



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja
Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales
Renovables
Carrera de Ingeniería Agrícola

**EFFECTOS DE LOS NIVELES DE NITRÓGENO (0 – 150 –
200 – 250 KG HA-1) EN LA FASE INICIAL DE CRECIMIENTO
DEL CULTIVO DEL CAFÉ (COFFEA ARÁBIGA L.) EN LA
ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA ARGELIA EN EL CANTÓN
LOJA**

Trabajo de Titulación previa a la
obtención del título de Ingeniero
Agrícola

AUTOR:

Jean Carlos Zerna Rojas

DIRECTOR:

Ing. Miguel Ángel Villamagua Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2023

Certificación.

Loja, 5 de septiembre de 2022.

Mg.Sc. Miguel Ángel Villamagua.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.

C E R T I F I C O:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **EFFECTOS DE LOS NIVELES DE NITRÓGENO (0 – 150 – 200 – 250 KG. HA-1) EN LA FASE INICIAL DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO DEL CAFÉ (COFFEA ARÁBIGA L.) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA ARGELIA EN EL CANTÓN LOJA**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Agrícola**, de la autoría de la estudiante, **Jean Carlos Zerna Rojas** con **cédula de identidad Nro.0704623131**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Mg.Sc. Miguel Ángel Villamagua.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría.

Yo, **Jean Carlos Zerna Rojas**, declaro ser autor/a del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular o de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula de identidad: 0704623131

Fecha: 23 de enero de 2023

Correo electrónico: jean.zerna@unl.edu.ec

Teléfono celular: 0959443364

Carta de autorización por parte del autor/a, para consulta, reproducción parcial o total, y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **Jean Carlos Zerna Rojas** declaro ser autor del trabajo de titulación denominado: **EFFECTOS DE LOS NIVELES DE NITRÓGENO (0 – 150 – 200 – 250 KG. HA-1) EN LA FASE INICIAL DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO DEL CAFÉ (COFFEA ARÁBIGA L.) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA ARGELIA EN EL CANTÓN LOJA**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular o de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veintitrés días del mes de enero de dos mil veintitrés.

Firma:



Autor: Jean Carlos Zerna Rojas.

Cédula: 0704623131

Dirección: Daniel Álvarez, Loja Ecuador

Correo electrónico: jean.zerna@unl.edu.ec

Celular: 0959443364

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director del trabajo de titulación: Mg.Sc. Miguel Ángel, Villamagua

Dedicatoria.

El resultado de este trabajo está dedicado para mis padres, quienes nunca han dejado de confiar en mí y estuvieron en buenos momentos como también en malos momentos, por sus consejos y siempre animarme cuando parecía que me estancaba, gracias a ellos soy lo que soy hoy en día. También quiero dedicar este trabajo a mis amistades cercanas, a mi mascota que han sido un pequeño escape en todo el estrés que conlleva la vida universitaria.

Jean Carlos Zerna Rojas.

Agradecimiento.

En primer lugar, le agradezco a Dios y a mis padres que siempre me han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos. Por enseñarme que la vida es difícil y no importa cuántas veces te caigas, siempre te podrás levantar. Ellos son los que con su cariño me han impulsado siempre a perseguir mis metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades. Por brindarme el soporte material y económico para poder concentrarme en los estudios y nunca abandonarlos. También agradecer a mi tutor por su dedicación y paciencia, sin sus palabras y correcciones precisas no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada. Gracias por su guía y todos sus consejos, los llevaré grabados para siempre en la memoria en mi futuro profesional. Por ultimo son muchos los docentes que han sido parte de mi camino universitario, y a todos ellos les quiero agradecer por transmitirme los conocimientos necesarios para hoy poder estar aquí.

Jean Carlos Zerna Rojas.

Índice de contenidos.

Portada.....	i
Certificación.....	ii
Autoría.....	iii
Carta de autorización.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice de contenidos.....	vii
Índice de figuras.....	xi
Índice de tablas.....	xii
Índice de anexos.....	xiii
1. Título:..	1
2. Resumen.....	2
2.1 Abstract.....	3
3. Introducción.	4
4. Marco Teórico.....	6
4.1 Condiciones Edafoclimáticas del Cultivo de Café.....	6
4.1.1 Altitud.	6
4.1.2 Temperatura.	6
4.1.3 Precipitación.	6
4.1.4 Humedad relativa.	6
4.1.5 Vientos.....	6
4.1.6 Brillo solar y nubosidad.....	7
4.2 Especies Importantes del Café.....	7
4.2.1 Café Arábico (Coffea Arábica).....	7
4.2.2 Café Castillo.....	8
4.2.3 Café Robusta.....	8
4.3 Condiciones Edáficas para el Cultivo de Café.....	8

4.3.1	Propiedades Físicas del Suelo.....	8
4.3.2	Propiedades Químicas.....	9
4.4	Nutrición del Café en las Diferentes Etapas de Desarrollo.....	11
4.4.1	Nutrición en la Etapa de Germinación.....	11
4.4.2	Nutrición en la Etapa de Crecimiento Vegetativo o Levante.	11
4.5	Requerimientos Nutricionales para el Cultivo del Café.....	12
4.5.1	Elementos Esenciales	12
4.5.2	Fósforo.....	12
4.5.3	Potasio.....	13
4.5.4	Magnesio.....	13
4.6	Nitrógeno.	13
4.6.1	Nitrógeno en las Plantas.....	15
4.7	Ciclo del Nitrógeno.....	16
4.8	Dinámica del Nitrógeno en el Suelo.	17
4.9	Influencia del Nitrógeno en el Crecimiento y Desarrollo de las Plantas.	18
4.10	Deficiencia del Nitrógeno.....	18
4.11	Importancia del Nitrógeno en Suelo para el Cultivo del Café.....	19
4.12	Absorción de Nitrógeno por la Planta.....	19
4.13	Curvas de Absorción de Nitrógeno en la Fase de Crecimiento del Café.....	19
4.14	Fuentes de Nitrógeno.	20
4.14.1	Fuentes de Nitrógeno Orgánico.....	21
4.14.2	Fuentes de Nitrógeno Mineral.	21
4.15	Investigaciones Realizadas en el Café con el Nitrógeno.	21
4.16	Relación de Cationes Ideal para el Café.	23
4.17	Determinación de Nutrientes en la Biomasa Foliar.	24

4.17.1	Interpretación de los Resultados.	25
4.17.2	Utilización de los Análisis Foliare.	26
5.	Materiales y Métodos.	27
5.1	Área de estudio.....	27
5.1.1	Ubicación geográfica.	27
5.1.2	Ubicación ecológica.....	28
5.2	Materiales:.....	28
5.2.1	Materiales de Campo.	28
5.2.2	Materiales de oficina.	29
5.3	Metodología:	29
5.3.1	Diseño experimental.	29
5.3.2	Metodología para el primer objetivo.....	30
5.3.3	Metodología para el segundo objetivo.....	31
6.	Resultados.	33
6.1	Resultados del Primer Objetivo.	33
6.1.1	Valores de las Variables Dasométricos.....	33
6.1.2	Altura de plantas.	34
6.1.3	Numero de Ramas.....	35
6.1.4	Numero de Hojas.	36
6.2	Resultados del segundo objetivo.....	37
7.	Discusión.	39
7.1	Evolución de los Parámetros Dasometricos.....	39
7.2	Análisis a Nivel Foliar.	40
8.	Conclusiones	42
9.	Recomendaciones	43

10. Bibliografía 44
11. Anexos 48

Índice de figuras.

Figura 1. Ciclo del Nitrógeno.	16
Figura 2. Clorosis uniforme causada por la deficiencia de nitrógeno en la planta de café.....	18
Figura 3. Curva de Absorción de nutrientes g/planta	20
Figura 4. Coloide orgánico-mineral, suelo acido para el café y suelo con acidez adecuada.	23
Figura 5. Mapa de ubicación del campo experimental, provincia de Loja, barrio La Argelia, sector Los Molinos (UNL).....	27
Figura 6. Ubicación del experimento, sector “Los Molinos de la Estación Experimental La Argelia”.....	28
Figura 7. Regresión lineal para altura de plantas.....	34
Figura 8. Regresión lineal de número de ramas en los cafetos en los diferentes tratamientos..	35
Figura 9. Regresión lineal del número de hojas de los cafetos en los diferentes tratamientos..	36

Índice de tablas.

Tabla 1.	Recomendación de fertilización de suelos para café.	12
Tabla 2.	Rangos críticos de nutrientes (Cenicafe,2020).	25
Tabla 3.	Rangos de concentración foliar de nutrientes en cafeto propuesto en varios países. .	25
Tabla 4.	Dosificación del Nitrógeno en los diferentes tratamientos para su estudio.	29
Tabla 5.	Dosis de elementos aplicados por planta y fuentes utilizadas.	30
Tabla 6.	Valores de altura de planta, numero de ramas y numero de hojas en los diferentes tratamientos (0,150,200,250 kg.ha-1) de N.	33
Tabla 7.	Análisis de regresión lineal para altura de café en sus diferentes tratamientos.	34
Tabla 8.	Cuadro del diámetro basal.	35
Tabla 9.	Diámetro de copa.	36
Tabla 10.	Tabla del porcentaje de nutrientes de los diferentes tratamientos a los 545 días.	37

Índice de anexos.

Anexo 1.	Distribución de los tratamientos en la Quinta experimental La Argelia.	48
Anexo 2.	Distribución para el análisis foliar.	48
Anexo 3.	Necesidades del café obtenidas por el Tesista Kevin Macas.	49
Anexo 4.	Fertilizantes y dosis utilizadas para la primera fertilización.	49
Anexo 5.	Fertilizantes y dosis utilizadas para la segunda fertilización.	50
Anexo 6.	Fertilizantes y dosis utilizadas para la tercera fertilización.	51
Anexo 7.	Análisis de varianza de la altura de planta primera medición.	52
Anexo 8:	Análisis de varianza de la altura de planta, segunda medición.	52
Anexo 9.	Análisis de varianza de la altura de planta, tercera medición.	53
Anexo 10.	Análisis de varianza del número de hojas, primera medición.	53
Anexo 11.	Análisis de varianza para el numero de hojas, tercera medición.	54
Anexo 12.	Análisis de varianza para el numero de ramas, primera medición.	55
Anexo 13.	Análisis de varianza del número de ramas, tercera medición.	55
Anexo 14.	Reconocimiento del lugar.	56
Anexo 15.	Planta del tratamiento.	56
Anexo 16.	Planta del tratamiento 4.	57
Anexo 17.	Deshierba del cultivo.	57
Anexo 18.	Primera fertilización: 4 de Octubre de 2021.	58
Anexo 19.	Fertilizando cafeto: 4 de Octubre de 2021.	58
Anexo 20.	Fertilizante foliar “NUTRALIFT”.	59
Anexo 21.	Aplicación de Nutralift vía foliar.	59
Anexo 22.	Poda de alisos.	60
Anexo 23.	Preparación para la Segunda fertilización.	60
Anexo 24.	Realización de la corona del café previo a la fertilización.	61
Anexo 25.	Segunda aplicación de Nutralift vía foliar.	61
Anexo 26.	Medición de parámetros dasometricos.	62
Anexo 27:	Segunda fertilizacion.	62
Anexo 28.	Planta del tratamiento 4 presenta frutos.	63
Anexo 29:	Tercera aplicación de Nutralift por vía foliar.	63
Anexo 30:	Tercera fertilización.	64

Anexo 31. Recolección y empaquetado previo al envío del análisis foliar al INIAP.	64
Anexo 32: Deshierba del cultivo, previo a la finalización del proyecto.....	65
Anexo 33. Aplicación foliar de tratamiento para la roya del café.	65
Anexo 34: Análisis Foliar.....	66
Anexo 35. Certificado de traducción del Resumen/abstract.....	67

1. Título:

EFFECTOS DE LOS NIVELES DE NITRÓGENO (0 – 150 – 200 – 250 KG. HA-1) EN LA FASE INICIAL DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO DEL CAFÉ (COFFEA ARABICA L.) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA ARGELIA EN EL CANTÓN LOJA.

2. Resumen.

El nitrógeno es uno de los nutrientes que más limita la producción de los cultivos, debido a su alta demanda en la etapa de crecimiento (120 kg ha^{-1}), una insuficiente nutrición en N se manifiesta, en primer lugar, en una vegetación raquítica, plantas débiles, hojas pequeñas, color amarillento o verde pálido y además afecta la calidad de los cultivos, resultando en un color y un sabor indeseable.

En los primeros días del mes de octubre del año 2021 en la Estación experimental de La Argelia, se continuo con la evaluación del crecimiento del café entre los diferentes tratamientos de 0; 150; 200; 250 kg ha^{-1} de N. Los parámetros dasométricas que se evaluaron fueron: altura, diámetro basal, numero de hojas, numero de ramas, y la evaluación del nitrógeno en las hojas del cafeto. En el primer día de este proyecto se realizó la primera medición de altura, numero de hojas, numero de ramas en todos los 4 tratamientos, destacándose el tratamiento 4 con una medida 52 cm en altura y el tratamiento 1 con una medida de 44 cm de altura, teniendo 8 cm de incremento y a los 180 días del proyecto el tratamiento 1 y 4 median 53 cm y 71 cm de altura respectivamente, teniendo un incremento notable de 19 cm. Además, en el análisis foliar en los tratamientos que se aplicó nitrógeno se notó el incremento de este elemento llegando a rangos óptimos para el cultivo, a diferencia del testigo que mostro deficiencia de nitrógeno en las hojas. Con esto se concluye que el tratamiento 4 con 250 kg. ha^{-1} a los 180 días del proyecto, mostro un incremento tanto en altura, diámetro basal, numero de ramas y hojas, en comparación a los demás tratamientos, y el N en las hojas aumenta a medida que la dosis de nitrógeno aumente.

Palabras clave: Nitrógeno, nutrición, variables dasométricas, análisis foliar.

2.1 Abstract

Nitrogen is one of the nutrients that most limits crop production, due to its high demand during the growth stage (120 kg/ha), insufficient nitrogen (N) nutrition manifests itself, in the first place, in stunted vegetation, weak plants, small leaves, yellowish or pale green color and also affects crop quality, resulting in undesirable color and flavor.

