los cafetales para poder garantizar la absorción de los fertilizantes, y en el caso del tratamiento mixto se realizó una aplicación en media luna.

3.4.3 Esquema del diseño del experimento en campo

Figura 4

Diseño de bloques para el área de estudio

Bloque 1	
TO: Tratamiento Orgánico Color: Amarillo	TT: Testigo Color: Azul
TQ: Tratamiento químico Color: Rojo	TO: Tratamiento Orgánico Color: Amarillo
TQ+O: Tratamiento químico + Orgánico Color: Verde	TQ: Tratamiento químico Color: Rojo
TT: Testigo Color: Azul	TQ+O: Tratamiento químico + Orgánico Color: Verde
Bloque 2	
TO: Tratamiento Orgánico Color: Amarillo	TT: Testigo Color: Azul
TT: Testigo Color: Azul	TQ+O: Tratamiento químico + Orgánico Color: Verde
TQ: Tratamiento químico Color: Rojo	TO: Tratamiento Orgánico Color: Amarillo
TQ+O: Tratamiento químico + Orgánico Color: Verde	TQ: Tratamiento químico Color: Rojo
Bloque 3	
TT: Testigo Color: Azul	TQ: Tratamiento químico Color: Rojo
TQ+O: Tratamiento químico + Orgánico Color: Verde	TT: Testigo Color: Azul
TO: Tratamiento Orgánico Color: Amarillo	TQ+O: Tratamiento químico + Orgánico Color: Verde
TQ: Tratamiento químico Color: Rojo	TO: Tratamiento Orgánico Color: Amarillo

3.4.4 Variables

3.4.4.1 Propiedades químicas del suelo

Para la toma de datos se procedió a quitar la vegetación que cubre cada sitio de muestreo escogido. Posteriormente se extrajo la muestra con una pala, la muestra fue tomada a 20 cm de profundidad (Carrillo *et al.*, 1995), luego se procedió a mezclar las muestras y se tomó 1 kg.

Finalmente se procedió a etiquetar las muestras y se envió al laboratorio. Se determinó las propiedades del suelo con un análisis antes de la aplicación de fertilizantes, y tres análisis al décimo mes de la aplicación de los tratamientos. Se consideró como variables las siguientes características:

- Porcentaje de materia orgánica
- Nitrógeno disponible en el suelo
- Fosforo disponible en el suelo
- Potasio disponible en el suelo
- Nivel de pH

3.4.4.2 Morfología del café

Se consideró a tres plantas de café por cada tratamiento, como un submuestreo para tomar los datos morfológicos en base a la metodología de Salazar et al (1988). La toma de datos se realizó al inicio de la investigación, donde el café no tendrá ningún tipo de fertilizante, a los tres, seis meses y nueve meses de la aplicación de los fertilizantes. A continuación, se menciona las variables cuantitativas evaluadas

a) Altura de café - (HC)

Se identificó con el código (HC), las unidades métricas que fueron en metros, la medición se realizó con la ayuda de una cinta métrica, desde la base del cafeto hasta el ápice principal.

b) Número de ramas principales (ejes ortotrópicos) - (nRP)

Se identificó con el código (nRP), se realizó mediante el conteo de ramas o ejes ortotrópicos, consideran como ramas principales todas las ramas del cafeto. La información obtenida, fue registrada en la respectiva hoja de campo.

c) Número de ramas productivas (Ejes plagiotrópicos) – (nRPRO)

Se identificó con el código (nRPRO), ejes plagiotrópicos se realizó mediante el conteo únicamente de las ramas o ejes plagiotrópicos que contengan granos de café. La información obtenida, fue registrada en la respectiva hoja de campo.

d) Número de nudos productivos – (nNP)

Se identificó con el código (nNP), se realizará mediante la selección de cinco ramas por planta observada para proceder al conteo de los nudos productivos de las mismas. La información obtenida, fue registrada en la respectiva hoja de campo.

3.4.4.3 Productividad de café

Para evaluar el efecto de los tipos de fertilizante sobre la producción de café se realizaron recolecciones mensuales de café cereza por planta y se convertirá a kilogramos de café pergamino seco (Farfán, 2005). Se presenta las variables cuantitativas a considerarse de rendimiento por planta g/planta

a) Café cereza - (CC)

Se determinó el peso total del café cereza obtenido de cada planta por tratamiento, esto se realizó con la ayuda de una balanza de brazo, la unidad de masa que se considerara es en gramos.

b) Café pergamino seco – (CP)

Después del proceso de despulpado, fermentado y secado, se obtuvo la cantidad de café pergamino seco por planta, la cual fue pesada en una gramera electrónica. La unidad de masa a considerarse es en gramos.

c) Peso Promedio grano – (PPG)

De cada muestra se obtuvo el peso de 125 pepas, en el caso de haber una cantidad menor, se tomó en cuenta todas las pepas de la planta, y se procedió a pesar en subgrupos de 25 granos, y

de esta manera se obtuvo un promedio, para conocer el peso de los granos, esta información se la utilizó para comparar el peso de los granos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Propiedades químicas del suelo

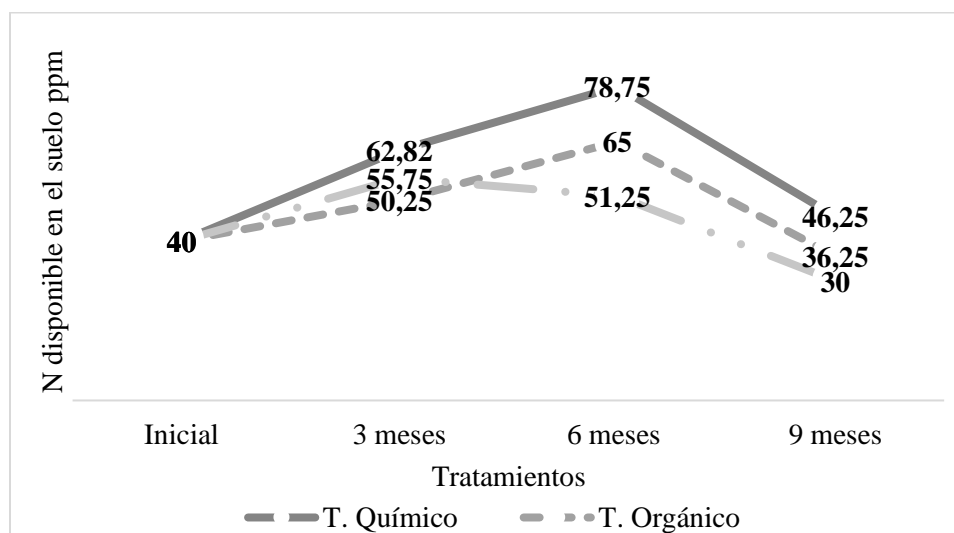
4.1.1 Nitrógeno disponible en el suelo

El sistema agroforestal al inicio de la investigación presentó 40ppm de N disponible en el suelo, al aplicar los diferentes tipos de fertilizantes se observa un incremento del elemento en la primera y segunda medición en el tratamiento químico; mientras que el tratamiento orgánico presento un incremento en la segunda medición, el tratamiento mixto presentó un aumento en la primera medición y una disminución a la segunda medición.

A partir de los nueve meses los valores de N disminuyeron en los tres tratamientos, siendo el tratamiento químico el que conservó un valor mayor a la inicial con 46,55ppm; seguido del tratamiento orgánico con 36,25ppm y el tratamiento mixto con 30ppm. La disminución de los valores se atribuye a que ya se inició la temporada de cosecha donde la absorción del nutriente por parte de la planta es mayor. (Ver figura 5)

Figura 5

Comportamiento del Nitrógeno posterior a la fertilización edafológica



El adecuado suministro de nitrógeno asegura mayor producción (Läderach, et al., 2011). Los fertilizantes nitrogenados representan un gasto y deben ser usados eficientemente para evitar la contaminación del agua; mejorar significativamente la fertilidad del suelo y el rendimiento (Agegnehu *et al*, 2016). A lo largo de la investigación se obtuvo un valor mayor de nitrógeno, y el tratamiento químico mantuvo valores mayores al iniciar y al finalizar la investigación

La aplicación de urea a *Coffe canephora*, aporta al suelo 200 kg/ha de nitrógeno (Ojeniyi, 1987). El nitrato suministrado al suelo es asimilado por las raíces y se integra incorporado como proteína, aumentando así la superficie de la hoja, área para la fotosíntesis (Davidson y Robson 1985). El nitrógeno en el suelo es esencial para el crecimiento de las plantas y la producción de comida (Munroe e Isaac, 2014). Los diferentes tipos de fertilizante realizan un aporte de nitrógeno, su mayor o menor contribución depende de la solubilidad, tipo de suelo y cantidad de agua en los poros. El fertilizante químico tiene una solubilidad mayor y por eso se evidencia su mayor aporte de nitrógeno, por otro lado, el fertilizante orgánico necesita de mayor tiempo para realizar el aporte total de los nutrientes al suelo y se observa un mayor aporte a partir de la segunda medición (García y Navarro, 2014).

La adecuada aplicación de nitrógeno debe apuntar a lograr la máxima producción por unidad de N aplicado, que depende del conocimiento sobre los requisitos de la planta durante sus etapas de crecimiento. El suministro de N puede afectar la producción cuando se aplica en grandes cantidades, el rendimiento del café disminuye debido al estímulo del crecimiento de las partes vegetativas (Lawlor, 2002).

4.1.2 Fósforo disponible en el suelo

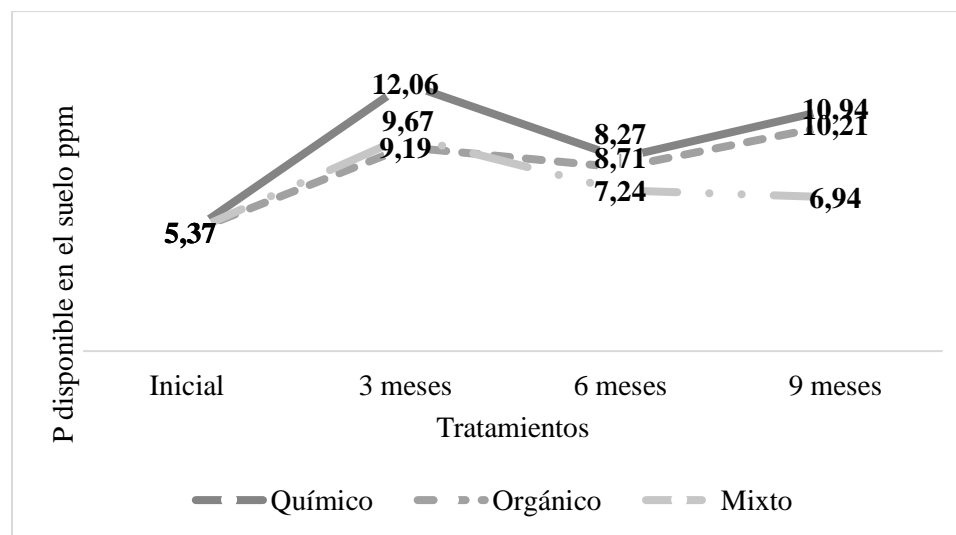
El elemento fósforo en el sistema agroforestal al inicio de la investigación presentó 5,37 ppm, con la aplicación de los diferentes tratamientos se evidenció un aumento al tercer y noveno mes respectivamente, en el sexto mes se evidencia una reducción del elemento.