During the first days of October 2021 at the La Argelia Experimental Station, the evaluation of coffee growth continued with the different treatments of 0, 150, 200 and 250 kg ha⁻¹ of nitrogen (N). The dasometric parameters evaluated were: height, basal diameter, number of leaves, number of branches, and the evolution of nitrogen in the leaves of the coffee tree. On the first day of this project, the first measurement of the 4 treatments was carried out, highlighting treatment 4 with a measurement of 52 cm and treatment 1 with a measurement of 44 cm, with an 8 cm increase. At day 180 of the project, treatment 1 and 4 measure 53 cm and 71 cm respectively, having a notable increase of 19 cm, furthermore, in the foliar analysis, the treatments with nitrogen application showed an increase in nitrogen reaching optimal ranges for the crop, unlike the control, which showed nitrogen (N) deficiency in the leaves.

It is concluded that treatment 4 with 250 kg. ha⁻¹ at 180 days of the project, showed an increase in height, basal diameter, number of branches and leaves, compared to the other treatments, and the nitrogen (N) in the leaves increases as the nitrogen (N) dose increases.

KEY WORDS: Nitrogen, nutrition, dasometric variables, foliar analysis.

3. Introducción.

Ecuador es un país productor de café ya que cuenta con 199. 215 ha cultivadas, de las cuales el 68% corresponde a la especie *Coffea arábica* y el 32% a *Coffea canephora*. En la costa, la provincia de Manabí es considerada la mayor productora de café del país, produciendo 13.141 toneladas en 2012. Por su parte, la provincia de Loja, tuvo una producción de 2.621 toneladas en comparación con otras provincias de la región. (PROECUADOR, 2013). En todo el Ecuador el cultivo de café tiene un gran peso en el ámbito social y económico, sin embargo, el producido en la provincia de Loja es considerado el mejor café de altura.

El Consejo Cafetalero Nacional COFENAC (2013) afirma que el volumen de producción de Loja queda en segundo lugar en el Ecuador con una superficie total de 29.345 ha y un área en producción total de 22.009 ha de café arábigo de altura, el cultivo del café ocupa las siguientes áreas: Puyango: 2259 ha (30.3 %); Paltas: 1560 ha (20.9 %); Olmedo: 1167 ha (15.6 %); Espíndola: 910 ha (12.2 %); Pindal: 621 ha (8.3 %); Quilanga: 475 ha (6.4 %) y Loja 384 ha (5.1%) (COFENAC 2013).

El problema por el bajo rendimiento del café ocurre principalmente por la baja fertilidad del suelo, por consecuencia de la erosión en altas pendientes, siendo esto un gran problema para el caficultor, por ende, busca reponer los nutrientes al suelo con fertilizantes químicos, pero esto lo realizan sin el conocimiento sobre que nutrientes le falta al suelo, solo aplicando por recomendación del vendedor de dichos insumos, lo que no aporta en mucho a la fertilidad del suelo. Cita

Las características químicas óptimas para el cultivo del café son: porcentaje de saturación de Ca^{+2} : 60-75 %; 12 al 20 % Mg^{+2} ; 3 al 7 % de K^{+} ; 10 al 15 % $\text{H}^{+} + \text{Al}^{+3}$, además, Enrique y Duicela (2014), propone la relación de cationes óptima para el cultivo del café: Ca/Mg : 2,6-8; Mg/K : 7,5-15; $(\text{Ca} + \text{Mg}) / \text{K}$: 27,5-55 y la suma de bases ($\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{K}^{+}$): 15 a 30 cmol (+) /kg, y Sadeghian y Diaz-Marin (2020), dice que las relaciones de Ca/Mg : 2,51:1 y 3:08:1 fueron las más favorables para el desarrollo del café. Estos mismos autores indican que para aplicar macro y micronutrientes tiene que tomarse en cuenta el análisis químico del suelo, así, para cafetales en crecimiento, hasta los 3 años de edad se aplica la mitad de la dosis recomendada para suelos con baja fertilidad, la cual es: N: 100; P: 40; K: 50; S:50; Ca: 150; Mg: 10; Zn: 1,5; Cu: 1,5; Mn: 0,8 y B:5 kg/ha.

Ruiz (2009), nos dice que la eficiencia en el uso del nitrógeno (EUN) es un concepto fisiológico que permite evaluar la capacidad que poseen las plantas para tomar el nitrógeno (N) del suelo, sin embargo, se ha logrado mejorar el aprovechamiento del N por los sistemas de producción agrícola, así como reducir sus pérdidas y aumentar la productividad. Citando a Suarez (2016), el café responde más positivamente a las aplicaciones de nitrógeno y potasio que a las aplicaciones de fósforo. El nitrógeno con frecuencia es el nutrimento limitante en los agroecosistemas, sin embargo, al aportar nitrógeno al suelo en cantidades que la planta necesite, estas se verán beneficiadas ya que, al cumplir su requerimiento en nitrógeno, tendrán un crecimiento más favorable, viéndose el área foliar aumentada, el tamaño, el color de las hojas y favoreciendo más al proceso de fotosíntesis, así mismo, mejorando su estructura celular.

La fertilización del café en casos de suelos con pobreza de nutrientes es vital para el desarrollo de la plantación, siendo un nutriente esencial para esto el nitrógeno, al estar involucrado en tantos procesos vitales, no es de extrañar que su deficiencia afecte en gran medida el crecimiento de la planta. Una insuficiente nutrición en N se manifiesta, en primer lugar, en una vegetación raquítica, plantas débiles, hojas pequeñas, color amarillento o verde pálido en las hojas y además afecta la calidad de los cultivos, resultando en un color y un sabor indeseable. Cita, por ello se justifica en este trabajo el comprobar cuál es la dosificación más óptima para el cultivo del café en condiciones normales.

Objetivos.

Objetivo general

- Contribuir con la información sobre la gestión de la fertilidad de los suelos principalmente del nitrógeno en el sistema agroforestal del café en la estación experimental la Argelia del cantón Loja, a fin de mejorar el crecimiento vegetativo del cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

Objetivos específicos

- Evaluar la respuesta del cultivo del café a las diferentes dosis de nitrógeno a partir de los 365 días de haber sido plantado.
- Determinar la cantidad de nitrógeno en la biomasa de las plantas.

4. Marco Teórico.

4.1 Condiciones Edafoclimáticas del Cultivo de Café.

4.1.1 *Altitud.*

Incide en forma directa sobre los factores de temperatura y precipitación. La altitud óptima para el cultivo de café se localiza entre los 500 y 1700 m.s.n.m. Por encima de este nivel altitudinal se presentan fuertes limitaciones en relación con el desarrollo de la planta (Barva & Heredia, 2011).

4.1.2 *Temperatura.*

La zona óptima para el cultivo del café arábigo se encuentra entre 19 y 21.5 grados centígrados, en climas fríos, donde la temperatura media es menor de 19 grados centígrados, las variedades de café se desarrollan menos, su producción es menor y la cosecha se distribuye a lo largo del año. En climas cálidos, donde la temperatura media es mayor de 21,5 °C, la vida productiva del cafeto es más corta, la cosecha más temprana y más concentrada. El ataque de la roya es más severo y se incrementan plagas como la broca y el minador (Vanegas, 2016).

4.1.3 *Precipitación.*

Se considera apropiada para el cultivo una cantidad de lluvia comprendida entre los 1.800 y los 2.800 milímetros anuales, con una buena distribución en los diferentes meses del año. Se requieren por lo menos 120 mm/mes, sin embargo, el exceso de precipitación aumenta la presencia de enfermedades, puede afectar la floración cafetal disminuyéndola o dañándola, y caso contrario en presencia de sequías las hojas del café pueden caerse, además de aumentar el ataque por plagas como el minador y la broca (Vanegas, 2016).

4.1.4 *Humedad relativa.*

Cuando alcanza niveles superiores al 85%, se propicia el ataque de enfermedades fungosas que se ven notablemente favorecidas (Barva & Heredia, 2011). En el caso de utilizar sombra se debe anotar que, en general, el café necesita menos sombra cuando el suelo es mejor y cuando la humedad del aire es más alta. El efecto de la sombra es indirecto, pero está de acuerdo con el comportamiento ecológico de las plantas de café (Rica, 2016).

4.1.5 *Vientos.*

Son los encargados de transportar el vapor de agua y las nubes, haciendo variar algunos componentes del clima como las lluvias, la temperatura y el brillo solar. En general, las zonas más

adecuadas para el cultivo del cafeto se caracterizan por presentar vientos de poca fuerza (Vanegas, 2016).

4.1.6 Brillo solar y nubosidad.

La principal fuente de energía para las plantas es la radiación del sol que llega a las plantas dependiendo de la presencia o ausencia de nubes y la orientación de las laderas en relación con la salida del sol. El brillo solar se expresa como el número de horas en las cuales el sol brilla en un período dado, se encuentra entre 1.600 y 2.000 horas de sol al año (4.5-5.5 horas de sol al día) (Vanegas, 2016).

4.2 Especies Importantes del Café.

4.2.1 Café Arábico (*Coffea Arábica*).

El café arábico o arábigo es uno de los más apreciados en el mundo. Al igual que todos los granos del café, procede del árbol del cafeto, una planta de la familia de las Rubiaceae de las que hay unas 90 especies. Originario de Etiopía es, a día de hoy, el más cultivado en el mundo. Para su producción se necesita una altitud robusta de unos 500-800 m y se desarrolla en climas subtropicales. Es muy sensible al calor y a la humedad extrema. Por otro lado, el café arábico tiene una gran riqueza en aromas y sabores, que son los que definen cada variedad del café. Su sabor es suave, con notas frescas, frutales y florales y con un toque de acidez equilibrado. Evidentemente, este matiz dependerá de muchos factores como por ejemplo el agua, el grano y cualquier proceso involucrado en la preparación de una tasa única (Concafe, 2019). Dentro del grano de café arábigo se encuentran diferentes grupos:

- Moka: este grano se caracteriza por tener una baja acidez y un sabor que recuerda un poco al chocolate.
- Sierra Nevada de Santa María: su nombre procede del parque natural más extenso y variado de Colombia. Se le conoce por tener un tono ácido y amargo, y a su vez, desprende un sabor caramelizado con tintes de pan tostado.
- Harrar: todo su proceso de recolectado, secado y tueste se realiza a mano en la región de Harrar en Etiopía. Es considerado un grano de cuerpo medio y alta acidez con un aroma que desprende cierto aire afrutado.
- Yirgacheffe: su sabor es denso y dulce. Además, se pueden distinguir aromas con tonos frutales y silvestres.

- Mandheling y Lintong: tiene un intenso aroma a hiervas del bosque lo que le baja un poco su calidad.
- Taroja Kalossi: procede de Indonesia, concretamente de la isla de Célebes. Es muy apreciado por su buen cuerpo y por su acidez equilibrada.
- Blue Mountain: para los sibaritas del buen café esta variedad es toda una delicia. Es originario de Jamaica y tiene un aroma intenso y muy agradable con una tenue acidez.

4.2.2 *Café Castillo.*

Se caracteriza por ofrecer una alta producción y ser resistente a la roya, por lo que no requiere la aplicación de fungicidas ya que estos pueden dañar el medio ambiente y aumentar el costo de producción para los agricultores. Conocido por su suavidad, aroma y acidez cítrica. En pruebas ciegas y otras evaluaciones sensoriales, Café de Colombia descubrió que puede tener cualidades similares a Typica, Caturra y Bourbon. Presenta cuerpo y amargor suaves, y aroma y acidez pronunciadas para grados medios de tueste. Se manifiestan notas amargas a chocolate negro (CENICAFE, 2006).

4.2.3 *Café Robusta.*

Como se ha indicado, otro de los grandes grupos del grano del café es el robusta, también conocido como *Coffea canephora*. Procede de la República Democrática del Congo y su semilla es mucho más resistente que la arábica por lo que acepta mayor variedad en los terrenos. El sabor del café robusta es más bien amargo y se combina con matices de frutos secos y madera. Asimismo, su textura es más áspera y cremosa, lo que lo hace poco atractivo para los gustos más finos e idónea para la elaboración de los cafés expresos (Concafe, 2019).

4.3 *Condiciones Edáficas para el Cultivo de Café.*

4.3.1 *Propiedades Físicas del Suelo.*

4.3.1.1 *Textura del Suelo.*

La textura es la propiedad física más estable, solo se modifica ligeramente por la agricultura y diversas actividades que mezclen las capas del suelo. La textura es importante en la fertilidad y el movimiento del agua en el suelo, la laborabilidad y amplitud de la aireación. Además, se considera que un suelo posee “buena textura” cuando la proporción de los elementos dan la posibilidad de ser un buen soporte para fijar el sistema radicular de las plantas. El café prospera en un suelo profundo, bien drenado, que no sea ni demasiado ligero ni demasiado pesado. Los limos volcánicos son ideales (Rica, 2016).

4.3.1.2 Estructura.

Es la forma como se agrupan las partículas del suelo y es determinante para el crecimiento y penetración de las raíces, siendo de gran importancia en la permeabilidad del suelo, en la facilidad para trabajarlos y en la resistencia a la erosión. La estructura se puede mejorar o dañar con las labores de cultivo. La mejor para el cafeto es la de tipo granular (Vanegas, 2017).

4.3.1.3 Porosidad y Permeabilidad.

La permeabilidad se refiere a la velocidad con la que el agua y el aire circulan a través de los poros del suelo. Los suelos arenosos son de permeabilidad alta y los arcillosos son de permeabilidad baja. Los mejores suelos para el café son los francos, en los cuales la permeabilidad es moderada (Vanegas, 2017).

4.3.1.4 El Suelo para el Cultivo.

El suelo es esencial para cualquier cultivo ya que sirve de anclaje además de proporcionar el agua y nutrientes necesarios para su crecimiento, desarrollo y producción. Tiene su origen en la desintegración y descomposición lenta de las rocas, causada principalmente por la acción del agua, la temperatura y los vientos. En algunas regiones estos procesos se acompañan de cenizas provenientes de los volcanes. Con el paso del tiempo las partículas formadas se mezclan con los residuos de animales y vegetales en descomposición, dando origen al suelo o capa vegetal. El suelo está compuesto por sustancias sólidas (orgánicas e inorgánicas), agua y aire (Vanegas, 2017).

4.3.2 Propiedades Químicas.

4.3.2.1 Capacidad de Intercambio Catiónico.

La materia orgánica del suelo y las arcillas poseen cargas eléctricas, donde predominan las negativas. Estas cargas ayudan a retener los elementos cargados positivamente, tanto aquellos de naturaleza acida (Al^{3+} e H^+) como básico (Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+), evitando que se pierdan por lixiviación. Los cationes retenidos en esta fase por fuerza electroestática se intercambian con aquellos que se encuentran en la solución del suelo, fenómeno que se conoce como intercambio catiónico (Cenicafé, 2016.).

Por lo general, los suelos con alta CIC, son aquellos con altos contenidos de arcilla y/o materia orgánica. La alta CIC les brinda mayor capacidad para retener nutrientes, eso normalmente los hace más fértiles.

4.3.2.2 Grado de Acidez o pH.

El pH es un parámetro que permite conocer que tan ácida o alcalina es la solución del suelo, dicho que la solución del suelo es donde las raíces de las plantas toman los nutrimentos necesarios para su crecimiento y desarrollo. La escala de medición del pH está entre los valores de 0.0 a 14.0. El pH también es un indicador de múltiples propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo que influyen fuertemente sobre la disponibilidad de los nutrimentos esenciales para las plantas. El pH dentro de un rango específico permite que la mayoría de los nutrientes mantengan su máxima disponibilidad (Intagri S.C., 2021). Por debajo de dicho rango se pueden presentar problemas de deficiencias de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre o magnesio; mientras que por encima de este mismo rango la disponibilidad de micronutrientes (hierro, manganeso, cobre o zinc) se reduce.

El café prospera en un suelo profundo, bien drenado, que no sea ni demasiado ligero ni demasiado pesado. Los limos volcánicos son ideales. La reacción del suelo debe ser más bien ácida. Una variación del pH de 4,2-5,1 se considera lo mejor para el café arábigo en Brasil y para café robusta en el África Oriental. Además, la respuesta fotosintética y síntesis bioquímica de la planta se ve muy influida por el período climático del año. Así los diferentes niveles de clorofilas, carotenoides, etc., se ven modificados en función de las temperaturas, de la intensidad luminosa (Yara Ecuador, 2018).

4.3.2.3 Fertilidad del Suelo.

Cuando se habla de “fertilidad” de un suelo se aborda el recurso edáfico desde la perspectiva de la producción de cultivos. Así, la fertilidad de un suelo es la capacidad que tiene el mismo de sostener la del crecimiento del cultivo. Esta es una definición agronómica. En definiciones más modernas se incluye la rentabilidad y la sustentabilidad de los agro-ecosistemas. Muchas veces se divide a la fertilidad en “química”, “física” y “biológica” para su abordaje particular, pero muchas veces resulta complicado separarlas. La fertilidad química se refiere a la capacidad que tiene el suelo de proveer nutrimentos esenciales a los cultivos (aquellos que de faltar determinan reducciones en el crecimiento y/o desarrollo del cultivo). La “fertilidad física” está relacionada con la capacidad del suelo de brindar condiciones estructurales adecuadas para el sostén y crecimiento de los cultivos. Aspectos como la estructura, espacio poroso, retención hídrica, densidad aparente, resistencia a la penetración, entre otras, son algunas de las variables que se analizan en estudios de fertilidad física de suelos. La “fertilidad biológica” se vincula con los procesos biológicos del suelo, relacionados con sus organismos, en todas sus formas. Los

organismos del suelo son imprescindibles para sostener diversos procesos del suelo. Posiblemente sea el área de conocimiento edafológico menos desarrollada, pero con algunos avances interesantes en los últimos años en lo que se refiere a estudios enzimáticos (bioquímica de suelos) y ecología microbiana de suelos (Torres, 2008).

4.3.2.4 Materia Orgánica.

La materia orgánica es uno de los componentes fundamentales de la naturaleza, pues a través de ella se sustenta la vida misma sobre el planeta; de allí, la importancia de conocerla en más detalle con el fin de propiciar acciones tendientes a su conservación y mejoramiento, mediante prácticas adecuadas de manejo. La MO es la fracción químicamente más activa del suelo, la cual almacena varios elementos esenciales para el crecimiento de las plantas, estimula la estructura del suelo, contribuye a la capacidad de intercambio catiónico (CIC), regula el pH, propicia las relaciones convenientes entre el aire y el agua en los suelos, y es un enorme depósito geoquímico de carbono-C. La materia orgánica del suelo se compone principalmente de C (52% a 58%), oxígeno-O (34% a 39%), hidrógeno-H (3,3% a 4,4%) y nitrógeno-N (3,7% a 4,1%); otros elementos que se destacan son el fósforo (P) y el azufre (S) (Sadeghian, 2010).

4.4 Nutrición del Café en las Diferentes Etapas de Desarrollo.

4.4.1 Nutrición en la Etapa de Germinación.

Es el periodo de desarrollo del embrión, hasta convertirse en plántula. Para un manejo adecuado del cultivo desde la fase inicial de germinación, se debe trabajar con material libre de enfermedades. Se recomienda el uso de semillas con un porcentaje de germinación mayor al 80% y realizar un control adecuado de volcamiento causado por el hongo *Rhizoctonia solani*. El almácigo puede realizarse en campo y en bolsa y, se recomienda realizarlo ocho semanas antes del trasplante (Vignola, *et al*, 2018). Tiene una duración de dos meses, las semillas se las siembran en arena y no requieren la adición de nutrientes, ya que las reservas nutritivas de las mismas suplen las necesidades de las plántulas, solo requieren condiciones adecuadas de humedad, oscuridad y temperatura (Anchundia, 2021).

4.4.2 Nutrición en la Etapa de Crecimiento Vegetativo o Levante.

De acuerdo a la forma como se desarrolla la planta de café en Colombia, puede considerarse que el desarrollo vegetativo, es decir, la formación de raíces, ramas, nudos y hojas, comprende tres etapas: germinación a trasplante (2 meses), almácigo (5-6 meses) y siembra definitiva a primera floración (11 meses). Hasta este momento se considera una etapa netamente vegetativa y de ahí en

adelante, las fases de crecimiento vegetativo y reproductivo transcurren simultáneamente durante el resto de vida de la planta (Arcila, 2007). La fertilización se debe comenzar a partir del primero o segundo mes luego de la siembra, y repetirse cada 4 meses, dependiendo del elemento, siempre teniendo en cuenta la disponibilidad del agua en el suelo. Las cantidades de los abonos en esta etapa se incrementan proporcionalmente a la edad del cultivo (Anchundia, 2021)

4.5 Requerimientos Nutricionales para el Cultivo del Café.

4.5.1 Elementos Esenciales.

Como lo menciona Meléndez y Molina (2001), el cultivo de café de alta producción es demandante de una fertilización óptima para sus estándares. No obstante, se debe considerar la disponibilidad de nutrimentos en el suelo durante el ciclo de producción del cafeto para realizar una fertilización más ajustada a los requerimientos del cultivo. Se recomienda fraccionar la fertilización en 3 o 4 aplicaciones por año, esto siguiendo las curvas de absorción del cultivo para poder aportar en cada fase fenológica los nutrientes necesarios para su debido desarrollo. Así mismo, mencionan que los nutrientes esenciales para su requerimiento en orden de importancia son N>K>Mg>Ca>S>Zn=B>P. Se han estimado programas de fertilización y se ha creado una recomendación de fertilización general para el cultivo de café como lo muestra la tabla 1 (Arcila, 2007).

Tabla 1.

Recomendación de fertilización de suelos para café.

Elemento	Dosis kg.ha ⁻¹
N	150 – 300
P	30 – 50
K	100-200
Mg	40-80
S	30-60
B	3 a 6
Zn	5 a 10

Fuente: Meléndez y Molina, 2001.

4.5.2 Fósforo.

El fósforo se necesita en cantidades muy inferiores con solo 25 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ para apoyar el crecimiento anual. El fósforo es particularmente importante en viveros y durante la fase de

establecimiento de las plantas igual que antes de la floración para impulsar el crecimiento radicular. El uso de fertilizantes, incluyendo aplicaciones foliares, es importante en suelos con indisponibilidad del fósforo por fijación. En esas situaciones, hasta 100 kg.ha⁻¹ de fósforo pueden aplicarse por año (Yara Ecuador, 2018).

4.5.3 Potasio.

El consumo de potasio llega a su pico más tarde que el nitrógeno. Así mismo, es sumamente importante durante el crecimiento del fruto. Mucha de la exportación de potasio desde la planta durante la cosecha, más de 50 kg.ha⁻¹, está en la pulpa. En la práctica, programas de fertilización en zonas cafetaleras de cultivo intensivo y de alta pluviosidad recomiendan 250 – 450 kg.ha⁻¹ de nitrógeno y potasio por año. Tasas menores pueden aplicarse si el suelo tiene altos niveles de potasio, y si las hojas del cafeto tienen alto contenido de nitrógeno (Yara Ecuador, 2018).

4.5.4 Magnesio.

Absorción del calcio debe seguir durante todo el ciclo hasta llegar a la madurez. Magnesio y azufre se requieren en cantidades menores en comparación con el calcio con absorciones de 30 a 60 kg.ha⁻¹ y 14 a 20 kg.ha⁻¹ respectivamente. La absorción principal de tanto magnesio como azufre es durante la maduración del fruto (Yara Ecuador, 2018).

En suelos deficientes de este nutriente llegan a manifestarse deficiencias en la planta a medida que avanza el llenado de los granos; condición que se puede agravar si se excede en las fertilizaciones potásicas y/o nitrogenadas, o el encalado con enmiendas que no contienen este elemento; de allí la importancia de una fertilización racional y la selección de una fuente apropiada de enmienda en dosis adecuadas. Con las aplicaciones de cal dolomítica para la corrección de la acidez, también se suplen los requerimientos de Mg, siempre y cuando se apliquen cantidades suficientes de una fuente de alta pureza (con contenidos de MgO mayores a 15%). Si no hay necesidad de encalar, se deberá recurrir al uso de fertilizantes que contengan este nutriente; en este caso se podrán aplicar dosis equivalentes a 2 o 3 g planta⁻¹ de magnesio (MgO), a los 18 meses después de la siembra, si el nivel del elemento en el suelo es inferior a 0,9 cmol(+) kg⁻¹ (Cenicafe, 2008).

4.6 Nitrógeno.

El nitrógeno es esencial para el crecimiento vegetal y la alta producción de café. La absorción ocurre en la fase precoz durante el desarrollo foliar y la floración. El suministro de N

debe de mantenerse durante la temporada, pero exceso de N a fases tardías del ciclo puede reducir el tamaño del grano de café (Yara Ecuador, 2018).

Montero (2017), dice que el nitrógeno es un elemento esencial para los cafetos y lo absorben en altas cantidades, ya que cumple funciones vitales como crecimiento, desarrollo y producción de la planta. La dinámica de este elemento en el suelo, está regulada por procesos biológicos, derivados de la actividad microbiana que afecta a las formas minerales y a las formas orgánicas de reserva en el suelo. Las plantas son capaces absorber o asimilar el nitrógeno en forma inorgánica como nitrato (NO_3^-) o amonio (NH_4^+).

La eficiencia en el uso del fertilizante nitrogenado se conoce como la relación entre los kilogramos de nitrógeno aplicado y los kilogramos de nitrógeno absorbido proveniente del fertilizante. Normalmente, las plantas absorben el 50% del nitrógeno aplicado al suelo, por lo tanto, una parte importante se perderá en forma de gases (volatilización y desnitrificación) o bien, por lixiviación, escorrentía o erosión (Montero, 2017).

Suarez (2016), indica que el nitrógeno es importante y necesario para la época de crecimiento y durante la fase de producción, ya que este forma parte de las moléculas de proteínas, participa en la transferencia de la información genética, así como en la fotosíntesis. La fuente de nitrógeno como sulfato de amonio no es muy recomendable porque aumenta la acidez del suelo, y se recomienda aplicarlo en forma de urea.

Hoffman et al. (2016) dice que a bajas dosis de N aplicada, los niveles de recuperación de nitrógeno derivado del fertilizante son bajos, sin embargo, a medida que aumentan las necesidades y dosis de nitrógeno, se recupera una mayor cantidad de este nutriente. Pese a esto a incrementar las cantidades absolutas de nitrógeno que no son absorbidas por los cultivos, aumentan el riesgo de contaminación, haciendo énfasis a la fertilización adecuada solo con lo que el cultivo requiere.

Al ser un nutriente básico en una gran cantidad de procesos vitales para las plantas, y por la baja concentración de nitrógeno en relación a los requerimientos del cultivo, se hace necesario aumentar el aporte de nitrógeno a los cultivos, ya sea de forma biótica (aquella en que el aporte o fijación del nitrógeno al suelo se hace por medio de microorganismos como bacterias y hongos, que permiten que el nitrógeno atmosférico se degrade a su forma mineral, absorbible por las plantas) o abiótica (se da por medio de fenómenos atmosféricos como las precipitaciones

de nieve o lluvia, que favorecen también esta fijación). Sin embargo, existen también productos elaborados como el abono nitrogenado e inclusive otros fertilizantes químicos (Cita)

4.6.1 Nitrógeno en las Plantas.

El nitrógeno es un nutriente esencial para todas las plantas. Es un constituyente importante de la molécula de clorofila, ácidos nucleicos y proteínas. El nitrógeno es abundante en la atmósfera y abarca aproximadamente el 78% de su contenido. El nitrógeno también es un componente de la materia orgánica en el suelo. Sin embargo, el nitrógeno orgánico y atmosférico no pueden ser utilizados directamente por las plantas. Para que las plantas absorban el nitrógeno, primero se debe convertir en amonio (NH_4^+) y / o nitrato (NO_3^-), que son las formas disponibles para la absorción por las plantas (Cropaia, 2019).

Algunas plantas pueden utilizar el nitrógeno atmosférico, a través de su asociación con microorganismos procariotes o diazotróficos, pero la mayoría de los cultivos depende del suministro externo de N vía mineralización de la materia orgánica y adición de fertilizantes, para completar su ciclo de crecimiento. La fuente primaria de N es el nitrógeno atmosférico sometido a un proceso de fijación biológico o industrial. Ambos procesos tienen un costo energético alto. La aplicación de fertilizantes se ha venido realizando de manera pletórica bajo la premisa de: “aumento en los aportes, igual a aumento en la producción”. Este supuesto ha tenido costos ambientales y económicos considerables, por lo que en la actualidad se trabaja en la búsqueda de estrategias que permitan razonar el aporte de nitrógeno a los cultivos, procurando alcanzar su máximo potencial productivo y preservar el ambiente (Cárdenas Navarro et al., 2004).

Cárdenas Navarro et al. (2004), comenta que entre los diecisiete elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas el N es considerado el más importante, por ser el que se encuentra en mayor proporción, 1 a 3 % con respecto a su materia seca, dependiendo de la especie, de la etapa fenológica, del órgano, etc.

Las funciones del N son de tipo estructural y osmótico. Las primeras son específicas y se relacionan con la síntesis de moléculas esenciales para el crecimiento, como ácidos nucleicos, aminoácidos, proteínas, clorofilas y alcaloides. La función osmótica está asociada al efecto del ión nitrato y a otras formas reducidas del N, en la reducción del potencial hídrico (Ψ_w) de la vacuola, dentro del proceso de osmoregulación Cita.