A partir de los tres meses el tratamiento químico aportó una mayor cantidad de P, seguido del tratamiento mixto y el tratamiento orgánico.

A partir del noveno mes, se evidencia un aumento del elemento encabezado por el tratamiento químico, el cual incremento en un 25%; seguido del tratamiento orgánico que incremento 23% y el tratamiento mixto que sufrió una disminución de 4% con 6,94ppm. (Ver figura 6)

Figura 6

Comportamiento del fósforo posterior a la fertilización edáfica



El fósforo es el macronutriente más importante luego del nitrógeno es una limitante del crecimiento de la planta en el suelo. El P al ser un elemento difícil de asimilar se asocia a bacterias u hongos que faciliten su solubilización (Müller y Harrison, 2019). Se puede observar que la

actividad microbiana para el fósforo fue adecuada porque con la aplicación de los diferentes tipos de fertilizante se logró incrementar el porcentaje de P disponible en el suelo.

A partir del sexto mes se observa una disminución del elemento en los tres tratamientos esto se puede deber a que los frutos de café estaban en desarrollo y esto provoca una disminución del P (Sadeghian, Mejía y González, 2014).

Cuando el P disminuye, las características morfológicas del cafeto pueden decaer esto se atribuye a que el N y P trabajan juntos para facilitar el crecimiento y la vegetación del café. Sin uno u otro estos procesos se debilitan (Silva Aragão, et al., 2020).

El fósforo es un macronutriente que influye en el crecimiento de las plantas y es un nutriente limitante en muchos suelos. A diferencia del nitrógeno, el fósforo no se puede fijar a partir de fuentes atmosféricas; sólo se puede obtener por absorción del suelo a través de las raíces de las plantas como ortofosfato (HPO_4^{2-} o H_2PO_4^- dependiendo del pH del suelo) (Cade, M. 2017)

4.1.3 Potasio disponible en el suelo

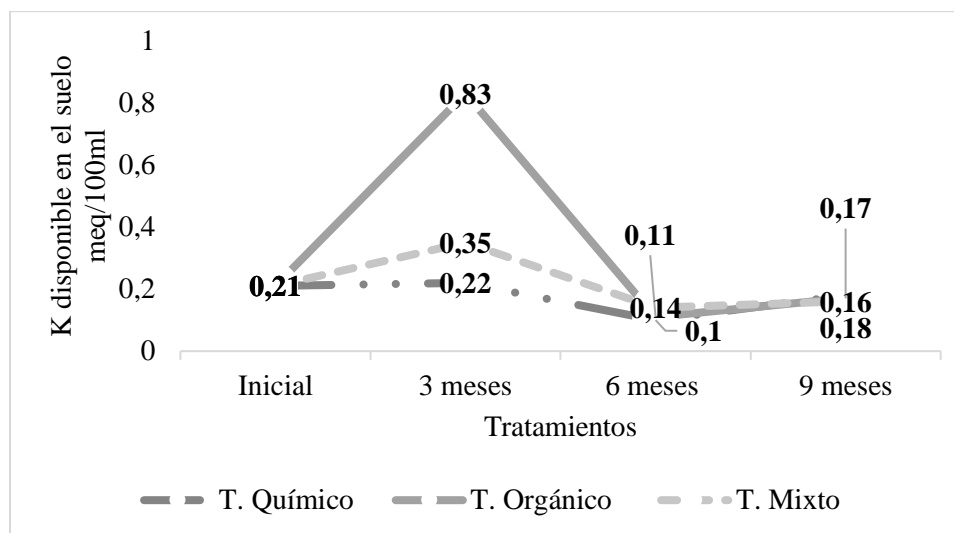
El sistema agroforestal al inicio de la investigación presentó 0,21 meq/100ml de K a partir de los tres meses el tratamiento que realizó un mayor aporte de este elemento fue el orgánico el cual cuatriplifico el valor, seguido del tratamiento mixto y el tratamiento químico.

A los seis meses se evidencia que existe una disminución en todos los tratamientos donde el tratamiento mixto presento un valor de 0,14 meq/100ml, seguido del tratamiento orgánico con 0,11 meq/100ml y el tratamiento químico con 0,10 meq/100ml.

En la última medición los valores incrementan siendo el tratamiento químico el más predominante con 0,18 meq/100ml, seguido del tratamiento orgánico con 0,17 meq/100ml y el tratamiento mixto con 0,16 meq/100ml. (Ver Figura 7)

Figura 7

Comportamiento del Potasio posterior a la fertilización edáfica



El K y el Mg son elementos que influyen en el desarrollo de hojas, la deficiencia de K vuelve susceptible al café a plagas o enfermedades, pero el exceso de este elemento disminuye el Mg (Valencia, 1992). En los análisis realizados se pudo observar que el K tuvo un incremento mínimo en el suelo, pese a esto el Mg disminuyó de una manera considerable.

En un cultivo de café bajo sombra y un suelo arcilloso el valor de K es de 0,45 meq/100ml (Sadeghian, S., Mejía, B., y González, H., 2014), valor superior a los existentes en el sector de Puranquí después de la fertilización.

En cuatro localidades de Colombia el K tuvo valores entre 0,12 a 0,66 meq/100ml (Henao y Hernandez, 2002), como se puede observar los datos obtenidos después de la fertilización en Puranquí están entre los rangos inferiores presentados en Colombia, pese a esto Valencia y Carrillo (1983) afirman que un nivel de 0,35 meq/100ml es considerado como deficiente para la adecuada nutrición potásica del cultivo.

En otro estudio realizado por Cenicafe se puede observar que los valores de K oscilan entre 0,5 a 2,2 meq/100ml (Valencia y Carrillo, 1983), valores que son superiores a los obtenidos en la

investigación; a su vez, en los suelos de Popayán el K tuvo valores de 0,5 a 0,8 meq/100ml, valores superiores a los encontrados en Puranquí, los 2 cafetales se encuentran asociados con especies arbóreas. (Paz y Sadeghian, 2006). Por otra parte, Sadeghian (2004), afirma que el cultivo de café tiene una mayor demanda del elemento en su etapa reproductiva.

4.1.4 pH

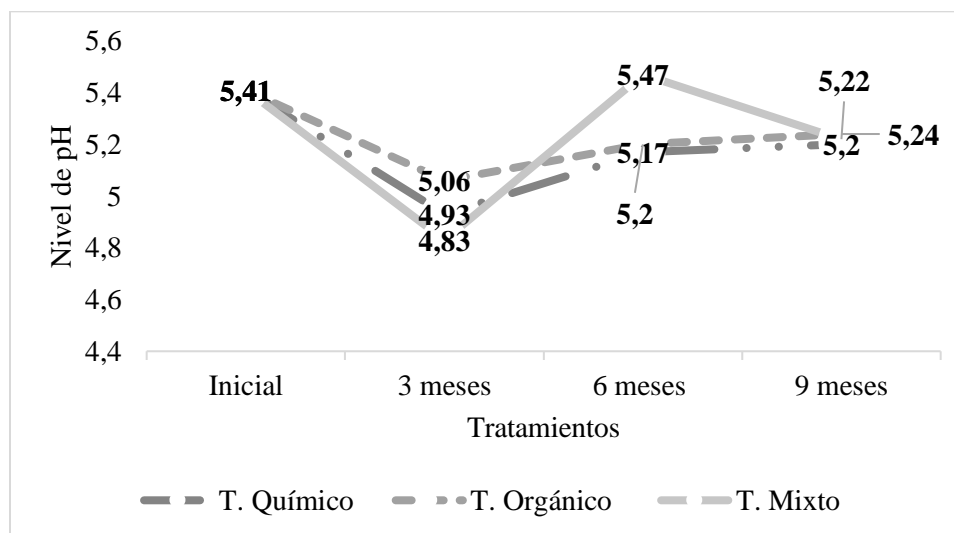
En el sistema agroforestal el pH al inicio fue de 5,41 posterior a la primera aplicación de los fertilizantes el pH disminuye, el tratamiento orgánico tiene 5,06 seguido del tratamiento químico con 4,93 y el tratamiento mixto con 4,83.

A partir del sexto mes los valores incrementan, el tratamiento mixto encabeza los valores, y tiene una mayor variación con 5,47 seguido del tratamiento orgánico y el tratamiento químico.

Al final, después de nueve meses los valores del pH fueron 5,24 para el tratamiento mixto, 5,22 para el tratamiento orgánico y 5,20 para el tratamiento químico (Ver Figura 8).

Figura 8

Comportamiento del pH posterior a la fertilización edáfica



La aplicación de fertilizantes provoca mayor acidez o alcalinidad en el suelo. (Rivera, Sánchez y Domínguez, 2018), como se puede observar los tres tratamientos provocaron una mayor acidez del suelo.

El pH siempre varía según las condiciones ambientales y tipo de suelo, en el suelo de un sistema agroforestal con *Coffea arabica* y *Eritrina sp*, más la aplicación de fertilizantes químicos el pH del suelo fue de 4,85 a 4,88 (Munroe, et al., 2013). Se puede observar que dichos valores son similares a los primeros datos obtenidos después de la fertilización, pese a esto al final los valores dentro del sistema agroforestal en Puranquí son mayores. Para un adecuado desarrollo y producción del cafetal el pH óptimo sugerido es de 4,5 y 5,5 (Gonzales y Hernandez, 2016). En la investigación, se observó que los valores del pH en los tratamientos siguen manteniéndose en el límite óptimo sugerido por el autor.

El cultivo de café necesita un pH entre 4,5 y 6,0 ya que en estos rangos hay una mayor disposición de los macro y micronutrientes necesarios para el desarrollo de cafetales (Gómez G, et al., 2018). La aplicación de fertilizantes influyó en los valores, pero los mantuvo en los rangos óptimos para el desarrollo del cultivo.

Los valores de pH dentro del rango considerado ideal para el cultivo de café oscilaron entre 5,6 y 6,3, en las dos temporadas húmeda y seca. (da Silva, et al., 2020).

Con la aplicación de los diferentes tipos de fertilizantes el pH se mantuvo en un rango óptimo al sugerido por los autores, pese a esto Silva, et al., (2013), indican que suelos con pH ácido (<5,5) bloquean la absorción de P, Ca y Mg.