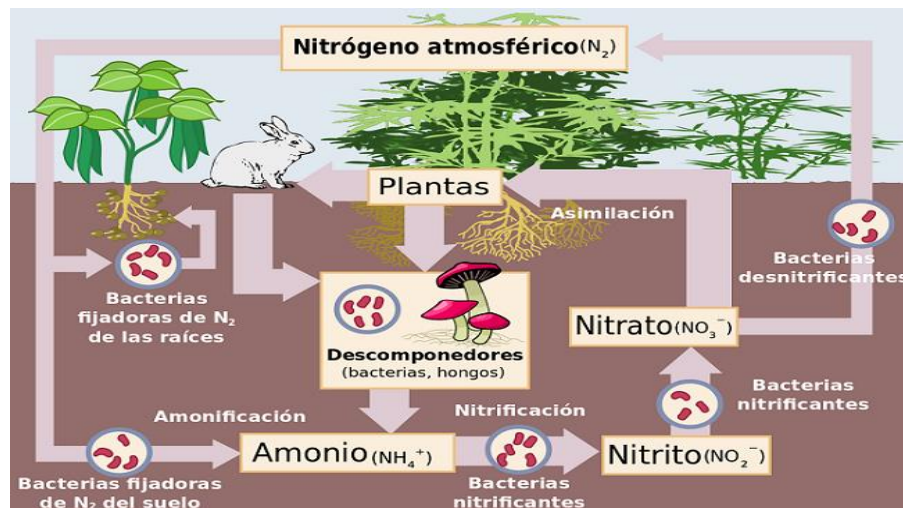
El nitrógeno se mueve en el sistema radicular por flujo de masa. Las formas asimilables del nitrógeno por las raíces de las plantas en el suelo son en forma de nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+).

En la mayoría de los suelos la acción de bacterias nitrificantes hace que los cultivos absorban en su mayoría nitrato. En otras situaciones especiales del suelo, como condiciones anaeróbicas, las plantas pueden absorber relativamente más amonio que nitrato (Fernanda-Habit, 2020).

4.7 Ciclo del Nitrógeno.

Es un ciclo biogeoquímico del que depende la biosfera y todos los organismos para el crecimiento. Este se refiere a un conjunto de procesos químicos, biológicos que permite suministrar a los seres vivos de nitrógeno para su desarrollo. Finalmente, este ciclo involucra un movimiento del nitrógeno entre la atmósfera donde es más abundante y la biosfera donde habitan todos los seres vivos. Las principales actividades humanas que afectan en el ciclo del nitrógeno son: por medio del proceso de Haber-Bosch, cultivo intensivo, exceso de fertilizantes al suelo, tala de árboles, derrame o quema de combustibles fósiles, centrales térmicas, muchas otras que disminuyen su estado natural y generando contaminación, la lluvia acida o efecto invernadero (Pineda, 2019).

Figura 1.
Ciclo del Nitrógeno.



Fuente: Pineda 2019.

Una característica principal del ciclo interno del N es su transformación continua desde la fase orgánica (N insoluble) a la fase inorgánica o mineral (N soluble) a través de los procesos de mineralización e inmovilización respectivamente, y realizados por la biomasa microbiana. Ambos procesos ocurren simultáneamente en el suelo; si el efecto neto es un incremento o disminución del N mineral disponible para las plantas depende principalmente de la relación carbono (C)/N en los residuos orgánicos que se degradan o descomponen en el suelo (PortalFruticola, 2017).

4.8 Dinámica del Nitrógeno en el Suelo.

Bajo condiciones naturales, el N del suelo no proviene de la degradación de la roca madre. Todo el nitrógeno que normalmente se encuentra en él deriva, en última instancia, del que existe en la atmósfera terrestre a través de los distintos procesos de fijación, fundamentalmente de tipo biológico. El nitrógeno presente en suelos cultivables procede de materiales diversos: restos de cultivos, abonos verdes, estiércol, fertilizantes comerciales y nitratos aportados por lluvias, así como por la fijación de N atmosférico por ciertos microorganismos. Gran parte del nitrógeno así incorporado al suelo sufre grandes transformaciones antes de ser utilizado por los vegetales superiores. Las proteínas son degradadas, originando productos de descomposición más sencillos y, finalmente, parte del nitrógeno aparece en forma de nitrato. En esta forma puede ser apropiado tanto por los microorganismos como por las plantas superiores para construir sus estructuras proteicas, o bien ser reducido, en determinadas condiciones, a su estado elemental (Benimeli, 2019).

Silva (2001) dice que las mayores fuentes de nitrógeno inorgánico para las plantas son la nítrica (NO_3) y la amoniacal (NH_4). Casi todo el NH_4 debe ser incorporado a compuestos orgánicos en las raíces mientras que el NO_3^- se transporta por el xilema y puede almacenarse en las vacuolas de las raíces, tallos, hojas y frutos, sin embargo, para que el nitrato pueda formar parte de estructuras orgánicas y cumpla sus funciones esenciales como nutriente debe ser reducido a amonio con la ayuda de dos enzimas. La primera es el nitrato reductasa, la cual reduce el nitrato a nitrito y la segunda es el nitrito reductasa, la cual reduce el nitrito a amonio. La actividad del nitrato reductasa varía de acuerdo al desarrollo de las hojas. La actividad es máxima cuando la tasa de expansión foliar también es máxima. Por tanto, en hojas completamente formadas la actividad de la enzima es baja y se almacenan en las vacuolas altos niveles de nitrato. Mientras que el nitrato puede ser almacenado en las vacuolas sin efectos detrimentales, la forma amoniacal y el amonio son tóxicos inclusive a bajas concentraciones. La asimilación del NH_4 suministrado a las raíces comprende la absorción y la incorporación a aminoácidos y amidas con la liberación simultánea de protones para el balance electroquímico. Estos compuestos se transportan por el xilema hacia las hojas y requieren de carbohidratos para su síntesis, En este proceso, el amonio se incorpora en el paso de glutamato a glutamina gracias a la acción de glutamina sintetasa, la cual tiene una alta afinidad por el amonio y es capaz de incorporarlo aún a bajas concentraciones. La incorporación

es activada por un pH alto y por concentraciones altas de magnesio y ATP, los cuales se incrementan en el estroma del cloroplasto en presencia de la luz.

4.9 Influencia del Nitrógeno en el Crecimiento y Desarrollo de las Plantas.

El nitrógeno es un componente integral de varios compuestos esenciales de las plantas, entre los más importantes se destacan: componente de los aminoácidos, que son las unidades estructurales de las proteínas, componente de moléculas de enzimas, vitaminas, hormonas y ácidos nucleicos y componente de la molécula de clorofila. Además, es esencial en la utilización de los carbohidratos y estimula el crecimiento y desarrollo radicular (Benimeli, 2019).

4.10 Deficiencia del Nitrógeno.

Una deficiencia de nitrógeno se manifiesta por medio de clorosis, es decir, un amarillamiento de las hojas. Esta aparece primero en las más viejas y a medida que se incrementa, afecta a las más jóvenes, ya que las plantas son capaces de movilizar el nitrógeno existente en las hojas viejas a las hacia las más jóvenes y a los puntos de crecimiento. En casos de deficiencias extremas puede haber una detención del crecimiento y caída de hojas, además de que la planta es más propensa a padecer enfermedades y ataques de insectos (Fernanda-Habit, 2020).

Figura 2.

Clorosis uniforme causada por la deficiencia de nitrógeno en la planta de café.



Fuente: Fernanda-Habit, 2020.

Las plantas deficientes en nitrógeno exhiben un crecimiento pobre. Las hojas más viejas se vuelven de un color verde pálido y más pequeñas, como resultado del contenido reducido de clorofila. En una etapa más avanzada de la deficiencia, toda la planta se vuelve amarilla y las hojas se caen. En algunas especies de plantas los tallos pueden volverse púrpuras (Cropaia, 2019).

4.11 Importancia del Nitrógeno en Suelo para el Cultivo del Café.

El nitrógeno forma parte de las proteínas, clorofilas, alcaloides, etc., es importante en la relación C/N por su acción en la duración del periodo vegetativo. Es muy móvil dentro de la planta y se absorbe como nitrato o amonio. Constituye entre 1 a 5 % de la materia seca en general (Valencia, 2011).

Según Aprile (2017), Para que una planta de café produzca 100 libras de café verde (1 quintal) tiene que extraer del suelo aproximadamente 1.45 kg de nitrógeno, 0.28 kg de fósforo y 1.74 kg de potasio. La planta necesita muchos más nutrientes del suelo para soportar el crecimiento y el mantenimiento general de la planta, y para ser más tolerante a las enfermedades, plagas y cambios moderados del clima. Una planta de café es como una persona, si se nutre apropiadamente prospera.

4.12 Absorción de Nitrógeno por la Planta.

Las plantas absorben nitrógeno principalmente como amonio y nitrato. Una mezcla de ambas formas suele ser beneficiosa. Estas dos formas de nitrógeno difieren en su metabolismo en la planta, en el cual se convierten en aminoácidos. El amonio se metaboliza en las raíces y requiere más oxígeno, mientras que el metabolismo del nitrato tiene lugar en las hojas. Además, la absorción de amonio y nitrato afecta de manera diferente el entorno de las raíces y la absorción de otros nutrientes. Por ejemplo, los cloruros compiten con el nitrato por la absorción por las plantas, debido a que ambos llevan una carga negativa. De la misma manera, el potasio y otros nutrientes cargados positivamente compiten con el amonio (Cropaia, 2019).

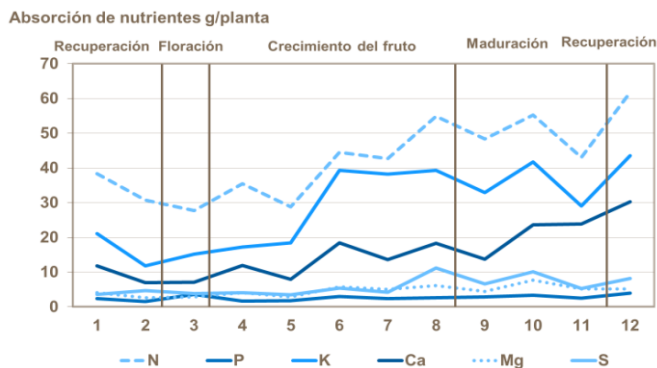
El nitrógeno se transporta desde la raíz hasta el brote a través del xilema en forma de nitrato, amoníaco disuelto y aminoácidos. Generalmente (pero no siempre), la mayor parte de la reducción de nitrato se lleva a cabo en los brotes, mientras que las raíces reducen solo una pequeña fracción del nitrato absorbido a amoníaco (Sorgoná, 2011).

4.13 Curvas de Absorción de Nitrógeno en la Fase de Crecimiento del Café.

Las curvas de absorción de nutrientes permiten conocer la dinámica de absorción de los diferentes nutrientes durante el ciclo del cultivo y su relación con las diferentes etapas fenológicas, esta información es valiosa para diseñar estrategias de manejo de la nutrición del cultivo, estas curvas constituyen una herramienta para estimar de manera directa las necesidades nutricionales de un cultivo, ya que definen las cantidades de nutrimentos necesarias y los momentos más

adecuados de aplicación. Esta herramienta justifica cuantitativamente la validez de un programa de fertilización (Bertsch, 2009).

Figura 3.
Curva de Absorción de nutrientes g/planta



Fuente: Bertsch, (2009).

4.14 Fuentes de Nitrógeno.

En la naturaleza existen dos fuentes principales de reserva de N para las plantas. La mayor es la atmósfera, en la cual el 78% del aire es N. Este N se encuentra en forma molecular (N_2), aunque también existen otras formas gaseosas de N de mucha menor importancia cuantitativa: óxido nitroso (N_2O), óxido nítrico (NO), dióxido de nitrógeno (NO_2) y amoníaco (NH_3). La otra reserva importante de N es la materia orgánica del suelo (MO). Del total del N que hay en el suelo, aproximadamente el 98% se encuentra formando compuestos orgánicos. Dependiendo de su contenido de materia orgánica, los primeros 20 centímetros de profundidad de un suelo pueden contener entre 1.000 y 10.000 kg. de N por hectárea. Estas formas orgánicas incluyen proteínas, aminoácidos y azúcares aminados (Perdomo-Barbazán, 2014).

En el mercado existen también mezclas de urea y nitrato de amonio, que son soluciones de N no presurizadas, conocidas como soluciones UAN. Estas mezclas pueden contener desde 30 a 35% de urea, y desde 40 a 43% de $NH_4H_2 PO_4$, más agua, siendo el % total de N de 28 a 32%. Cada solución tiene una temperatura de cristalización específica, lo cual determina las condiciones de almacenamiento y el momento del año para aplicarlas. Estas soluciones presentan algunas ventajas:

- ✓ Son fáciles de manipular y aplicar;
- ✓ Pueden aplicarse más uniformemente que los fertilizantes sólidos;
- ✓ Algunos pesticidas son compatibles con estas soluciones por lo que pueden ser aplicados conjuntamente.

La cantidad de N a aplicar se calcula a partir de la densidad del fertilizante líquido. En general estas mezclas se utilizan en producciones muy intensivas. Las fuentes de nitrógeno aplicadas en la agricultura incluyen tanto los fertilizantes minerales como los fertilizantes orgánicos (Cita)

4.14.1 Fuentes de Nitrógeno Orgánico.

Los fertilizantes orgánicos nitrogenados incluyen estiércol, compost y otros productos orgánicos, tales como harina de sangre, harina de huesos y algas marinas.

El estiércol es una materia orgánica derivada de las heces animales. Por ejemplo, el guano está hecho de excrementos de aves marinas y murciélagos. Un contenido típico de nitrógeno en el guano es aproximadamente 10-16% N. El compost es una materia orgánica descompuesta, que puede incluir plantas, estiércol, cáscaras de huevo, etc. Es más estable que el estiércol, libera nitrógeno y otros nutrientes más lentamente con el tiempo, mejora la estructura del suelo y puede eliminar las plagas y enfermedades de las plantas (Cropaia, 2019).