4.1.5 *Materia orgánica disponible en el suelo*

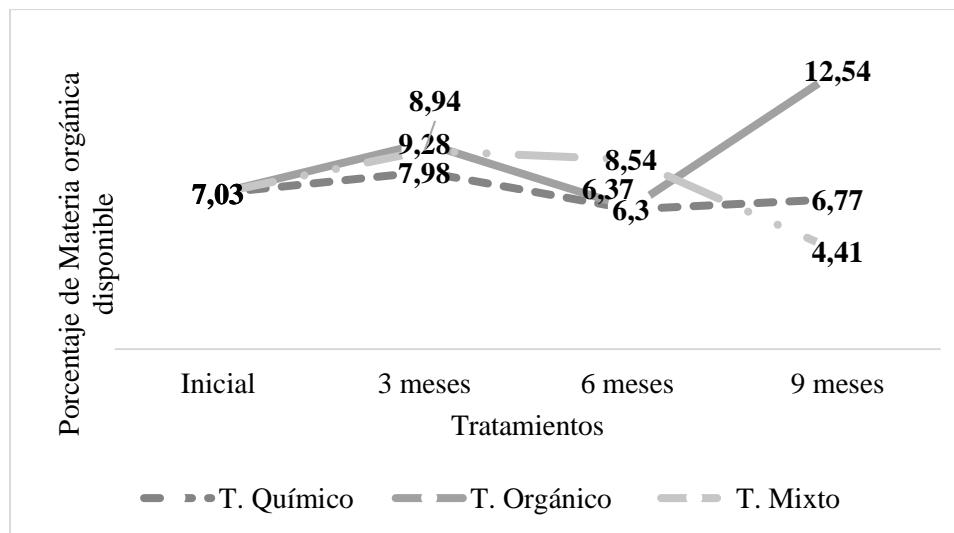
La cantidad de materia orgánica al inicio de la investigación fue de 7,03%; posterior a la aplicación de los fertilizantes los valores fluctuaron entre 9,28% por el tratamiento orgánico seguido del tratamiento mixto con 8,94% y el tratamiento químico con 7,98%.

Al sexto mes se evidenciaron valores menores de materia orgánica; el tratamiento mixto tuvo una mayor cantidad de materia orgánica con 8,54%; seguido del tratamiento orgánico con 6,37% y el tratamiento químico con 6,30%.

A partir del mes nueve el tratamiento orgánico tuvo un incremento mayor con 12,54%; seguido del tratamiento químico el cual tuvo un valor de 6,77% y el tratamiento mixto que descendió a 4,41%. (Ver figura 9)

Figura 9

Materia orgánica disponible en el suelo posterior a la fertilización edáfica



El contenido de materia orgánica en el suelo debe estar entre 2 y 4%, (Gonzales y Hernandez, 2016).

La temperatura es un factor que influye en la velocidad de las reacciones químicas, que inciden en el grado de alteración de los suelos, tiene importancia en la acumulación y composición

de la materia orgánica, pues la actividad biológica está relacionada estrechamente con la descomposición de la materia orgánica. (Ulloa, 2014).

Los niveles de materia orgánica son de altos a muy altos (>10%), propios de los Andisoles. (Henaó y Hernández, 2002)

El contenido de materia orgánica promedio en cafetales fue de 5,4%, aunque tres presentaron un contenido superior al 10%, pese a esto el contenido se ubicó dentro de niveles muy altos. (Rosas, Escamilla y Ruiz, 2008).

El contenido promedio de materia orgánica de los suelos cafetaleros es 5,14% existe variación desde 2,89 a 9,34%. La mayoría de los suelos cafetaleros presentan valores altos de materia orgánica, los valores registrados indican que, aunque existen altas temperaturas y alta precipitación en la zona; las condiciones de acidez frenan el desarrollo de las bacterias y se abate el proceso de mineralización, lo que está ocurriendo es alta proliferación de hongos y nulificación de la actividad bacteriana. (Noriega, et al., 2014). En los suelos de Popayán la materia orgánica tuvo valores de 4,2 a 10,92 % (Paz y Sadeghian, 2006). Se evidencia que el porcentaje de materia orgánica se mantuvo en los rangos sugeridos por los autores, pese a la diferencia de las condiciones ambientales de Puranquí y los lugares expuestos por ellos.

4.2 Morfología del café

4.2.1 *Altura total del café*

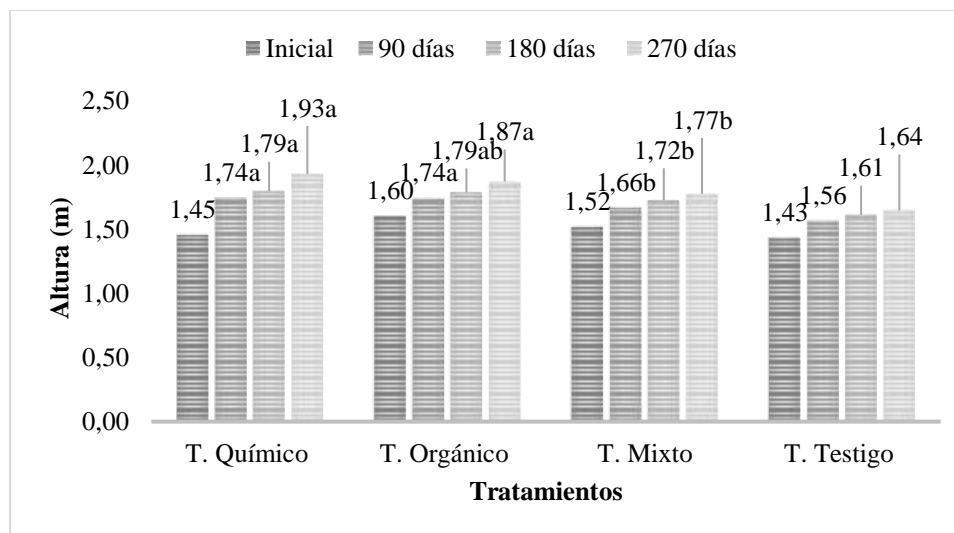
Después de 90 días de la aplicación de fertilizante se realizó el análisis de varianza de la altura total del cafeto, esta tuvo diferencias significativas entre los tratamientos, significancia para p valor 0,005. El tratamiento químico y orgánico presentaron valores altamente significativos a diferencia del al tratamiento mixto que no presentó significancia, en comparación con el

tratamiento testigo. El promedio de altura al que llegaron los cafetales fue de 1,74m para los tratamiento químico y orgánico y el tratamiento mixto con 1,66 m.

Después de 180 días de la segunda aplicación de los fertilizantes el análisis de varianza de la altura total del cafeto tuvo diferencias significativas en los tres tratamientos, significancia bajo 0,005 p valor. El tratamiento químico presentó valores superiores, luego los tratamientos orgánico y mixto. El promedio de altura al que llegaron los cafetales es de 1,80m encabezado por el tratamiento químico, seguido por tratamiento orgánico con 1,78m y el tratamiento mixto con 1.72m, en comparación con el testigo. (Ver figura 10).

Figura 10

Altura Total Cafeto del cafeto posterior a la fertilización edáfica



Se adjunta el resultado de la prueba de Dunnet aplicada en los datos obtenidos sobre la altura total de cafeto. (Ver tablas en anexo 2 y 3)

La altura del cafeto asociado a un sistema agroforestal oscila entre los dos a tres metros en su etapa productiva y con prácticas de fertilización (Perfecto, et al., 1996). Mientras que Barbosa (2021) afirma que la altura del cafeto arabica en su etapa productiva es de 2,40 metros. La

correlación positiva entre los rasgos de las raíces y el rendimiento del café sugiere que un mejor sistema radicular, ofrece mayor rendimiento de café.

Se puede atribuir que el tratamiento químico tiene un mayor promedio de altura puesto que es el tratamiento que aporta mayor cantidad de nitrógeno al suelo, elemento que influye en el desarrollo morfológico del cafeto, principalmente altura y follaje (Tesda y Kumar, 1978).

La correlación entre la altura de la planta y el rendimiento del café es débil según Carvalho (2010), la altura de las plantas está más relacionada con los aspectos ambientales que con el rendimiento de los cultivos (Silva, et al., 2020).

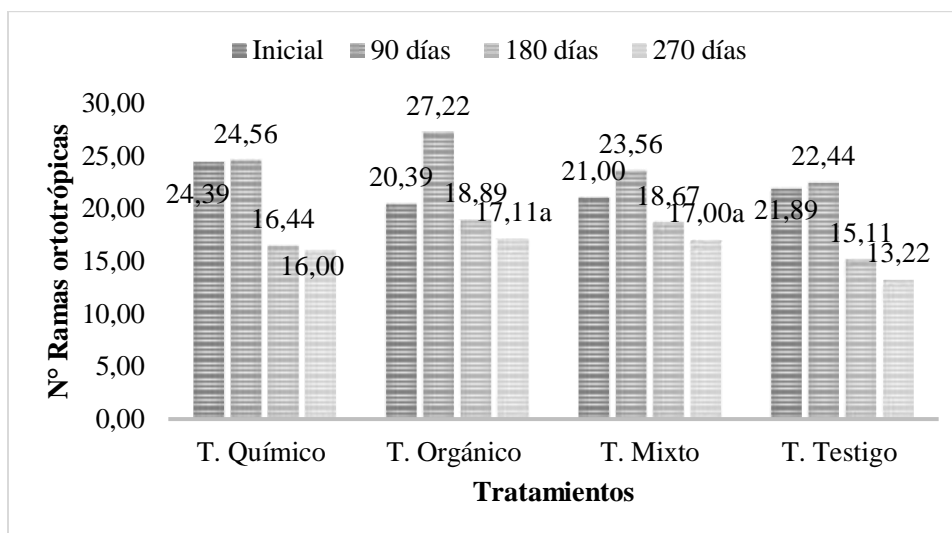
Mientras que el café en asociación con *E. poeppigiana* oscilaron entre 1,90 y 2,25 m de altura y plantas de café seleccionadas en monocultivo se extendieron de 1,80 a 2,10 m de altura. (Munroe, et al., 2015)

4.2.2 Número de ramas ortotrópicas

Al realizar el análisis de varianza sobre el número de ramas ortotrópicas del cafeto, se encuentra que después de los 90 y 180 días de la aplicación del fertilizante no existió diferencias significativas entre los tratamientos, a partir de los 270 días se obtiene diferencias significativas en los tratamientos orgánico y mixto con p valor de 0,005, y un promedio de ramas de 17,11 y 17 respectivamente, el tratamiento químico no conto con diferencias significativas en ninguna etapa de la medición. (Ver Figura 11 y anexo)

Figura 11

Número de ejes ortotrópicos en los cafetos posterior a la fertilización edáfica



El cafeto tiene en promedio 25 ramas ortotrópicas (Matsunaga, et al., 2016), Según Blanco (2003) los cafetos pueden contar con un promedio de 14 a 16 ramas ortotrópicas o primarias. Mientras que en Ecuador el promedio de ramas en *coffea arabica* es de 15,15 ramas (Monteros, 2017). Se puede observar que en Puranquí el número de ramas ortotrópicas es mayor al afirmado por los autores, excepto para Matsunaga, donde el valor es superior.