4.14.2 Fuentes de Nitrógeno Mineral.

Los fertilizantes minerales nitrogenados contienen una alta concentración de nitrógeno disponible en forma de amonio, nitrato y urea. El fertilizante puede contener una o todas estas formas. El fertilizante puede contener sólo nitrógeno o nitrógeno en combinación con otros nutrientes, como potasio, calcio, sulfato y fosfato. La mejor fuente de nitrógeno para un cultivo dependerá de varios factores, como las propiedades del suelo, la temperatura y la etapa de crecimiento del cultivo (Cropaia, 2019). La urea es un fertilizante de reacción ácida, recomendado para suelos neutros a ligeramente alcalinos, y para el riego incrementa la salinidad del agua, pero produce un intenso cambio de pH; inicialmente aumenta y luego, baja, por eso no es recomendable en suelos calcáreos, además que debe incorporarse al suelo rápidamente después de aplicada superficialmente. El sulfato de amonio es un fertilizante químico que cubre las necesidades de nitrógeno de las plantas y que además facilita la absorción de otros nutrientes como el fósforo y potasio gracias al azufre de rápida asimilación que contiene, permitiendo así el correcto crecimiento de las plantas. Está compuesto por amonio y azufre a modo de sulfato, el cual tiene un pH ácido, de modo que es aconsejable aplicarlo en suelos calizos y arcillosos para mejorarlos.

4.15 Investigaciones Realizadas en el Café con el Nitrógeno.

Cuando el café se cultiva en condiciones densas con pleno sol, las plantas necesitan muchos nutrientes. Los requisitos de fertilizantes son más bajos en la etapa inmadura, generalmente los

dos primeros años de la cosecha. Nitrógeno y potasio son necesarios en la misma cantidad. La absorción de ambos está entre 150 y 250 kg.ha⁻¹ en plantas maduras. El nitrógeno es esencial para el crecimiento de las plantas y los altos rendimientos del café. La ingesta ocurre durante el desarrollo temprano de la hoja y la floración. El suministro de nitrógeno debe mantenerse durante toda la temporada, pero el exceso de nitrógeno más adelante en el ciclo puede reducir el tamaño del grano (Yara Ecuador, 2018).

Anacafé (2019), Uno de los pilares importantes para lograr mantener una producción estable y mejorar el vigor y desarrollo de las plantas es la fertilización, la cual se divide en dos actividades, una es la fertilización del suelo. La fertilización del suelo y la fertilización foliar se complementan entre sí. Una planta de café necesita varios elementos en la etapa de producción para mantener una producción estable, siendo el más importante el pleno desarrollo de su etapa fenológica; durante el ciclo de cosecha, la planta debe pasar por las etapas de floración, bandolas (brotes laterales), tallo principal, crecimiento de hojas y raíces, crecimiento de frutos y maduración. Recomienda una aplicación entre 175-250 kg.ha⁻¹ de N en los cultivos de café, debido a que las plantas de café para su desarrollo y producción requieren de satisfacer sus necesidades nutricionales.

Los agricultores suelen olvidar que deben garantizar que los cafetos se nutran con una gestión adecuada del suelo inmediatamente después de la cosecha. Particularmente importante es que las plantas reciban suficiente nitrógeno y potasio para garantizar que se reemplace la biomasa cosechada (tejido vegetal y hojas) durante la producción y cosecha (Aprile, (2017).

Fertilab (2018), El Nitrógeno es un nutrimento indispensable para la producción de café, ya que participa en el desarrollo vegetativo y les confiere el color verde a las plantas de café. Asimismo, este nutrimento forma parte de la clorofila y a diferencia de cultivos anuales, donde el requerimiento de N se determina mediante su rendimiento por hectárea, en perennes como es el caso del café, se considera el rendimiento y la edad de las plantas establecidas en el terreno. La utilización de estas variables (rendimiento y edad de cultivo) determinan con mayor precisión la dosis de N requerida por el cultivo para adicionarse mediante la fertilización nitrogenada. En el primer año del cultivo de café, se sugiere aplicar una dosis de 60 kg.ha⁻¹ de nitrógeno, al segundo año deben adicionarse 125 kg.ha⁻¹ de nitrógeno, y a partir del tercer año, se aplica el N restante, es decir, 250 kg.ha⁻¹ de nitrógeno. Estas dosis deben ajustarse de acuerdo con el resultado de un análisis de suelo.

Todos los fertilizantes químicos tienen una acción acidificante sobre el suelo y la mayoría de cultivos se desarrollan en suelos con pH entre 5,5 y 6,5. Si el valor del pH alcanza valores inferiores a 5 por efecto de la acción acidificante de los fertilizantes, los elementos nutrientes no van a estar disponibles para que las plantas los absorban (Posada, 2019).

Una de las alternativas para mejorar el rendimiento del cultivo de café es el uso de microorganismos fijadores de nitrógeno en conjunto a programas de fertilización química, siendo importante su aplicación para lograr mejores beneficios económicos, reduciendo los costos de producción. Estos microorganismos cuando son aplicados en el suelo presentan efectos sinérgicos rápidos, consumen poca energía y no contaminan el medio ambiente. Su uso representa una importante alternativa para limitar el uso de abonos químicos, menos rentables económicamente, a la vez que reduce su negativo impacto ambiental y mejora la productividad de los cultivos (Santana, 2014).

4.16 Relación de Cationes Ideal para el Café.

Ante condiciones de acidez ($\text{pH} < 5,5$), el exceso de aluminio afecta el crecimiento normal de las raíces; circunstancia que reduce la absorción de los nutrientes y el desarrollo de la parte aérea de la planta. La acidez del suelo afecta el crecimiento del café en todas las etapas del cultivo. Cuando el suelo es ácido para café ($\text{pH} < 5,0$), la planta crece menos; lo mismo ocurre si la reacción del suelo se torna más alcalina (pH mayor de 5,5). Ejemplos de lo anterior se muestran para la etapa de almácigo y en el establecimiento de los cafetales (Cenicafé, 2016).

Figura 4.

Coloide orgánico-mineral, suelo ácido para el café y suelo con acidez adecuada para el café.



Fuente: Cenicafé, 2016.

Cuando las raíces del café se desarrollan en suelos sin problemas de acidez, su crecimiento es mayor, son más eficientes en la absorción de agua y nutrientes y, por lo tanto, las plantas son más productivas.

La dinámica de la CIC en los suelos está influenciada por el pH y el contenido de Materia Orgánica. La mayoría de los suelos presentan niveles altos de K, Ca y Mg. Bajo contenido de P y B se detectaron en el 50 y 84% de los suelos respectivamente. En cuanto a las relaciones catiónicas los excesos de Ca, podrían estar limitando la absorción de K y Mg y los excesos de Mn en el suelo podrían estar asociados a problemas fisiológicos para absorberlo y almacenarlo (López Báez et al., 2017).

4.17 Determinación de Nutrientes en la Biomasa Foliar.

El análisis foliar asume que la parte de la planta muestreada (generalmente la hoja) es el órgano que refleja el estado nutricional de la planta. Además, asume que existe una relación estrecha y directa entre el suplemento de nutrientes (suelo y/o fertilizantes) y el rendimiento, entre el suplemento de nutrientes y la concentración de elementos en las hojas y entre la concentración en las hojas y el rendimiento. El resultado de los análisis foliares puede utilizarse teniendo en cuenta varios objetivos. El más frecuente de estos objetivos es la verificación de los síntomas de deficiencia de nutrientes. Sin embargo, el uso más importante de los resultados del análisis foliar es el de determinar si el nivel de fertilidad del suelo es suficiente para cubrir las necesidades del cultivo. Este último objetivo, a pesar de ser el más importante, es el menos entendido y utilizado (Inpofos, 1994).

Las instrucciones para muestreo foliar, en términos de localización de la parte de la planta a muestrearse, así como del estado de crecimiento del cultivo, son muy específicas ya que los resultados del análisis deben ser comparados con niveles críticos o rangos de suficiencia que han sido previamente establecidos por investigación y que sirven para interpretar el análisis. Por esta razón, cualquier análisis hecho en parte diferente de la planta con respecto al estándar publicado o a diferente etapa de crecimiento del cultivo de la especificada, no puede interpretarse utilizando los niveles críticos establecidos (Inpofos, 1994).

Tabla 2.*Rangos críticos de nutrientes (Cenicafe,2020).*

Nutriente	Rango Critico (%)	Nutriente	Rango Critico (mg.kg-1)
N	2,36-2,78	Mn	106-278
P	0,14-0,20	Fe	54-121
K	1,58-2,15	B	29-55
Ca	0,75-1,29	Cu	8---17
Mg	0,18-0,45	Zn	6---12
S	0,15-0,19		

4.17.1 Interpretación de los Resultados.

Al inicio de un programa de interpretación del análisis foliar se busca el interpretar los resultados con valores simples como la concentración crítica o concentración estándar. Cuando se tiene suficiente experiencia es preferible interpretar los resultados dentro de un juego de datos que definen un rango completo de concentraciones, desde la deficiencia hasta el exceso. Estos datos interpretativos se pueden obtener de curvas de respuesta como la que se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3.*Rangos de concentración foliar de nutrientes en café propuesto en varios países.*

Nutriente	Nivel	Colombia	Costa Rica	Brasil
N	Bajo	2.0-2.5	2.0-2.3	2.0-2.5
	Medio	2.5-3.0	2.3-2.8	2.6-3.0
	Alto	> 3.0	> 2.8	> 3.0
P	Bajo	< 0.11	0.09-0.12	0.05-0.1
	Medio	0.11-0.15	0.12-0.2	0.11-0.15
	Alto	1.5-1.8	> 0.2	> 0.15
K	Bajo	1.1-1.5	1.0-1.7	1.5-2.0
	Medio	1.5-1.8	1.7-2.7	2.1-2.5
	Alto	> 1.8	> 2.7	> 2.5
Ca	Bajo	< 0.7	< 0.8	1.0-1.2
	Medio	0.7-1.3	0.8-1.1	1.2-1.5
	Alto	> 1.3	> 1.1	> 1.5
Mg	Bajo	< 0.16	0.1-0.2	0.1-0.2
	Medio	0.16-0.35	0.2-0.35	0.2-0.4
	Alto	> 0.35	> 0.35	> 0.4

Fuente: Impofos, 1994.

4.17.2 Utilización de los Análisis Foliares.

La mayoría de los agricultores y técnicos utilizan el análisis foliar principalmente como una herramienta de diagnóstico que les permite determinar que elemento(s) se encuentra por debajo o por encima de la concentración óptima para el crecimiento normal del cultivo. La interpretación se inicia estableciendo si el nivel de nutrientes es suficiente o no. El siguiente paso consiste en determinar porque existe la insuficiencia y especificar de qué forma corregirla. Finalmente determina como prevenir que la insuficiencia aparezca en el siguiente cultivo (Inpofos, 1994).

5. Materiales y Métodos.

5.1 Área de estudio.

5.1.1 Ubicación geográfica.

El presente proyecto se llevó a cabo en la Universidad Nacional de Loja, sector Los Molinos, a 5 km al sur de la ciudad de Loja, parroquia Punzará, cantón y provincia de Loja al sur del centro de la ciudad de Loja. El proyecto establecido se encuentra en la Estación Experimental “La Argelia”, en las siguientes coordenadas planas:

9553394 m Este; 699785 m Norte; Altitud: 2130 m.s.n.m.

Figura 5.

Mapa de ubicación del campo experimental, provincia de Loja, barrio La Argelia, parroquia San Sebastián.



Fuente: unl.edu.ec

Figura 6.

Ubicación del experimento, sector “Los Molinos de la Estación Experimental La Argelia”.



5.1.2 Ubicación ecológica.

La Estación Experimental “La Argelia”, está compuesta principalmente por Bosque Seco natural, un ecosistema vulnerable en la región.

La estación meteorológica “La Argelia”, que influye en la zona de estudio permitió tener información climática; en un período de 29 años (1990 - 2019), con una precipitación anual de 1084. mm año⁻¹, siendo los meses de menor precipitación Julio – Agosto - Septiembre (54 - 43 - 39 mm mes⁻¹), temperatura media anual de 17 °C, temperatura máxima de 28 °C, temperatura mínima 3°C, humedad relativa máxima de 80 %, humedad relativa mínima de 72 %, humedad relativa media 76%, evapotranspiración de 2,4 mm.mes⁻¹ y una velocidad del viento media 2,1 km/h (INERHI, 2004).

5.2 Materiales:

5.2.1 Materiales de Campo.

- Machete.
- Lápiz y libreta de apuntes.
- Fertilizantes, Urea (46% de pureza), Fosfato diatómico (18-46-0), Superfosfato Triple (46%P₂O₅), Bórax, Sulfato de Zinc, Sulfato de Mg, Fungicida Revelación (contra Roya del café), Nutralift Complex (fertilizante foliar).
- Cinta métrica, flexómetro.
- Bomba manual de 20 l.

- Lampa.
- Balanza de precisión.
- Fundas de papel y plástico.
- Motoguadaña.

5.2.2 *Materiales de oficina.*

- Computadora.
- Impresora.
- Papel.
- Escritorio.

5.3 Metodología:

5.3.1 *Diseño experimental.*

El diseño experimental utilizado es el denominado por bloques completamente al azar, para reducir y controlar la varianza del error experimental, obteniendo mayor precisión.

Se emplearon cuatro repeticiones (Tabla 4).

El modelo estadístico para este diseño es:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + E_{ij}$$

Donde:

μ = media general.

T_i = efecto del i-ésimo tratamiento.

β_j = efecto del j-ésimo bloque.

E_{ij} = error experimental en la unidad j del tratamiento i.

El experimento cuenta ya con un total de 384 plantas de café distribuidas en cada uno del tratamiento con 24 plantas de cuatro repeticiones cada uno como se observa en el Anexo 1.

Tabla 4.

Dosificación del Nitrógeno en los diferentes tratamientos para su estudio.

Testigo (Tratamiento 1)	0 N (P,K,Mg,Zn, y B) Kg ha ⁻¹
Tratamiento 2	150 N (P,K,Mg,Zn, y B) Kg ha ⁻¹
Tratamiento 3	200 N (P,K,Mg,Zn, y B) Kg ha ⁻¹
Tratamiento 4	250 N (P,K,Mg,Zn, y B) Kg ha ⁻¹

Fuente: Macas, 2020

5.3.2 Metodología para el primer objetivo.

Evaluar la respuesta del cultivo del café a las diferentes dosis de nitrógeno en la etapa inicial del cultivo del café.

Los árboles alisos sembrados a (5x10 m), proporcionan sombra temporal y permanente conforme a su desarrollo vegetativo, en la cual se verá beneficiado el cultivo de café, en el sitio del experimento, con base al levantamiento topográfico, se realizó el control de las parcelas, para posteriormente seguir con la fertilización del cultivo de café, donde se aplicó las dosis de N de acuerdo a cada uno de los tratamientos.

Para cumplir con el objetivo, se realizó una fertilización la cual consistió en la aplicación combinada de, K, Mg, Zn y S, además de N, el cual se obtuvo mediante la Urea y cuyas dosis para cada planta y las fuentes de estos elementos se detallan en la Tabla 5, así mismo la distribución y fertilización se detallan en el anexo 3, 4 y 5.

Tabla 5.

Resumen de las dosis de elementos aplicados por planta y fuentes utilizadas.

RESUMEN DE FERTILIZACION POR PLANTA.				
PRIMERA APLICACIÓN				
	Urea	0-46-0	K ₂ SO ₄	Sulfato de magnesio heptahidratado
g/planta				
T1	0.0	0.0	11.9	62.1
T2	8.4	0.0	11.9	62.1
T3	11.2	0.0	11.9	62.1
T4	14.1	0.0	11.9	62.1
TOTAL	33.7	0.0	47.6	248.4
SEGUNDA APLICACIÓN				
	Urea	0-46-0	K ₂ SO ₄	Sulfato de magnesio heptahidratado
g/planta				
T1	0.0	0.0	8.3	32.6
T2	8.4	0.0	8.3	32.6
T3	11.2	0.0	8.3	32.6
T4	14.1	0.0	8.3	32.6
TOTAL	33.7	0.0	33.3	130.4
TERCERA APLICACIÓN.				
	Urea	0-46-0	K ₂ SO ₄	Sulfato de magnesio heptahidratado

	g/planta			
T1	0.0	0.0	8.3	32.6
T2	9.8	0.0	8.3	32.6
T3	13.1	0.0	8.3	32.6
T4	16.4	0.0	8.3	32.6
TOTAL	39.4	0.0	33.3	130.4

Nota: En los anexos 3,4 y 5 se observa más a detalle las dosis.

Se midieron los parámetros de altura, número de hojas y biomasa del cultivo, con una cinta métrica o un flexómetro, en un intervalo de 2 meses hasta los 6 meses. El procesamiento y análisis de datos (variables de altura total, biomasa y la evolución de las condiciones químicas en las hojas), se realizó la prueba de Tukey para las variables estadísticamente significativas, utilizando el software InfoStat con un nivel de significancia de 0.05 (Di Rienzo et al., 2008).

5.3.3 Metodología para el segundo objetivo.

Determinar la cantidad de nitrógeno en la biomasa de las plantas.

En base al INIAP (2019), se debe tomar en cuenta el tiempo que lleva el cultivo, el muestreo se lo realizó previo a la fertilización agendada a la presente fecha, se identificaron los tratamientos seleccionados para este muestreo, asegurándose que no hayan aplicado fuentes foliares 30 días previo al muestreo.

Para poder comprobar los resultados del análisis con los de años sucesivos, lo ideal es que las muestras se tomen de los mismos árboles siendo por tanto recomendable tenerlos identificados, dichos árboles se seleccionaron de manera aleatoria, seleccionando los árboles ubicados en el centro de los tratamientos, tal como se muestra en el anexo 2.

El muestreo foliar se efectuó en los mismos tratamientos donde tomó la muestra de suelo, eligiendo las hojas de la parte media del árbol que se encuentren sanas. A continuación, se detalla el procedimiento para la realización del muestreo:

- Se recolectó 100 g de hojas sanas por tratamiento.
- Las hojas recolectadas se depositaron en una bolsa de papel limpia, procurando que queden ordenadas, para evitar daños mecánicos y quemaduras de sol.
- Cada bolsa se identificó con una etiqueta, la cual se amarra en la parte superior o se coloca dentro de la bolsa. Identificando: Nombre de la finca, propietario, lote o tablón, tercer par de hojas muestreadas y fecha de muestreo como se muestra en el anexo 29.

- Las muestras se entregaron en 24 horas en el laboratorio; si esto no es posible se guardan en la parte baja del refrigerador o en un lugar fresco libre de contaminantes.

Recepción de muestras.

Finalizado el proceso de muestreo fueron llevadas al INIAP, para su respectivo análisis foliar de todos los elementos, para determinar la influencia de las dosis aplicadas de nitrógeno en los otros elementos.

6. Resultados.

6.1 Resultados del Primer Objetivo.

6.1.1 Valores de las Variables Dasométricas.

Los datos que se muestran en la tabla 6, están contados a partir de los 365 días de la plantación del proyecto de investigación realizado previamente por Macas 2019.

Tabla 6.

Valores de altura de planta, numero de ramas y hojas en los tratamientos (0,150,200,250 kg.ha⁻¹) de N.

Altura de planta (cm)							
Tratamiento	Días				Evaluación estadística		
	0 (365)	60 (425)	120 (485)	180 (545)	Incremento (cm)	Dif vs T0	%
T1	44,00 C	46,00 C	51,00 C	53,00 C	9,00	0,00	0,00
T2	45,00 B	48,00 B	55,00 B	57,00 B	12,00	3,00	33,00
T3	46,00 B	49,00 B	56,00 B	59,00 B	13,00	4,00	44,00
T4	52,00 A	55,00 A	62,00 A	71,00 A	19,00	10,00	111,00

Numero de Ramas							
Tratamiento	Días				Evaluación estadística		
	0 (365)	60 (425)	120 (485)	180 (545)	Incremento (cm)	Dif vs T0	%
T1	7,00 B	7,00 C	8,00 C	9,00 C	2,20	0,00	0,00
T2	7,00 B	7,00 C	9,00 C	10,00 B	2,90	0,70	32,00
T3	7,00 B	8,00 B	10,00 B	11,00 B	3,70	1,50	67,00
T4	8,00 A	9,00 A	11,00 A	12,00 A	4,00	1,80	82,00

Numero de Hojas							
Tratamiento	Días				Evaluación estadística		
	0 (365)	60 (425)	120 (485)	180 (545)	Incremento (cm)	Dif vs T0	%
T1	5,00 B	6,00 B	7,00 B	9,00 B	4,10	0,00	0,00
T2	6,00 B	6,00B	8,00 B	10,00 B	4,20	0,10	2,00
T3	6,00 B	7,00 B	9,00 B	11,00 B	4,90	0,90	21,00
T4	6,00 A	8,00 A	10,00A	12,00 A	5,80	1,70	43 ,00

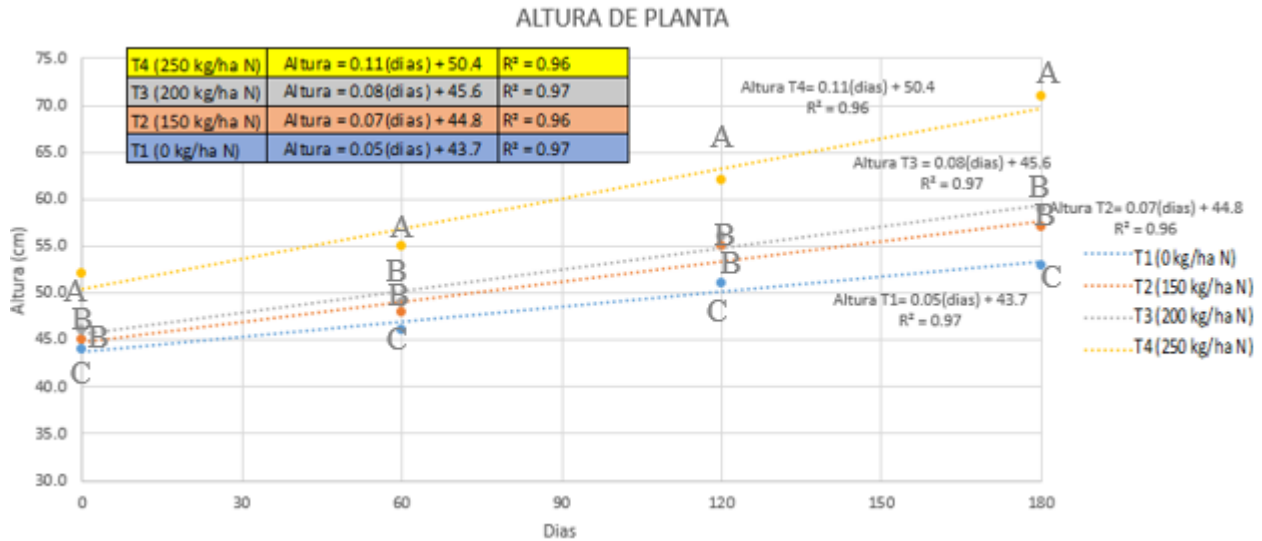
En la tabla 6 se presentan los valores de altura de planta, número de hojas y número de ramas, en donde el tratamiento 4 tuvo un crecimiento del 111% en la altura de planta en comparación con el tratamiento 1.

6.1.2 Altura de plantas.

En la Figura 7 se presenta la regresión lineal de la altura de planta, todas presentan una pendiente positiva.

Figura 7.

Regresión lineal para altura de plantas.



Elaboración: Autor

Tabla 7.

Análisis de regresión lineal para altura de café en sus diferentes tratamientos.

Tratamiento	Ecuación	Coefficiente de determinación
T4 (250 kg/ha N)	Altura = 0,11(días) + 50,4	$R^2 = 0,96$
T3 (200 kg/ha N)	Altura = 0,08(días) + 45,6	$R^2 = 0,97$
T2 (150 kg/ha N)	Altura = 0,07(días) + 44,8	$R^2 = 0,96$
T1 (0 kg/ha N)	Altura = 0,05(días) + 43,7	$R^2 = 0,97$

Elaboración: Autor

Empezando con 52 cm en el tratamiento 4, medida tomada en el reconocimiento de la zona de estudio, se tiene un incremento de 0.11 cm por día, dependiendo 96 % del tiempo, teniendo un crecimiento de 19 cm hasta los 180 días de realizada la toma de datos. Comparando con el tratamiento 1, con 44 cm de medida inicial, tuvo un incremento de 0.05 cm.día⁻¹, con un 97% de dependencia del tiempo, teniendo un crecimiento de 9 cm hasta los 180 días de medición.

Para la tabulación de datos del diámetro basal, se comparó con la última medición realizada en el proyecto anterior realizado por el ingeniero Kevin Macas, siendo la última medición de este a los 210 días del cultivo, y posteriormente a los 90 y 180 días del presente proyecto, equivalente a 455 y 545 días del cultivo respectivamente.

Tabla 8.
Cuadro del diámetro basal.

	Diámetro de la planta					
	<i>Días</i>			<i>Evaluación estadística</i>		
	210	90 (455)	180 (545)	Incremento	Dif vs T0	%
Tra_1	0.73 A	1.2 A	1.8A	1.1	0.90	0
Trat_2	0.75 A	1.5 A	2. 1B	1.4	0.28	26
Tra_3	0.75A	1.5 A	2.2B	1.5	0.38	36
Trat_4	0.83A	1.7 A	2.8 B	2	0.90	84

El diámetro basal fue medido en el tallo a 3 cm del suelo, utilizando tres mediciones, tomando como inicio la última medición del proyecto anterior que fue a los 7 meses y dos mediciones una a los 18 meses y a los 23 meses en donde el tratamiento 1 testigo presentó un crecimiento de 0.95 cm y entre los tratamientos en cuales se aplicaron N, el tratamiento 4 presentó un crecimiento de 1.9 cm, siendo el que más destacó, y en comparación con el tratamiento 1 testigo, presentó un crecimiento de 0.63 cm, teniendo un porcentaje de crecimiento del 66 %.

6.1.3 Numero de Ramas.

En la figura 8 se presenta la regresión lineal de la altura de planta, todas presentan una pendiente positiva.

Figura 8.

Regresión lineal de número de ramas en los cafetos en los diferentes tratamientos

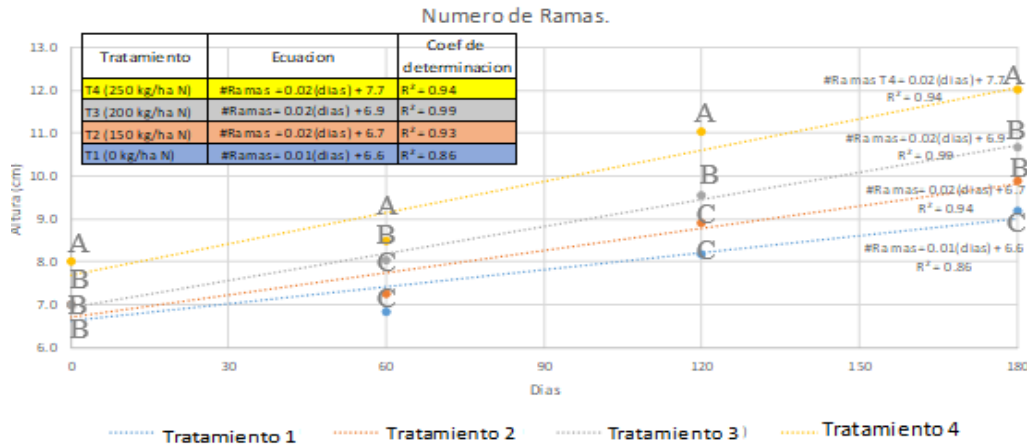


Tabla 9.

Diámetro de copa.

Diámetro de copa (cm)	
T1	33.3
T2	47.9
T3	64.8
T4	78.8

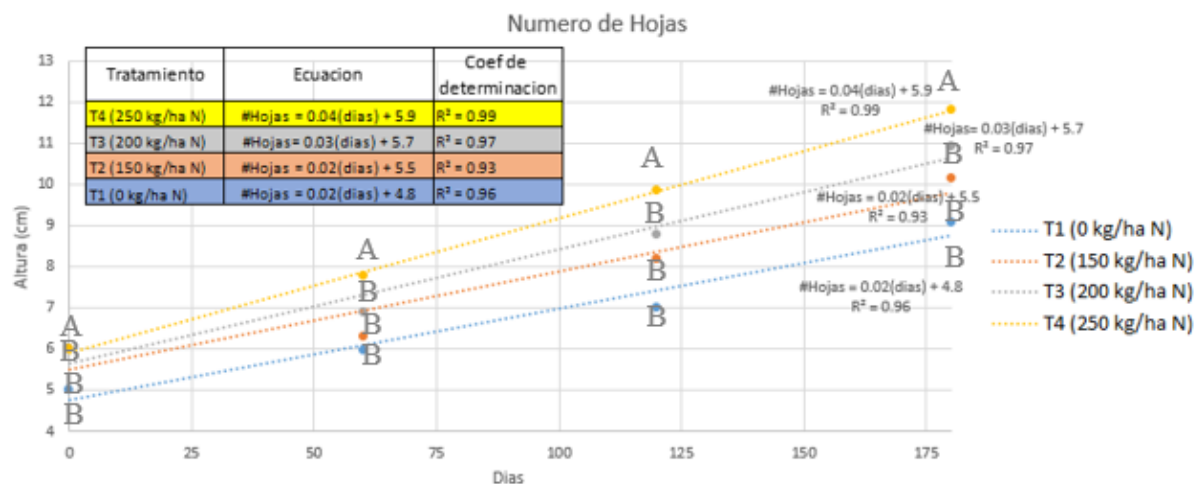
El número de ramas tuvo similitudes al comparar los números de rama por cada tratamiento, por lo que, para obtener un resultado concreto y observar la evolución se procedió a analizar las ramas en base al diámetro de copa (Tabla 9), encontrándose diferencias significativas, sobresaliendo el tratamiento con 250 kg. ha⁻¹ de N con 78.8 cm, en comparación con el tratamiento 1 testigo. Esta medición se la realizo a los 180 días del proyecto equivalente a 545 días del cultivo.