La variedad caturra en Colombia tiene promedio de 81 ramas primarias con diferencias significativas al 1% con Tukey (Salazar, Orosco y Clavijo 1988).

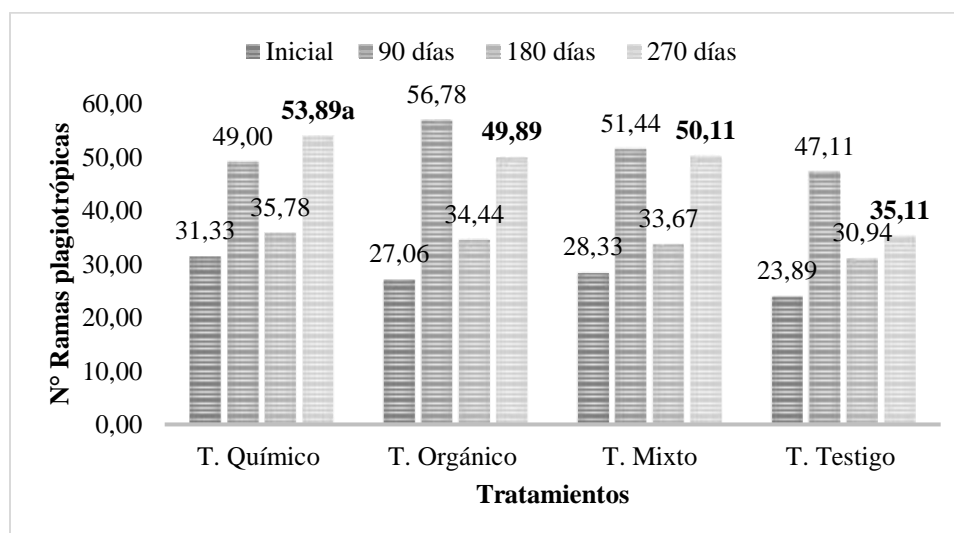
El número de ramas ortotrópicas del cafeto se ve afectada por los factores ambientales en los cuales se desarrolle el cultivo y sufre de una disminución constante que se debe a la temperatura o precipitaciones que existan en el lugar (Jezeer, et al., 2019). Se puede observar que los cafetos en el sector de Puranquí disminuyeron el número de ramas ortotrópicas en comparación del día uno al 270, pese a esto se observa diferencias significativas.

4.2.3 Número de ramas plagiotrópicas

En el caso del número de ramas productivas los tratamientos orgánico y mixto no tuvieron diferencias significativas en ningún periodo de medición después de la aplicación del fertilizante, el tratamiento químico tuvo diferencias significativas a partir de los 270 días después de la aplicación del fertilizante con p valor de 0,005, con un promedio de 53,89 ramas plagiotrópicas o productivas. (Ver tabla 12 y anexo)

Figura 12

Número de ramas plagiotrópicas de los cafetos posterior a la fertilización edáfica



La planta de café Arábigo presentó en promedio 1,37 ejes productivos en Ecuador (Monteros, 2017), en otro estudio en cambio la variedad caturra presento un promedio de 35 ramas productivas con diferencias significativas al 1% con Tukey (Salazar, Orosco y Clavijo 1988)

En café robusta el promedio de ramas productivas es de 39 (Sánchez, 2020).

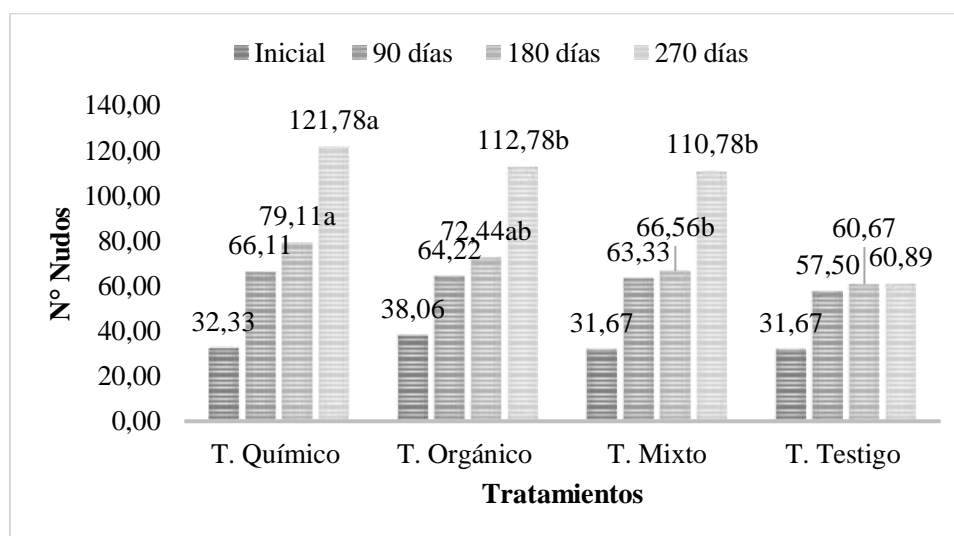
En la provincia de los Ríos el promedio de ramas productivas fue de 23,55 en café robusta (Olvera, 2019). Mientras que en Perú *Coffea arabica* tuvo 59 ramas plagiotrópicas en cafetales de 5 años (Vislao, 2021).

4.2.4 Número de nudos

Con el análisis de varianza se pudo observar que a partir de los 90 días ningún tratamiento influyo significativamente en el número de nudos a partir de los 180 días se obtiene diferencias altamente significativas con p valor de 0,005 en los tres tratamientos encabezado por el tratamiento químico, seguido por el tratamiento orgánico y mixto, a partir de los 270 días el tratamiento químico se mantuvo con diferencias altamente significativas y los tratamientos orgánico y mixto con diferencias significativas. (Ver figura 13 y anexo)

Figura 13

Número de nudos de los cafetos posterior a la fertilización



El promedio de nudos en el cafeto es de 4,71 nudos por rama (Monteros, 2017) que equivale a 23,55 nudos en 5 ramas, las que se tomaron en cuenta para el conteo de esta variable.

En Colombia *coffea arabica* la variedad caturra presento un promedio entre 10 y 13 nudos por rama con diferencias significativas al 1% con Tukey (Salazar, Orosco y Clavijo 1988)

El valor más alto se obtuvo por la combinación de dos fertilizantes orgánicos y un biofertilizante obtuvo un número de nudos de 56,33 Nn. (Martinez *et al*, 2020).

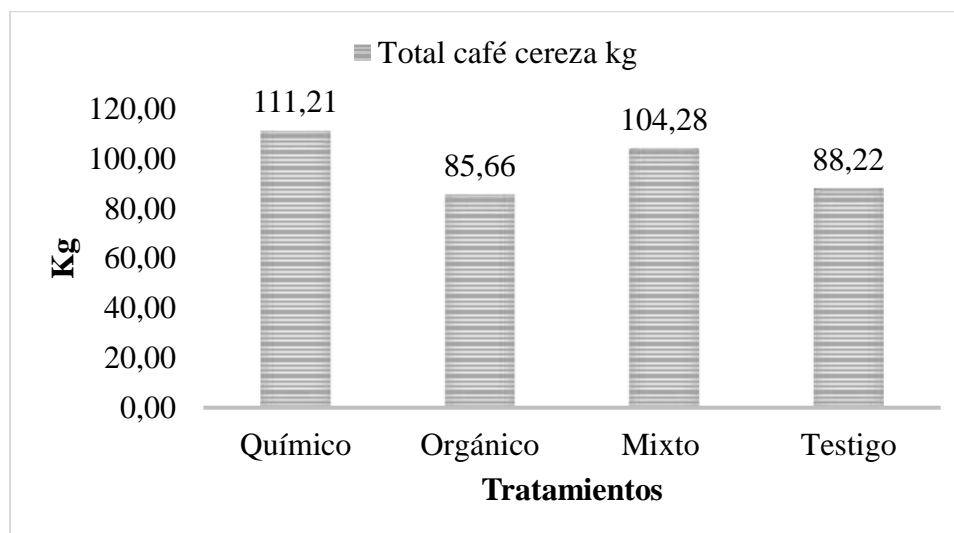
El promedio de nudos mayor aplicando la prueba de Tukey con un p valor de 0,005 en el que se encontraron diferencias significativas fue de 6,03 y 5,92 respectivamente (Grosso *et al*, 2016).

Se puede observar que el número de nudos por tratamiento fue mayor al número de nudos existentes en el testigo, a partir de los 270 días el tratamiento químico presentó un promedio de 121, 78 nudos que equivale a 24 nudos por rama, que se encuentra en el rango expresado por los autores.

4.3 Producción del café

4.3.1 Café cereza

La producción de café cereza por tratamiento no presentó diferencias significativas en ninguno de los tratamientos, a lo largo de las cosechas se logró cosechar una cantidad de 389.37kg de todos los tratamientos, con un total de 257 plantas cosechadas, en promedio cada planta por tratamiento produjo 1,95kg en el tratamiento químico, 1,60kg en el tratamiento mixto, 1,74kg en el tratamiento orgánico y 1,58 kg en el tratamiento testigo.

Figura 14*Producción de café cereza por tratamiento*

Los sitios con mejor desempeño alcanzaron un rendimiento promedio de judías verdes de 1,9 kg. por árbol cuando las yemas florales se redujeron en un 50%. (Läderach *et al.*, 2011).

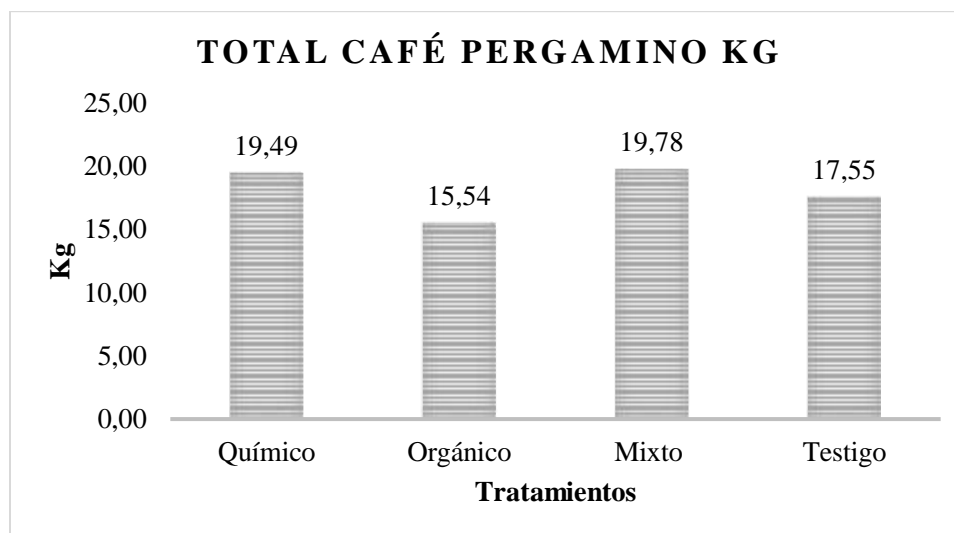
En Nueva Guinea el promedio de producción de café cereza es de 4380kg/ha el cual es bueno a comparación de 1770kg/ha valor reportado por agricultores del altiplano central (Sengere, Curry y Koczberski, 2019). En el Ecuador la producción de café arábigo fue de 1150kg/ ha (Monteros,2017). Mientras que en Perú el cultivo de café bajo sombra produjo aproximadamente 526 kg/ha, donde la aplicación de fertilizantes no tuvo la misma respuesta. (Jezeer, et al., 2019).