6.1.4 Numero de Hojas.

En la figura 9 se presenta la regresión lineal de la altura de planta promedio de todos los tratamientos, todas presentan una pendiente positiva

Figura 9.

Regresión lineal del número de hojas de los cafetos en los diferentes tratamientos.



El número de hojas, se encontró diferencias significativas entre el tratamiento testigo que presenta un crecimiento por hoja de 0.02 por día, a diferencia del tratamiento 4 que tiene un crecimiento de 0.04 por hoja.

6.2 Resultados del segundo objetivo.

Tabla 10.

Porcentaje de nutrientes de los diferentes tratamientos a los 545 días.

Identificación de la muestra		TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3	TRATAMIENTO 4
N° muestra		22-0347	22-0348	22-0349	22-0350
N	(%)	2,06 (MB)	2,58 (N)	2,60 (N)	2,92 (N)
P	(%)	0,40 (MA)	0,23 (N)	0,24 (N)	0,22 (N)
K	(%)	2,28 (N)	1,76 (N)	1,76 (N)	1,61 (N)
Ca	(%)	0,95 (B)	0,91 (B)	1,10 (B)	0,96 (B)
Mg	(%)	0,21 (B)	0,22 (B)	0,24 (B)	0,23 (B)
S	(%)	0,30 (A)	0,25 (A)	0,22 (N)	0,25 (A)
MS*	(%)				
B	(ppm)	66,9 (N)	48,4 (B)	55,9 (N)	48,9 (B)
Zn	(ppm)	14,2 (B)	12,3 (B)	11,8 (B)	13,9 (B)
Cu	(ppm)	27,7 (A)	17,4 (A)	19,0 (A)	16,8 (A)
Fe	(ppm)	216,8 (A)	164,6 (A)	343,2 (MA)	167,7 (A)
Mn	(ppm)	247,7 (A)	337,5 (A)	437,5 (A)	504,4 (MA)

Interpretación: MB= muy bajo, B= bajo, N=normal, A=alto, MA= muy alto

Debido a la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno en los tratamientos, de manera secuencial va aumentando el porcentaje de nitrógeno a medida que aumenta la dosis de nitrógeno

en la fertilización. El tratamiento 1 presenta un nivel de nitrógeno bajo debido a que no se aplicó ninguna fuente de nitrógeno en este tratamiento testigo, y en el tratamiento 4 se observa un porcentaje de nitrógeno de 2.92, siendo el más alto entre todos los tratamientos. Nutrientes como Ca, Mg, y Zn se encuentran en rangos bajos y en cuanto al P, K, S, B, Zn, se encuentran en rangos normales, y Cu, Fe, Mn están en rangos altos.

7. Discusión.

7.1 Evolución de los Parámetros Dasométricos.

En la altura de planta el tratamiento 4 con una dosis de nitrógeno de 250 kg. ha⁻¹ presento una tasa de crecimiento mayor de 0.1 cm.día⁻¹, con un incremento de 10 cm mientras que el tratamiento 1 presento una tasa de crecimiento de 0.05 cm/día con un incremento de 9 cm. En el diámetro basal, el tratamiento con 250 kg ha⁻¹ N tuvo un incremento de 1,97 cm, creciendo 2,8 cm de diámetro en comparación al tratamiento con 1 kg ha⁻¹ N, teniendo un crecimiento leve de 1.07 cm.

Para el número de hojas y el número de ramas presento un crecimiento mayor de 0.024 cm.día⁻¹ con un incremento de 3 cm, y en cuanto al diámetro de copa el tratamiento con 250 kg ha⁻¹ presento un ancho de 78 cm, en comparación con el tratamiento con 0 kg ha⁻¹ N que tuvo una medida de 33,3 cm.

Ramírez (1999), en base a diversas investigaciones sugiere que la planta de café necesita aproximadamente entre 150 a 300 kg de nitrógeno (N), 50 a 70 kg de fósforo (P) y entre 100 a 200 kg de potasio (K) ha.año⁻¹ en inceptisoles y entisoles con textura franco arcillosa en los suelos donde se realizó la investigación. Valencia (1999) dice que, para tener aproximadamente un rendimiento de 5000 kg de café por hectárea, requiere de 228 N, 26 P₂O₅ y 250 K₂O Kg/ha/año así mismo en suelos inceptisoles. Yara Ecuador (2020), dice que los niveles de Nitrógeno y Potasio varían entre 150 a 250 kg. ha⁻¹, ratificando que el nitrógeno es esencial para el crecimiento vegetal del cultivo, donde su absorción principalmente ocurre en la fase inicial durante el desarrollo foliar y floración, pero esta aplicación de nitrógeno no debe aplicarse en fases tardías del ciclo, porque esto puede reducir el tamaño de la planta y del fruto, para este análisis Yara Ecuador generalizo la información en cuanto al tipo de suelo. Suarez (2016), destaca en su investigación realizada en los cafetales de Mayagüez, que la relación de la fórmula promedio es aproximadamente 15:9:13 (N: P₂O₅: K₂O) y la cantidad de aplicación debe ser aproximadamente 250 kg.ha⁻¹.año⁻¹ N, 125 kg.ha⁻¹.año⁻¹ P₂O₅ y 50 kg.ha⁻¹.año⁻¹ K₂O para densidades de siembra entre 3,000 y 4,000 plantas.ha⁻¹, pero para efectos de una aplicación real, se debe ajustar a la localidad de acuerdo con los ensayos respectivos. Montoya (2017) En su artículo “Estimación del área foliar en café variedad castillo a libre exposición y su relación con la producción”, en la Estación Experimental La Catalina de Cenicafé, ubicada en el municipio de Pereira, departamento de Risaralda – Colombia, con cafetos de entre 3 a 6 años tuvo un promedio de numero de hojas por rama de entre 12.2 a 13.2 teniendo

por consiguiente áreas foliares de 4.5 m² a 5.8 m², donde la relación entre la producción de café cereza verde y el área foliar estimada del árbol indica que por cada 1 m² de área foliar la producción incrementa 2.4 g de café cereza verde (Cita).

Entre los 4 tratamientos, el que tuvo mayor eficiencia es el tratamiento 4, que se le aplicó 250 kg. ha⁻¹ de nitrógeno en el suelo del área de estudio que es franco arcillo limoso. El tratamiento presentó una mayor evolución en cuanto a altura, diámetro basal, número de hojas, ramas y anchura de copa, validando lo que Ramírez, Valencia y Yara Ecuador han citado en sus investigaciones, afirmando así mismo la hipótesis planteada, existiendo una relación directa entre la aplicación de nitrógeno y crecimiento/rendimiento del cultivo de café en las condiciones Edafoclimáticas de la ciudad de Loja, pese a ser suelos diferentes, los rangos de nitrógeno que citan los autores están englobando la cantidad de N ha⁻¹ que tuvo mejores resultados en este proyecto.

7.2 Análisis a Nivel Foliar.

La disponibilidad de N va aumentando en los diferentes tratamientos debido a la aplicación progresiva de nitrógeno en los tratamientos. El tratamiento 1 presenta un nivel de nitrógeno bajo de 2.06 % debido a que no se aplicó ninguna fuente de nitrógeno, el tratamiento 2 presentó 2.58 %, el tratamiento 3 de 2.60% y el tratamiento 4 presentó 2,92 % de N en las hojas. En una investigación realizada por CENICAFE en 2020 indica que los contenidos de N en las hojas tienden a mostrar mayormente síntomas de deficiencia cuando los niveles de nutrientes foliares se encuentran en los rangos críticos de concentración de nutrientes, esto en base a Dow y Roberts en 1982, debido a las interacciones entre planta, manejo y ambiente decidieron crear un rango crítico de nutriente. En el caso del nitrógeno, el rango crítico se maneja entre 2.36 hasta 2,78%. En comparación con todos los tratamientos, se ha evidenciado que el tratamiento 4 presenta mayor nivel de N en las hojas, debido a esto se demuestra que con la dosificación de N 250 kg. ha⁻¹ el porcentaje de nitrógeno en las hojas es alto, dentro del rango normal. El tratamiento 2 y 3 también presentan rangos normales pero menores al tratamiento 4.

Suarez (2016), indica que la deficiencia de calcio y magnesio en las hojas se puede apreciar ya que presentan un color verde pálido en el borde. En almácigos, la deficiencia de calcio se manifiesta por un amarillamiento general de las hojas y una muerte descendente desde los puntos terminales de las hojas, así como defoliación profusa, ya que juega un papel importante en la formación de estructuras constituidas por lípidos y en la formación de membranas y pared celulares. Así mismo, la deficiencia de magnesio produce manchas amarillentas o cloróticas entre

las nervaduras de las hojas viejas, conservando el color verde las nervaduras principales. El amarillento avanza desde la base de la hoja hasta la punta. En ramas con frutos maduros, se caen las hojas más viejas (Cita)

Castro (2017), relaciona que los nutrientes del suelo están de cierta manera asociados a los nutrientes foliares, dado que en su investigación en la aplicación de fertilizantes para cultivo de café en suelos ultisoles, los nutrientes aplicados al suelo aumentaban los disponibles en las hojas, específicamente de K, Zn, Ca, Mg.

Con la fertilización edáfica aplicada (N: 150, 200, 250 kg.ha⁻¹.año⁻¹; P: 137.4 kg.ha⁻¹.año⁻¹; K: 120 kg.ha⁻¹.año⁻¹; Mg: 198.73 kg.ha⁻¹.año⁻¹; Zn: 3 kg.ha⁻¹.año⁻¹ S: 25 kg.ha⁻¹ y B: 5 kg.ha⁻¹.año⁻¹), los elementos N, P, K, S, se encuentran en un nivel normal para el cultivo del café: P, S, Ca, Mg, Cu, Fe se mantienen en rango óptimo.

8. Conclusiones

- En la altura de plantas en el tratamiento con 250 kg. ha⁻¹ de Nitrógeno, hay un incremento del crecimiento del café en 19 cm, en comparación con las plantas testigos, además en el diámetro basal de las plantas del mismo tratamiento se presentó un crecimiento de 0.9 cm en comparación a las plantas testigo.
- En cuanto al número de ramas y hojas por rama, el tratamiento con 250 kg. ha⁻¹ de N, presento un incremento de 4 y 5.8 respectivamente, comparándolas con las plantas testigos, pero mostrando diferencias significativas en cuanto al ancho de copa, en donde el tratamiento 4 tuvo una diferencia de 46 cm, midiendo 79 cm de ancho, a comparación del tratamiento con 0 kg.ha⁻¹ que presento un ancho de 33 cm.
- En los macronutrientes, el N se encuentra en el rango normal en todos los tratamientos que recibieron las fuentes de nitrógeno excepto en el tratamiento 1. K y P se encuentran en un rango normal, el Ca, Mg, Zn y B se encuentra en un rango bajo, mientras que los micronutrientes, Cu, Fe, Mn, se encuentran en un rango Alto.
- En base a la evolución de los diferentes tratamientos, el aplicar 250 kg. ha⁻¹ de N garantiza un mejor resultado para el crecimiento del cultivo del café, con un crecimiento de 0.1 cm por día.

9. Recomendaciones

- La fertilización debe hacerse siguiendo la curva de absorción de nutrientes, para satisfacer las necesidades nutricionales del cultivo, además de mantener la precisión con las dosificaciones para garantizar la eficiencia.
- Mantener un buen drenaje, para evitar el encharcamiento de agua por lluvia y que las plantas de café se ahoguen.
- El control de malezas evita que los cafetos compitan por los nutrientes con la maleza.

10. Bibliografía

Agroalimentación. (2013). El cultivo del café. 1a parte. <https://www.infoagro.com/herbaceos/industriales/cafe.htm>.

Anacafé (2018). Guía Técnica de Caficultura. Guatemala: Asociación Nacional del Café Guatemala. 312p.

Anchundia, (2021). Importancia del nitrógeno para el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de café (*Coffea spp.*) en Ecuador. 19.

Aprile. (2017). Suelo cafetalero: La importancia de la salud del suelo. ASA. <https://asa.crs.org/2017/01/suelo-cafetalero-la-importancia-de-la-salud-del-suelo/>

Arcila (2007), Sistemas de producción Capítulo 2, de <https://www.cenicafe.org/es/documents/LibroSistemasProduccionCapitulo2.pdf>

Barva & Heredia. (2011), Guía Técnica V10, de <http://www.icafe.cr/wp-content/uploads/cicafe/documentos/GUIA-TECNICA-V10.pdf>

Benimeli, M. (2019). EL NITRÓGENO DEL SUELO. <file:///C:/Users/USER%20ADMIN/Desktop/noveno%20ciclo/tesis/El%20nitrogeno%20del%20suelo%202019.pdf>

Bertsch, F. (2009). Absorción de nutrimentos por los cultivos. <file:///C:/Users/USER%20ADMIN/Desktop/noveno%20ciclo/tesis/338818419-Absorcion-de-nutrimentos-por-los-cultivos-2009-pdf.pdf>

Cárdenas Navarro, R., Sanchez-Yañez, J., Farías-Rodríguez, R., & Peña Cabriales, J. (2004). Contribution of nitrogen to agriculture. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 10, 173-178. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2002.07.039>

CENICAFE (2012), EVALUACIÓN TEMPRANA DE LA DEFICIENCIA DEL NITRÓGENO EN CAFÉ Y APLICACIONES, de <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/405/1/avt0420.pdf>

Cenicafe (2016), Propiedades Físico Químicas para el cultivo de café, de <https://www.cenicafe.org/es/publications/AVT0466.pdf>

Cenicafe. (2008), Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia, de <https://www.cenicafe.org/es/publications/bot032.pdf>

Concafe. (2019,). Tipos de café en grano: Café Arábica y Café Robusta | conCAFÉ. <https://concafe.es/tipos-de-cafe-en-grano-cafe-arabica-y-cafe-robusta/>

Cropaia. (2019). NITROGENO EN LAS PLANTAS, extraído de <https://cropaia.com/es/blog/nitrogeno-en-las-plantas/>

Enríquez, G., & Duicela-Guambi, L. A. (2014). Guía técnica para la producción y poscosecha de café arábigo.