4.3.2 Peso café pergamino seco

En la producción de café pergamino no existió diferencias significativas entre los tratamientos, se obtuvo un total de 72,35kg en todos los tratamientos, la producción por planta en promedio de cada tratamiento fue: tratamiento químico 313g, tratamiento orgánico 317 g, tratamiento mixto 304g, y tratamiento testigo 291g

Figura 15

Producción de café pergamino por tratamiento



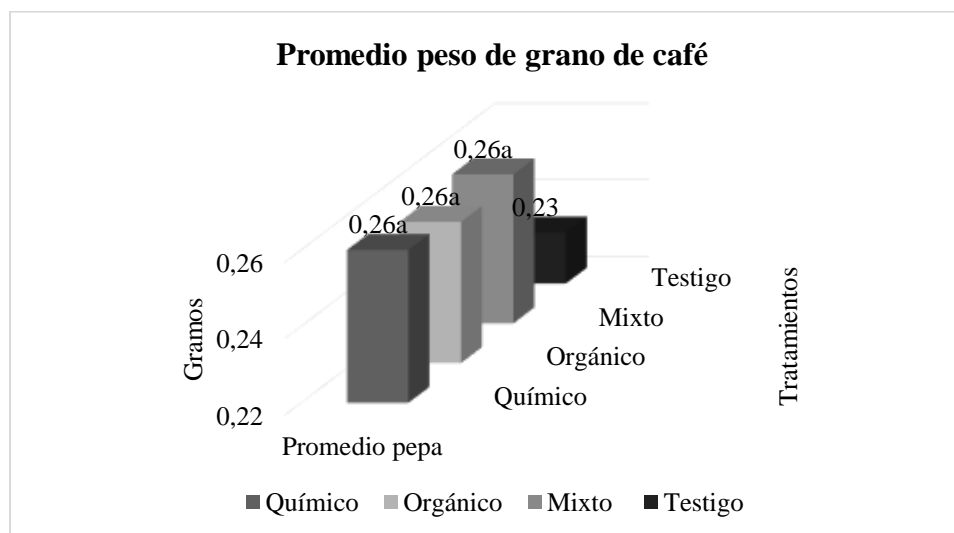
En el Ecuador la producción de café arábigo fue de 230kg/ ha (Monteros,2017). En un sistema con plátano el cultivo de café con fertilización química al primer año produjo 890 kg/ha (Farfán, 2006). En un sistema agroforestal con un sombrío de 6x6 y aplicación de fertilizante la producción de café pergamino en el primer año fue de 186,7 kg/ha, sin diferencias significativas (Farfán y Mestre, 2004). En Nueva Guinea el promedio de producción de café cereza es de 876 kg/ ha el cual es bueno a comparación de 354 kg/ha valor reportado por agricultores del altiplano central (Sengere, Curry y Koczberski, 2019). En Colombia el cultivo de café asociado a *Inga edulis* obtuvo una producción de 959 kg/ha con una sombra del 70%, producción que fue menor a diferencias de sistemas con menor porcentaje de sombra (Arcila, et al., 2007)

4.3.3 *Peso promedio Grano del café*

En el promedio del peso promedio del grano del café se obtuvo diferencias significativas en los 3 tratamientos, teniendo una media igual y siendo superior al testigo, cumpliendo los parámetros de normalidad y homocedasticidad.

Figura 16

Peso promedio del grano de café por tratamiento



Se adjunta el resultado de la prueba de Dunnet aplicada en los datos obtenidos sobre el promedio del peso del grano de café. (Ver anexo)

En el cultivo de café la maduración de las cerezas es heterogénea, lo que se considera una heterogeneidad biológica, por esto los tamaños de los granos de café pueden ser diferentes así sean de la misma planta, esto también se ve influido por las condiciones ambientales a las cuales este expuesta el cultivo (Keidel, et al., 2010).

El agua de lluvia es un factor determinante que influye en gran medida en el tamaño de los granos, ya que inciden directamente en la maduración de la fruta (Duicela et al., 2003)

El peso del grano del café varía también según el estado de maduración de la cereza los valores pueden ser de 0,9 – 0,4 – 0,2 gm. (Puerta, 2000).

El tamaño del grano cambia en referencia a la cosecha, los granos recolectados en las cosechas intermedias presentaron un mayor valor, el peso del grano promedio oscila entre 0,38 – 0,40 – 0,41 gm, perteneciente al café variedad Colombia (Montilla, et al., 2008).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- La aplicación de los diferentes tipos de fertilizantes influyó en las propiedades químicas del suelo del sistema agroforestal, el tratamiento químico fue el tratamiento que aportó mayor cantidad de nitrógeno, fósforo y potasio a los cafetos, seguido del tratamiento orgánico el cual fue el tratamiento que aportó mayor cantidad de materia orgánica.
- La aplicación de fertilizantes influye en la morfología del cafeto, el fertilizante químico presento diferencias significativas en la mayoría de las variables, excepto en el número de ramas primarias u ortotrópicas.
- Los diferentes tipos de fertilizante no influyeron en el rendimiento en razón de la productividad del café en un año, pero si en el tamaño promedio del grano.

5.2 Recomendaciones

- En base a la metodología empleada se sugiere que el manejo del sistema agroforestal sea realizado por el investigador, es necesario evaluar el porcentaje de sombra, para poder sugerir a los propietarios un porcentaje óptimo para el desarrollo de los cultivos asociados al sistema.
- La investigación sobre la productividad del café asociado a un sistema agroforestal necesita de un seguimiento de mayor tiempo, para poder conocer el desarrollo del sistema, ya después de seleccionar el mejor tratamiento de fertilización, las diferentes dosis deben ser consideradas para futuros estudios.

- La fertilización es un área poco tratada en la ciencia forestal, y es necesario se le dé la importancia en el estudio de los sistemas agroforestales, ya que de este modo se conseguirá un conocimiento total en el área.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS

- Abril Saltos, R. V., Ruiz Vázquez, T. E., Alonso Lazo, J., Cabrera Murillo, G. M., y Meric, O. A. (2018). Crecimiento inicial de *Eugenia stipitata*, *Inga spectabilis* e *Inga edulis* en Napo, Ecuador. *Agronomía Mesoamericana*, 29(2), 275-291. Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212018000200275
- Acuna, V., Antonio, R., Van den Meersche, K., Rapidel, B., y Avelino, J. (2016). Efecto de los árboles de sombra sobre el suelo, en sistemas agroforestales con café, incluyendo la fenología y fisiología de los cafetos. *CATIE*. Disponible en: https://agritrop.cirad.fr/581648/1/Reporte_Sombra%20y%20fertilidad%20del%20suelo_Rev_Karel_BR%20JA_BV_RV.pdf
- Agegnehu, G., Nelson, P. N., y Bird, M. I. (2016). Crop yield, plant nutrient uptake and soil physicochemical properties under organic soil amendments and nitrogen fertilization on Nitisols. *Soil and Tillage Research*, 160, 1-13. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.02.003>
- Alarcó López, A. (2011). Modelo de gestión productiva para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en el Sur de Ecuador. Disponible en: <http://oa.upm.es/9985/>
- Ancín Ripodas, M. (2011). Evaluación de diferentes tipos de fertilizantes químicos y orgánicos en la producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L. var. Alubia) en el distrito de San Juan de Castrovirreyna Huancavelica (Perú). Disponible en: <https://hdl.handle.net/2454/3454>
- Añazco Romero, M. J., Vallejos Álvarez, H. V., y Vizcaíno Pantoja, M. I. (2018). Dinámica de crecimiento de *Alnus nepalensis* D. Don en el noroccidente de Ecuador

- continental. Revista Cubana de Ciencias Forestales, 6(3), 354–365.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-34692018000300354
- Araujo ASF, Leite LFC, Iwata BF, Lira MA, Xavier GR, Figueiredo MVB (2012) Microbiological process in agroforestry systems. A review. *Agron Sustain Dev* 32:215–226.
<https://doi.org/10.1007/s13593-011-0026-0>
- Arcila, J., Farfán, F. F., Moreno, A. M., Salazar, L. F., e Hincapié, E. (2007). Sistemas de producción de café en Colombia. Disponible en:
<https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/720/9/8.%20Producci%C3%B3n%20caf%C3%A9%20en%20sistemas%20agroforestales.pdf>
- Ballesteros Possú, W., Saya, O. M., y Ordóñez Jurado, H. R. (2008). Sistemas agroforestales tradicionales en el consejo comunitario del bajo mira y frontera en Tumaco, Nariño, Colombia. <http://hdl.handle.net/11554/6821>
- Barbosa BDS, Araújo e Silva Ferraz G, Mendes dos Santos L, Santana LS, Bedin Marin D, Rossi G, Conti L. (2021). Aplicación de imágenes RGB obtenidas por UAV en el cultivo de café. *Percepción remota*. 2021; 13 (12): 2397.
- Bimbosa, I., y del Consuelo, M. (2019). *Caracterización de la composición botánica dentro de una plantación modelo de café bajo un sistema agroforestal en la zona de El Camote, Isla Santa Cruz, Galápagos* (Bachelor's thesis, Quito: UCE).
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/19507>
- Blanco Navarro, M., Haggar, J., Moraga, P., del Carmen Madriz, J., y Pavón, G. (2003). Morfología del café (*Coffea arabica* L.), en lotes comerciales. Nicaragua. *Agronomía Mesoamericana*, 97–103.

Cabon, M. 2015. Effect of shade on microclimate, soil fertility and productivity of coffee trees in Costa Rica. Turrialba, Costa Rica. Report Internship job. CIRAD CATIE. 31 p. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/312190381_Efecto_de_los_arboles_de_sombra_sobre_el_suelo_en_sistemas_agroforestales_con_cafe_incluyendo_la_fenologia_y_fisiologia_de_los_cafetos

Cannavo, P.; Sansoulet, J.; Harmand, J.M.; Siles, P.; Dreyer, E.; Vaast, P. 2011. Agroforestry associating coffee and *Inga densiflora* results in complementarity for water uptake and decreases deep drainage in Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 140(1 2):1 13. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.11.005>

Carrillo, I., Suarez, S., y Sanz, J. R. (1995). *Cómo obtener una buena muestra para el análisis de suelos*. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/1071>

Carvalho, A.M.; Mendes, A.N.G.; Carvalho, G.R.; Botelho, C.E.; Gonçalves, F.M.A.; Ferreira, A.D. Correlation between growth and yield of coffee cultivars in different regions of the state of Minas Gerais, Brazil. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 2010, 45, 269–275. <http://www.scielo.br/pab>

Castro Olivas, A. E., y Laguna Sevilla, T. M. (2018). *Evaluación de tres niveles de fertilización edáfica y comportamiento agronómico del cultivo de café (Coffea arabica) Lempira en vivero en la finca Buena Vista, II semestre 2017* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua). <http://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/10150>

- Martínez Canseco, D. A., Villegas Aparicio, Y., Castañeda Hidalgo, E., Carrillo Rodríguez, J. C., Robles, C., & Santiago Martínez, G. M. (2020). Respuesta de *Coffea arabica* L. a la aplicación de abonos orgánicos y biofertilizantes. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(6), 1285-1298.
- Cerda Andi, K. M., y Salazar Grefa, J. C. (2020). *Evaluación de características morfofisiológicas en el caféto (Coffea arábica), variedad típica empleando dos tipos de fertilización en condiciones edafoclimáticas de la Amazonía Ecuatoriana* (Bachelor's thesis, Universidad Estatal Amazónica). <https://repositorio.uea.edu.ec/handle/123456789/614>
- Chaves, V. (1999). Manejo de la Fertilización en Café. In *XI Congreso Nacional Agronómico/III Congreso Nacional de Suelos. MAG, San José, Costa Rica*. http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_XI/a50_6907_III_163.pdf
- Cruz Hernández, S., Torres Carral, G. (2015). El conocimiento campesino del agroecosistema cafetalero en la sierra sur de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2, 147-154. <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263141553018.pdf>
- Davidson, I. A., & Robson, M. J. (1985). Effect of Nitrogen Supply on the Grass and Clover Components of Simulated Mixed Swards Grown under Favourable Environmental Conditions I. Carbon Assimilation and Utilization. *Annals of Botany*, 55(5), 685-695.
- Duicela Guambi, L.A. 2011. Manejo sostenible de fincas cafetaleras: Buenas prácticas en la producción de café arábico y gestión de la calidad en las organizaciones de productores. Porto Viejo, Ecuador, Imprenta CGRAF, Manta. COFENAC (Consejo Cafetalero Nacional). 309 p.
- Duke, J. (1983). Manual de cultivos energéticos. Birmania. FAO, boletín técnico N° 32.

Él, L., Fang, X., Meng, G., Li, G., Shao, J., Chai, Y. y Kong, J. (2013). Efecto del cultivo de *Alnus nepalensis* sobre las propiedades biológicas y fisicoquímicas del suelo durante la restauración cerca de una fundición de fosfato en Kunyang, provincia de Yunnan, suroeste de China. *Revista de ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 13 (2), 355-366. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162013005000029>

Fao. (2002). *Los Fertilizantes y Su USO una Guía de Bolsillo para los Oficiales de Extensión*. Food y Agriculture Org. Google Books

Farfán, F. (2006). Producción de café en un sistema intercalado con plátano Dominico Hartón con y sin fertilización química. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/199/1/arc056%2803%29269-280.pdf>

Farfán, F. F. (2005). Fertilización del café en un sistema agroforestal en la zona cafetera norte de Colombia. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/255>.

Farfán, F., y Mestre, A. (2004). Respuesta del café cultivado en un sistema agroforestal a la aplicación de fertilizantes. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/168/1/arc055%2802%29161-174.pdf>

Farfán, F., y Mestre, A. (2013). *Manejo del sombrero y fertilización del café en la zona central colombiana*. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/372>

Farfán Valencia, F., y Baute Balcázar, J. E. (2020). La fertilización mineral como complemento a la fertilización con abono orgánico en el cultivo del café. *Revista Cenicafé*, 71(1), 48-53. Disponible en: <https://doi.org/10.38141/10778/1119>

- Farrell, J. G., y Altieri, M. A. (1997). Sistemas agroforestales. *agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable*. CLADES/ACAO. La Habana, Cuba. Disponible en: Google Books
- García, G. N., y Navarro García, S. (2014). *Fertilizantes: química y acción*. Ediciones Paraninfo, SA. Disponible en Google Books
- Gobierno Rural Descentralizado Parroquial de Apuela. (2015). *Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Pdot, De La Parroquia Rural De "Apuela" 2015 2019*. 11.
- Gómez, O. (2010). Guía para la innovación de la cañicultura. De lo convencional a lo orgánico. p11. Recuperado el 18 de junio 2018.
- González, H. A., y Hernández Santana, J. R. (2016). *Zonificación agroecológica del Coffea arabica en el municipio Atoyac de Álvarez, Guerrero, México. Investigaciones Geográficas, (90)*. DOI:10.14350/rig.49329
- Graves AR, Burgess PJ, Palma JHN, Herzog F, Moreno G, Bertomeu M, Dupraz C, Liagre F, Keesman K, van der Werf W, Koeffeman de Nooy A, van den Briel JP (2007) Development and application of bio economic modelling to compare silvoarable, arable and forestry systems in three European countries. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2006.09.018>
- Henaó Toro, M. C., y Hernández Guzmán, E. (2002). Disponibilidad de potasio en suelos derivados de cenizas volcánicas y su relación con la nutrición del café en la etapa vegetativa. *Cenicafé*, 53(4), 293 305. Disponible en: [https://www.cenicafe.org/es/publications/arc053\(04\)293_305.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/arc053(04)293_305.pdf)

Hernandez Sampieri R. (2006). Metodología de la investigación. Sexta edición. con Igual, A. D.

D. E. División de Ciencias Forestales Análisis de Diseños Experimentales con Igual
Número de Submuestras Francisco J. Zamudio Sánchez Arturo A. Alvarado Segura
Chapingo, México.

Higueta, F. E. R. (2015). Tendencias Modernas En La Fertilización Eficiente Del Cafeto Para La

Producción De Cafés Especiales. *Suelos Ecuatoriales*, 45(2), 84 93. Disponible en:
http://unicauca.edu.co/revistas/index.php/suelos_ecuatoriales/article/view/21

Iglesias, J. M. (1999). Sistemas de producción agroforestales. Conceptos generales y

definiciones. *Pastos y Forrajes*, 22(4). Disponible en:
<https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pastoypage=articleyop=viewypath%5B%5D=961>

Jaramillo, A. (2016). *Epocas recomendadas para la siembra del café en Colombia*. Disponible en:

<https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pastoypage=articleyop=viewypath%5B%5D=961>

Jaramillo, R. 2014. Perspectivas en el uso eficiente de fertilizantes, nuevas tecnologías y retos en el futuro de una agricultura sostenible.

Jezeer, RE, Santos, MJ, Verweij, PA, Boot, RGA y Clough, Y. (2019). *Beneficios para múltiples*

servicios ecosistémicos en los sistemas agroforestales de café peruano sin reducir el rendimiento. Servicios de los ecosistemas, 40, 101033. Doi: 10.1016 / j.ecoser.2019.101033

- Keidel, A., von Stetten, D., Rodrigues, C., Máguas, C., y Hildebrandt, P. (2010). *Discrimination of Green Arabica and Robusta Coffee Beans by Raman Spectroscopy. Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(21), 11187–11192. DOI:10.1021/jf101999c
- Khan, A., Myrold, DD, Misra, AK 2007. Distribución de genotipos de Frankia que ocupan los nódulos de *Alnus nepalensis* con respecto a la altitud y las características del suelo en Sikkim Himalaya. *Physiol. Plant.*130, 364 371. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1399.3054.2006.00872.x>
- Köpsell, E. (2001). *Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales* (No. 6). Bib. Orton IICA/CATIE. Disponible en: Google Books
- Kurppa M, Leblanc HA, Nygren P (2010) Detection of nitrogen transfer from N₂ fixing shade trees to cacao saplings in ¹⁵N labelled soil: ecological and experimental considerations. *Agrofor Syst* 80:223– 239. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9327-6>
- Kuyah, S., Whitney, CW, Jonsson, M. y col. La agrosilvicultura ofrece una solución beneficiosa para todos para los servicios de los ecosistemas en el África subsahariana. Un metaanálisis. *Agron. Sostener. Dev.* 39, 47 (2019).
- Läderach, P., Oberthür, T., Cook, S., Estrada Iza, M., Pohlen, JA, Fisher, M. y Rosales Lechuga, R. (2011). *Manejo sistemático de fincas agronómicas para mejorar la calidad del café. Field Crops Research*, 120 (3), 321–329. Doi: 10.1016 / j.fcr.2010.10.006
- Lau, R. G., Torres, R. M., Sánchez, M. E. Á., y Espinoza, J. C. B. (2020). Aporte nutrimental de especies arbóreas fijadoras de nitrógeno en sistemas agroforestales con café. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(4), 801 814. Disponible en: <http://repositorio.chapingo.edu.mx:8080/handle/20.500.12098/537>

- Lawlor, D.W., 2002. Carbon and nitrogen assimilation in relation to yield: Mechanisms are the key to understanding production systems. *J. Exp. Bot., Inorganic Nitrogen Assimilation Special Issue 53*, 773–787. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.370.773>
- López García, F. J., Escamilla Prado, E., Zamarripa Colmenero, A., y Cruz Castillo, J. G. (2016). Producción y calidad en variedades de café (*Coffea arábica* L.) en Veracruz, México. *Revista fitotecnia mexicana*, 39(3), 297–304. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018773802016000300297&script=sci_abstract&tlng=pt
- Lugo Morin, D. R., de Jesús Desiderio, E., y Franco, M. L. F. (2018). Prácticas y saberes comunitarios en la Sierra Norte de Puebla: el caso del café, sus plagas y enfermedades. *RIAA*, 9(2), 2. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6512364>
- Luna Rodríguez, F. D. C., López Mena, J. G., y Larios González, R. (2012). Sistemas de manejo en café (*Coffea arabica* L.) y su efecto en la fertilidad del suelo y el rendimiento del café oro, Masatepe, Masaya. *La Calera*, 12(18), 29–36. Disponible en: <http://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/2381>
- Macip Ríos, R., Casas Andreu, G. (2008). Los cafetales en México y su importancia para la conservación de los anfibios y reptiles. *Acta Zoológica Mexicana*, 24 (2): 143–159. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S006517372008000200010&script=sci_abstract&tlng=en

- Marín, O.H., A.F. Castaño, y G.D. Gómez. 2012. Fenología del guamo *Inga edulis* (Fabales: Mimosoideae) en dos agroecosistemas del Quindío, Colombia. *Rev. Invest. Univ. Quindío* 23(2):127-133. Disponible en: <https://doi.org/10.33975/riuq.vol23n2.412>
- Martínez, D. A. C., Aparicio, Y. V., Hidalgo, E. C., Rodríguez, J. C. C., Robles, C., & Martínez, G. M. S. (2020). Respuesta de *Coffea arabica* L. a la aplicación de abonos orgánicos y biofertilizantes. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(6), 1285-1298. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7575840>
- Matsunaga, FT, Tosti, JB, Androcioli Filho, A. *et al.* Estrategias para reconstruir la estructura de la planta 3D de *Coffea arabica* L. *SpringerPlus* 5, 2075 (2016). <https://doi.org/10.1186/s40064-016-3762-4>
- McBurney, M. W. (2010). *Las cadenas de valor del café orgánico/comercio justo de Intag y su impacto en el desarrollo local* (Master's thesis, Quito: FLACSO Sede Ecuador). Disponible en: <http://hdl.handle.net/10469/3928>
- Melo Restrepo, E. B., y Piñeros Rodríguez, J. B. (2016). *Evaluación de la fertilización edáfica en café (Coffea arabica L.) mediante el análisis sensorial y características físicas bajo diferentes alturas en Fusagasugá Cundinamarca* (Doctoral dissertation). Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12558/1470>
- Mendieta López, M., y Rocha Molina, L. R. (2007). *Sistemas agroforestales*. Disponible en: <https://repositorio.una.edu.ni/2443/>
- Miró, F., y Ares, E. M. (2018). *Influencia de la fertilización sobre la actividad biológica del suelo. Estudio comparativo de diferentes fuentes de materia orgánica*. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=214849>

- Monge, L. (1999). Manejo de la nutrición y fertilización del cultivo del café orgánico en Costa Rica. In *XI Congreso Nacional Agronomico/III Congreso Nacional de Suelos* (pp. 175-191). Disponible en: http://infocafes.com/portal/wp_content/uploads/2015/12/a50_6907_III_175.pdf
- Monro, A., R. Velarde, R. Flores, V. Soruco, J. Reyes, y W. Miliken. 2016. Manual agroforestería Inga. Royal Botanic Gardens, Kew y Herencia, Chicago, IL, USA.
- Monteros Guerrero A. (2017). Rendimiento de café grano seco en el Ecuador 2017. Dirección de Análisis y Procesamiento de la Información Coordinación General del Sistema de Información Nacional Ministerio de Agricultura y Ganadería. Disponible en: <https://fliphtml5.com/ijia/mzvg/basic>
- Montilla, J., Arcila, J., Aristizábal, M., Montoya, E. C., Puerta, G. I., Oliveros, C. E., y Cadena, G. (2008). Caracterización de algunas propiedades físicas y factores de conversión del café durante el proceso de beneficio húmedo tradicional. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10778/59>
- Munroe, J. W., y Isaac, M. E. (2013). *N₂ fixing trees and the transfer of fixed N for sustainable agroforestry: a review*. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(2), 417–427. DOI:10.1007/s13593-013-0190-5
- Muschler, R. 1999. Árboles en cafetales Turrialba, Costa Rica. CATIE. 139 p. Disponible en: Google Books.
- Müller, L. M., & Harrison, M. J. (2019). Phytohormones, miRNAs, and peptide signals integrate plant phosphorus status with arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Current Opinion in Plant Biology*, 50, 132-139.

- Noriega Altamirano, G., Cárcamo Rico, B., Gómez Cruz, M. Á., Schwentesius Rindermann, R., Cruz Hernández, S., Leyva Baeza, J., ... y Martínez Hernández, A. (2014). Intensificación de la producción en la agricultura orgánica: caso café. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(1), 163-169. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014000100014
- Norma Técnica Ecuatoriana INEN 209. (2016). Fertilizantes y productos afines. Definiciones. Quito. ICS: 65.080
- Ojeniyi, S. O. (1987). *Relationships between soil organic matter, availability of nitrogen and phosphorus and the total root biomass of coffee (Coffea canephora)*. *Biology and Fertility of Soils*, 4(3). Disponible en: <https://doi.org/10.1007/BF00256991>
- Olvera Vélez, H. A. (2019). *Caracterización agronómica de 12 cultivares de café robusta (Coffea canephora) en la época lluviosa, en el Cantón Mocache, Provincia de Los Ríos* (Bachelor's thesis, Quevedo UTEQ). Disponible en: <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/3849>
- Ospina, A. (2006). *Agroforestería. Aportes conceptuales, metodológicos y prácticos para el estudio agroforestal*. Colombia. Editorial ACOSAC.
- Ovalle Rivera, O.; Läderach, P.; Bunn, C.; Obersteiner, M., Schroth, G. 2015. Projected Shifts in *Coffea arabica* Suitability among Major Global Producing Regions Due to Climate Change. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0124155>
- Paz, I. E., y Sadeghian, S. (2006). Relación entre dos sistemas de sombrero de café y algunas propiedades del suelo en la meseta de Popayán, Colombia. *Acta Agronómica*, 55(4), 1-6. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1699/169920333001.pdf>

- Perfecto, I., Rice, R. A., Greenberg, R., y van der Voort, M. E. (1996). *Shade Coffee: A Disappearing Refuge for Biodiversity*. *BioScience*, 46(8), 598–608. DOI:10.2307/1312989
- Ponce Vaca, L. A., Orellana Suarez, K. D., Acuña Velásquez, I. R., Alfonso Alemán, J. L., y Fuentes Figueroa, T. (2018). Situación de la caficultura ecuatoriana: perspectivas. *Revista Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*, 6(1), 307–325. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S230801322018000100015yscript=sci_arttext&lng=en
- Ponce Vaca, L.A., Suárez, K.D.O. y Velásquez, I.R. (2016). *Diagnóstico y propuesta de un sistema de innovación tecnológica cafetalera en Ecuador*. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*. 4(2):120–129. Disponible en: <http://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/138>
- Prezotti, L. (2001). SISTEMA PARA RECOMENDAÇÃO DE CORRETIVOS E DE FERTILIZANTES PARA A CULTURA DO CAFÉ ARÁBICA. Brasil. Disponible en: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/390>
- Puerta, G. I. (2000). Influencia de los granos de café cosechados verdes en la calidad física y organoléptica de la bebida. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10778/65>
- Rapidel B.; Allinne C.; Cerdan C.; Meylan L.; Virginio Filho E.D.M.; Avelino J. 2015. In: Montagnini F.; Somarriba E.; Murgueitio E.; Fassola H.; Eibl B. (Eds.). *Sistemas Agroforestales: Funciones Productivas, Socioeconómicas y Ambientales*. Colombia: CATIE, p. 5–20. (Serie técnica. Informe técnico CATIE, 402). Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Florencia_Montagnini/publication/324416322_Sistemas_Agroforestales_Funciones_productivas_so

[cioeconomicas_y_ambientales/links/5e987608a6fdcca7891e7a4b/Sistemas](https://www.cenicafe.org/boletines/cioeconomicas_y_ambientales/links/5e987608a6fdcca7891e7a4b/Sistemas)

[Agroforestales Funciones productivas socioeconomicas y ambientales.pdf#page=12](https://www.cenicafe.org/boletines/Agroforestales_Funciones_productivas_socioeconomicas_y_ambientales.pdf#page=12)

Restrepo, F.E., Suarez J.D. 2003. El cultivo del café en el departamento de Antioquia. Diagnóstico de deficiencias nutricionales, interpretación de análisis de suelos y recomendación de fertilizantes y enmiendas. 23 p. En: Universidad Nacional de Colombia. Seminario Fertilización de cultivos. Medellín, Colombia.

Ríos, M., M.J. Koziol, H. Borgtof, y G. Granda (eds.). 2007. Plantas útiles del Ecuador: aplicaciones, retos y perspectivas. Abya Yala, Quito, ECU.

Rivera, E., Sánchez, M., & Domínguez, H. (2018). pH como factor de crecimiento en plantas. *Revista de iniciación científica*, 4, 101-105.

Rosas Arellano, J., Escamilla Prado, E., y Ruiz Rosado, O. (2008). Relación de los nutrientes del suelo con las características físicas y sensoriales del café orgánico. *Terra latinoamericana*, 26(4), 375-384. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792008000400010yscript=sci_arttext

Sadeghian, S. (2008). Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia: Guía práctica. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/587>

Sadeghian, S., García, J. C., y Montoya, E. C. (2006). Respuesta del café a la fertilización con NPK y Mg en dos fincas del departamento del Quindío. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/172>

Sadeghian, S., Hernandez, E., Y Gonzalez, H. (2013a). *Mezcla de fertilizantes en la finca: Una buena opción para el caficultor*. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/363>

- Sadeghian, S., Mejia, B., y Arcila, J. (2013b). *Composición elemental de los frutos de café y extracción de nutrientes por la cosecha*. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/343>
- Sadeghian, S., Mejía, B., y González, H. (2014). Acumulación de nitrógeno fósforo y potasio en los frutos de café. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/519>
- Sadeghian, S., y González, H. (2012). Alternativas generales de fertilización para cafetales en la etapa de producción. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/1107>
- Salazar, R., C. Soihet, y J. Méndez. 2000. Manejo de semillas de 100 especies forestales de América Latina. CATIE, Turrialba, CRC. Disponible en: <http://www.sidalc.net/repdoc/a0008s/a0008s00.pdf>
- Salazar, J. N., Orozco, F. J., & Clavijo, J. F. (1988). Características morfológicas productivas y componentes del rendimiento de dos variedades de café: Colombia y Caturra. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10778/901>
- Sánchez Guano, J. C. (2020). Evaluación del rendimiento productivo de cinco clones de café robusta (*Coffea canephora*) en el Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica (CIPCA), *Arosemena Tola* (Bachelor's thesis, Universidad Estatal Amazónica). Disponible en: <https://repositorio.uea.edu.ec/handle/123456789/733>
- Sánchez, S. V., Bueno, D. O., y Jara, P. P. (2018). La realidad ecuatoriana en la producción de café. *RECIMUNDO: Revista Científica de la Investigación y el Conocimiento*, 2(2), 72-91. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6732775>
- Sengere, RW, Curry, GN y Koczberski, G. (2019). Forjar alianzas: asociaciones de productores de café y líderes de cadenas para mejorar la productividad y la calidad del café en Papua Nueva

- Guinea. *Punto de vista de Asia Pacífico*, 60 (2), 220–235. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/apv.12222>
- Sentís, I. (2010). Problemas de degradación de suelos en el mundo: causas y consecuencias. In *X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*.
- Sereke, F., Graves, A. R., Dux, D., Palma, J. H. N., y Herzog, F. (2014). *Innovative agroecosystem goods and services: key profitability drivers in Swiss agroforestry*. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(2), 759–770. DOI:10.1007/s13593-014-0261-2
- Silva, L. O. E., Schmidt, R., Valani, G. P., Ferreira, A., Ribeiro Barros, A. I., y Partelli, F. L. (2020). *Root Trait Variability in Coffea canephora Genotypes and Its Relation to Plant Height and Crop Yield*. *Agronomy*, 10(9), 1394. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/agronomy10091394>
- Silva, M. (2013). Half a century after Carl Adam Petri's Ph. D. thesis: A perspective on the field. *Annual reviews in control*, 37(2), 191-219.
- Sinisterra, R. M., Gallego Roper, M. C., y Armbrrecht, I. (2016). Hormigas asociadas a nectarios extraflorales de árboles de dos especies de Inga en cafetales de Cauca, Colombia. *Acta Agronómica*, 65(1), 9–15. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/acag.v65n1.47167>
- Somarriba, E. (1994). Sistemas cacao plátano laurel: el concepto. Disponible en: <http://201.207.189.89/handle/11554/3997>
- Tesha, A. J., y Kumar, D. (1978). Effect of fertilizer nitrogen on drought resistance in *Coffea arabica* L. *The Journal of Agricultural Science*, 90(3), 625–631. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/S0021859600056173>

- Theodoro, VC de A., Guimarães, RJ y Mendes, ANG (2008). Desempeño del manejo orgánico en la nutrición y productividad de los cultivos de café. *Acta Scientiarum. Agronomía*, 29 (5), 631 638. DOI: [10.4025 / actasciagron.v29i5.739](https://doi.org/10.4025/actasciagron.v29i5.739).
- Thériez, M. 2015. Los efectos de la sombra sobre la energía cinética de las gotas de agua, la cobertura del suelo, la infiltración del agua, la roya y el dieback en Turrialba, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica. Informe de pasantía voluntaria. CIRAD. 32 p.
- Ulloa, M. C. (2014). El suelo y la productividad agrícola en la sierra del Ecuador. In *XIV Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo* (p. 28).
- Valencia, G. (1992). *Fertilización de los cafetales*. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/785>
- Valencia, G., y Carrillo, I. (1983). *Interpretación de análisis de suelos para café*. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). No 115:1 4. Disponible en: [https://www.cenicafe.org/es/publications/arc053\(04\)293_305.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/arc053(04)293_305.pdf)
- Valencia Aristizabal, G. E. R. M. Á. N. (2006). Fisiología, nutrición y fertilización del cafeto. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/861>
- Valenzuela Vergara, EE, Castañeda Sánchez, DA y Cano Londoño, NA (2019). *Determinación de cultivos de plátano asociados a impactos ambientales cafetaleros en agroecosistemas mediante Evaluación del Ciclo de Vida: estudio de caso en el Suroeste de Antioquia (Colombia)*. *DYNA*, 86 (211), 112 121. DOI: [10.15446 / dyna.v86n211.75356](https://doi.org/10.15446/dyna.v86n211.75356)
- Vallejos, H., Añazco, M., Vizcaíno, M., Paredes, H., y Ruiz, J. (2020). Comportamiento de *Alnus nepalensis* D. Don en asocio con tres especies forestales *Schizolobium parahyba* (Vell.) SF Blaque, *Swietenia macrophylla* King, y *Cordia alliodora* Ruiz y Pav. bajo sistema

- agroforestal. *Ciencia y Tecnología*, 13(1), 49-54. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7563013>
- Van Kanten, R.; Vaast, P. 2006. Transpiration of Arabica Coffee and Associated Shade Tree Species in Sub optimal, Low altitude Conditions of Costa Rica. *Agroforestry Systems* 67(2):187-202. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10457-005-3744-y>
- Verbist, B.; Poesen, J.; van Noordwijk, M.; Widiyanto Suprayogo, D.; Agus, F.; Deckers, J. 2010. Factors affecting soil loss at plot scale and sediment yield at catchment scale in a tropical volcanic agroforestry landscape. *CATENA* 80(1):34-46. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2009.08.007>
- Vislao Benavides, S. (2021). Relación de las propiedades edáficas y la distribución radicular en la producción del cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en la región San Martín. Disponible en: <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1910>
- Willis, M. (2010). Las cadenas de valor del café orgánico/comercio justo de Intag y su impacto en el desarrollo local. [Tesis de maestría, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales sede Ecuador]. Repositorio digital FLACSO Ecuador. <http://hdl.handle.net/10469/3928>
- Wintgens, J.N. 2004. *Coffee: Growing, Processing, Sustainable production*. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH. 976 p. ISBN: 3-527-30731-1. Disponible en: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20053043070>
- Zuccaro, A. (2019). *Plant phosphate status drives host microbial preferences: a trade-off between fungi and bacteria*. *The EMBO Journal*. DOI:10.15252/embj.2019104144

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Anexo 1. Resultado de análisis de suelo

Análisis de Suelo Inicial	Análisis 3 meses			Análisis 6 meses			Análisis 9 meses			
	T. Químico	T. Orgánico	T. Mixto	T. Químico	T. Orgánico	T. Mixto	T. Químico	T. Orgánico	T. Mixto	
N	40.53	62.82	50.25	55.75	78.75	65	51.25	46.25	36.25	30
P	7	12.06	9.19	9.67	8.71	8.27	7.24	10.94	10.21	6.94
K	0.2									
	1	0.22	0.83	0.35	0.1	0.11	0.14	0.18	0.17	0.16
Ca	8.8	8.85	7.83	10.04	4.84	8.11	7.44	8.51	10.79	7.08
Mg	1.7	0.71	0.88	0.95	0.7	0.9	0.8	0.91	0.86	0.8
pH	8	4.93	5.06	4.83	5.17	5.2	5.47	5.2	5.24	5.22
Ce	5.4	0.34	0.22	0.3	0.3	0.23	0.21	0.25	0.23	0.22
MO	1	7.98	9.28	8.94	6.3	6.37	8.54	6.77	12.54	4.41

Anexo 2. Primera Prueba de Dunnet en Altura total de cafeto

Minimum Significant Difference: 0.1332306324				
Testigo	1.56	Mixto	0.1	no significativa
		Orgánico	0.18	**
		Químico	0.18	**
Minimum Significant Difference: 0.1146403116				
Químico	1.74	A		
Orgánico	1.74	A		
Mixto	1.66	B		

Anexo 3. Segunda Prueba de Dunnet en Altura total de cafeto

Minimum Significant Difference: 0.0698667354				
Testigo	1.61	Mixto	1.72	0.11 **
		Orgánico	1.78	0.17 **

	Químico	1.8	0.19	**
Minimum Significant Difference: 0.0601178886				
Químico	1.8	a		
Orgánico	1.78	ab		
Mixto	1.72	b		

Anexo 4. Tercera Prueba de Dunnet del promedio ejes ortotrópicos

Minimum Significant Difference: 3.524951058				
		Orgánico	17,11	3,89 *
Testigo	13,22	Mixto	17	3,78 *
		Químico	16	2,78 ns
Minimum Significant Difference: 3.033097422				
		Orgánico	17,11	A
		Mixto	17	A
		Químico	16	A

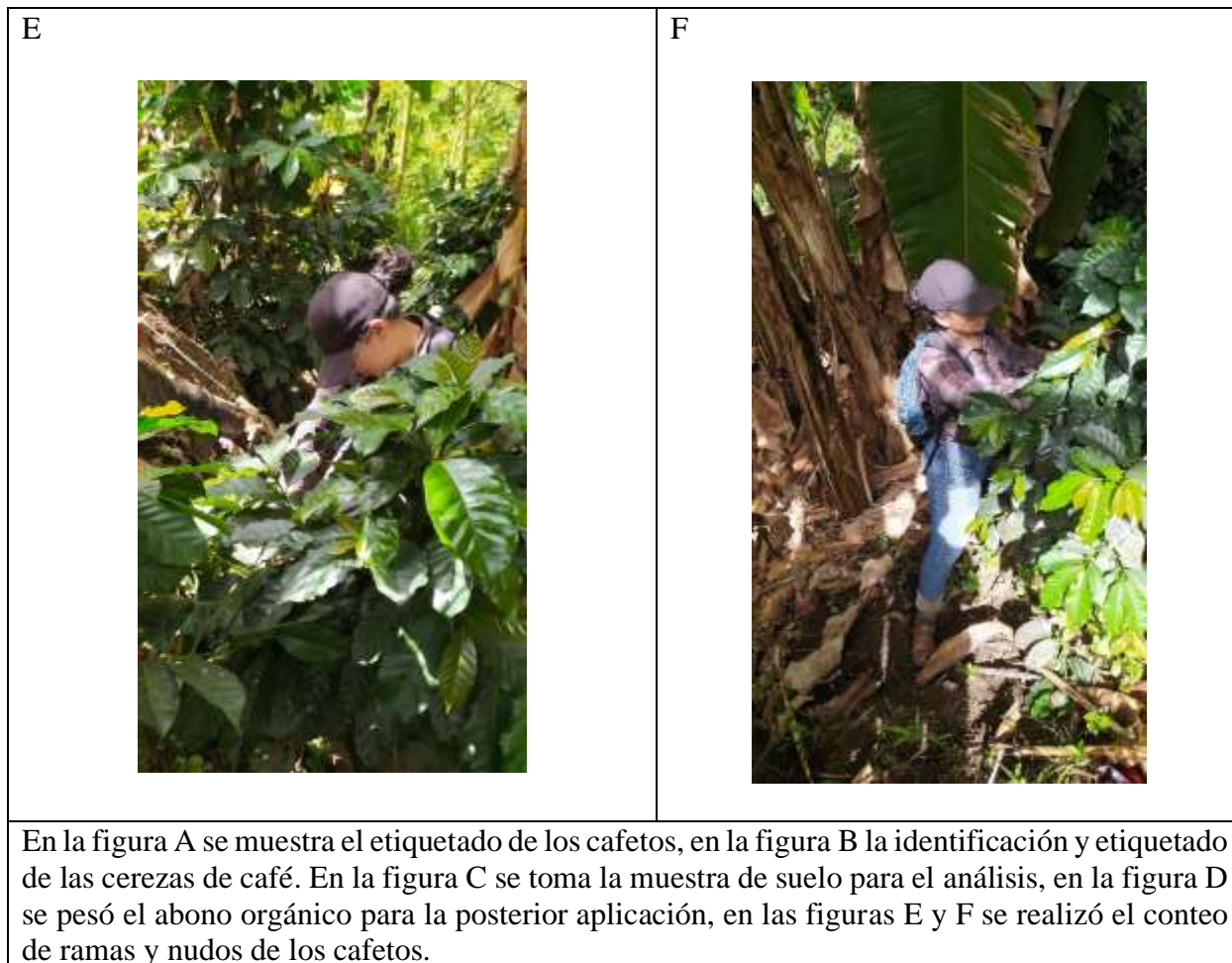
Anexo 5. Tercera Prueba de Dunnet del promedio ejes plagiotrópicos

Minimum Significant Difference: 17.445074028				
		Químico	53,89	18,78 *
Testigo	35,11	Mixto	50,11	15 ns
		Orgánico	49,89	14,78 ns
Minimum Significant Difference: 15.010877652				
		Químico	53,89	a
		Mixto	50,11	b
		Orgánico	49,89	b

Anexo 6. Prueba de Dunnet del promedio del peso del grano de café en los tratamientos

Prueba de Dunnet				
Minimum Significant Difference: 0.021025223				
		Mixto	0.03	**
Testigo	0.23	Orgánico	0.03	**
		Químico	0.03	**
Minimum Significant Difference: 0.0173627648				
		Mixto	0.26	A
		Orgánico	0.26	A

Anexo 7. Trabajo de campo



Anexo 8. Procesado de café cereza a café pergamino