Fernanda-Habit. (2020), Importancia del nitrógeno en las plantas, de <https://www.agrovitra.com/wp/wp-content/uploads/2020/10/Importancia-del-Nitr%C3%B3geno-en-las-plantas-Fernanda-Habit.pdf>

Hoffman, E. M., Fassana, N. C., Mazzilli, S., Berger, A., & Ernst, O. (2016). La necesidad de incrementar la eficiencia de uso del nitrógeno en cereales de invierno. 6.

Intagri S.C. (2021), Disponibilidad de Nutrientes y el pH del Suelo, de <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/disponibilidad-de-nutrientes-y-el-ph-del-suelo>

IPNI, (1994), Análisis Foliar: Fundamentos y métodos de Evaluación, de [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/2391068D9611ACD085258013005436BC/\\$FILE/Art%201.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/2391068D9611ACD085258013005436BC/$FILE/Art%201.pdf)

López Báez, W., Castro Mendoza, I., Salinas Cruz, E., Reynoso Santos, R., & López Martínez, J. (2017). Propiedades de los suelos cafetaleros en la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(3), 607. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i3.320>

Montero,(2017), Manual de buenas prácticas de manejo en la FERTILIZACION NITROGENADA DEL CAFÉ, de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-1419.pdf>

Montoya, C. (2017). ESTIMACIÓN DEL ÁREA FOLIAR EN CAFÉ VARIEDAD CASTILLO

Perdomo-Barbazán, (s. f.), NITRÓGENO, de <http://www.fagro.edu.uy/fertilidad/publica/Tomo%20N.pdf>

Pineda. (2019). Ciclo del Nitrógeno. <https://encolombia.com/medio-ambiente/interes-a/ciclo-del-nitrogeno/>

PortalFruticola. (2017). Ciclo de nitrógeno en el suelo y su importancia en la fertilización vegetal. <https://www.portalfruticola.com/noticias/2017/10/23/el-ciclo-del-nitrogeno-en-el-suelo-y-su-importancia-en-la-fertilizacion-vegetal/>

Posada, S. G. (2019, julio 22). Guía de fertilización del café. 9 ideas para mejorar productividad y sostenibilidad reduciendo costes. ¡Qué Café! <https://quecafe.info/guia-fertilizacion-cafe-intensificacion-sostenible/>

Ramírez, J. E. 1999. Fisiología, nutrición y manejo agronómico del cafeto. II seminario cafi cultura dominicana, Santo Domingo, DO. 23 p.

Rica, D. A. C. (2006). Café. Clima y suelos. Engormix. <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/cafe-clima-suelos-t26410.htm>

Ruiz, J. C. L. (2009). ESTUDIO DE LA EFICIENCIA EN EL USO DEL NITRÓGENO EN EL CAFÉ. 27.

Sadeghian (2010), LA MATERIA ORGÁNICA: Componente esencial en la sostenibilidad de los agroecosistema cafeteros, de <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/1113/3/libroMO.pdf>

Sadeghian, S. (2020). CORRECCION DE LA ACIDEZ DEL SUELO: ALTERACIONES QUIMICAS DEL SUELO.

Santana. (2014). 81, EFECTOS DE LA APLICACIÓN DE MICROORGANISMOS FIJADORES DE NITRÓGENO, COMPLEMENTARIOS A LA FERTILIZACIÓN QUÍMICA EN UNA PLANTACIÓN DE CAFÉ VARIEDAD CATURRA ROJO EN LA ZONA DE BABAHOYO, sacado de: <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/574/T-UTB-FACIAG-AGR-00100.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Silva, F. (2001). FERTILIDAD DE SUELOS: Diagnóstico y control Segunda Edicion, de <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4922/1/216.1.pdf>

Sorgoná. (2011), Nitrate uptake along the maize primary root: an integrated physiological and molecular approach, de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-3040.2011.02311.x>

Suares (2016). Requerimientos nutricionales y la fertilización del cultivo del café— Monografias.com. Recuperado 10 de julio de 2021, de <https://www.monografias.com/trabajos94/requerimientos-nutricionales-y-fertilizacion-del-cultivo-del-cafe/requerimientos-nutricionales-y-fertilizacion-del-cultivo-del-cafe.shtml#introduccion>

Torres. (2008), ¿Qué es la Fertilidad del Suelo?: Fertilidad Física, Química y Biológica, de <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/01/29/83481>

Valencia, (2011), Nutrición Mineral del cultivo de café, de <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/717/6/6%20Nutrici%C3%B3n%20mineral%20cafe.pdf>.

Valencia, G. 1998. Manual de Nutrición y Fertilización del Café. Instituto de la Potasa y el Fósforo. INPOFOS. Quito, Ecuador. 61 p

Vanegas, (2017). Fertilidad y Propiedades físicas del Suelo para el cultivo del café. | Coffee Media ✓. <https://www.yoamoelcafedecolombia.com/2017/02/11/fertilidad-y-propiedades-fisicas-del-suelo-para-el-cultivo-del-cafe/>

Vanegas, F. (2016). Conoce el Clima óptimo para un cultivo de café, de <https://www.yoamoelcafedecolombia.com/2016/08/31/conoce-el-clima-optimo-para-un-cultivo-de-cafe/>

Vignola, et al. (2018), Reducción del impacto por eventos climáticos, de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/reduccion-impacto-por-eventos-climaticos/Informe-final-cafe.pdf>

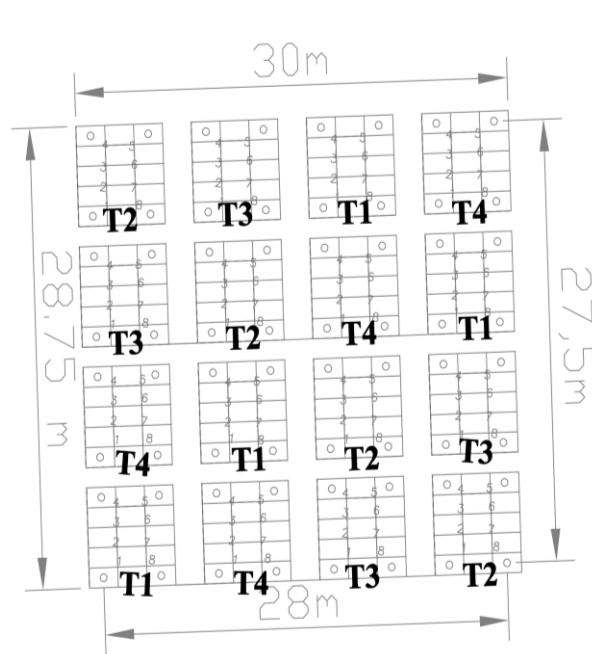
Villamagua, M. M. Á. (2021). Aplicación de enmiendas orgánicas y consorcios de hongos micorrízicos nativos en el mejoramiento de la aireación del suelo y el crecimiento inicial del café (*Coffea arabica* L.) en sistemas agroforestales. <file:///C:/Users/USER%20ADMIN/Desktop/noveno%20ciclo/tesis/PROYECTO%20CAFE%20V2-signed.pdf>

Yara Ecuador. (2018). Nutrición vegetal del café: Resumen Nutricional. <https://www.yara.com.ec/nutricion-vegetal/cafe/resumen-nutricional/>

Yara Ecuador. (2018). Nutrición vegetal del café: Suelo y agua para café. <https://www.yara.com.ec/nutricion-vegetal/cafe/suelo-y-agua-para-cafe/>

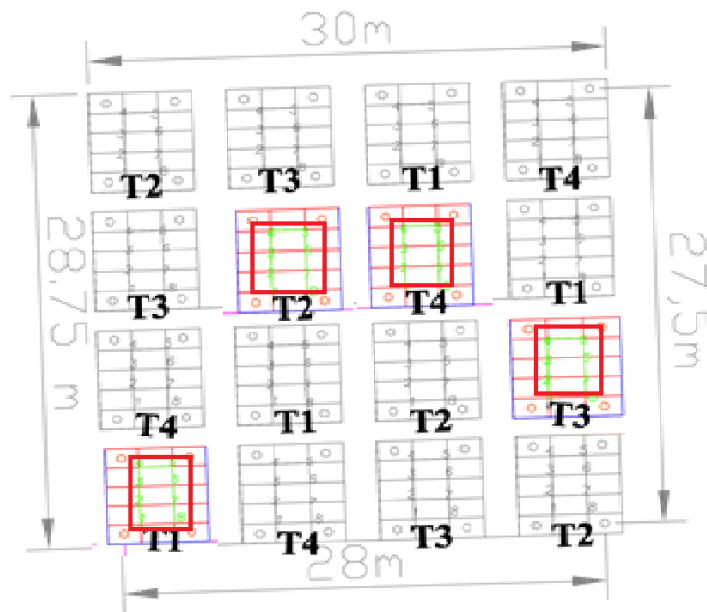
11. Anexos

Anexo 1. Distribución de los tratamientos en la Quinta experimental La Argelia.



Fuente: Macas,2020

Anexo 2. Distribución para el análisis foliar.



Anexo 3. Necesidades del café obtenidas por el Tesista Kevin Macas.

Necesidades del café Kg ha ⁻¹ .año							
RESUMEN	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	Zn	B	S
T1	0	137.4	120	198.73	3	5	25
T2	150	137.4	120	198.73	3	5	25
T3	200	137.4	120	198.73	3	5	25
T4	250	137.4	120	198.73	3	5	25

Nota: Requerimientos nutricionales para el cultivo de café durante la fase de desarrollo vegetativo.

Anexo 4. Fertilizantes y dosis utilizadas para la primera fertilización.

PRIMERA FERTILIZACION (4/10/21)				
	Nutrientes %			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
	12.1	0.0	14.0	10.0
T1	0.0	0.0	24.0	39.7
T2	15.5	0.0	24.0	39.7
T3	20.7	0.0	24.0	39.7
T4	25.9	0.0	24.0	39.7
	UREA	SFT	K₂O	Sulfato de magnesio heptahidratado
		Kg/ha		
T1	0.00	0.00	47.62	248.4125
T2	33.73	0.00	47.62	248.4125
T3	44.98	0.00	47.62	248.4125
T4	56.22	0.00	47.62	248.4125
	Urea	0-46-0	K₂SO₄	Sulfato de magnesio heptahidratado
		g/planta		
T1	0.00	0.00	11.90	62.10
T2	8.43	0.00	11.90	62.10
T3	11.24	0.00	11.90	62.10
T4	14.06	0.00	11.90	62.10
	Urea	P₂O₅	K₂O	Sulfato de magnesio heptahidratado

	kg/ensayo			
T1	0.00	0.00	1.14	5.96
T2	0.81	0.00	1.14	5.96
T3	1.08	0.00	1.14	5.96
T4	1.35	0.00	1.14	5.96
TOTAL	3.24	0.00	4.57	23.85

Anexo 5. Fertilizantes y dosis utilizadas para la segunda fertilización.

SEGUNDA FERTILIZACION (8/12/21)				
	Nutrientes %			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
	12.1	0	14	10
T1	0.0	0	16.8	20.86
T2	15.5	0	16.8	20.86
T3	20.7	0	16.8	20.86
T4	25.9	0	16.8	20.86
	UREA	SFT	K ₂ O	Sulfato de magnesio heptahidratado
		Kg/ha		
T1	0.0	0	33	130.4
T2	33.7	0	33	130.4
T3	45.0	0	33	130.4
T4	56.2	0	33	130.4
	Urea	0-46-0	K ₂ SO ₄	Sulfato de magnesio heptahidratado
		g/planta		
T1	0.0	0	8.3	32.6
T2	8.4	0	8.3	32.6
T3	11.2	0	8.3	32.6
T4	14.1	0	8.3	32.6
	Urea	P ₂ O ₅	K ₂ O	Sulfato de magnesio heptahidratado
	kg/ensayo			
T1	0.0	0	0.8	3.1
T2	0.8	0	0.8	3.1
T3	1.1	0	0.8	3.1
T4	1.3	0	0.8	3.1
TOTAL	3.2	0	3.2	12.5

Anexo 6. Fertilizantes y dosis utilizadas para la tercera fertilización

TERCERA FERTILIZACION (7/2/22)				
	Nutrientes %			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
%	12.1	0	14	10
T1	0.0	0	16.8	20.86
T2	18.1	0	16.8	20.86
T3	24.1	0	16.8	20.86
T4	30.2	0	16.8	20.86
	UREA	SFT	K ₂ O	Sulfato de magnesio heptahidratado
	Kg/ha			
T1	0.0	0	33.3	130.4
T2	39.4	0	33.3	130.4
T3	52.5	0	33.3	130.4
T4	65.6	0	33.3	130.4
	Urea	0-46-0	K ₂ SO ₄	Sulfato de magnesio heptahidratado
	g/planta			
T1	0.0	0.0	8.3	32.6
T2	9.8	0.0	8.3	32.6
T3	13.1	0.0	8.3	32.6
T4	16.4	0.0	8.3	32.6
	Urea	P ₂ O ₅	K ₂ O	Sulfato de magnesio heptahidratado
	kg/ensayo			
T1	0	0	0.8	3.1
T2	0.9	0	0.8	3.1
T3	1.3	0	0.8	3.1
T4	1.6	0	0.8	3.1
TOTAL	3.8	0	3.2	12.5

Anexo 7. Análisis de varianza de la altura de planta primera medición.

Nueva tabla : 8/1/2023 - 10:42:55 - [Versión : 20/9/2019]

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
365	16	0.82	0.78	4.58

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	309.50	3	103.17	18.34	0.0001
Tratamiento	309.50	3	103.17	18.34	0.0001
Error	67.50	12	5.63		
Total	377.00	15			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=4.97900

Error: 5.6250 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
4	58.50	4	1.19 A
3	52.50	4	1.19 B
2	49.25	4	1.19 B C
1	46.75	4	1.19 C

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

Anexo 8: Análisis de varianza de la altura de planta, segunda medición.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
425	16	0.86	0.82	3.36

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	258.69	3	86.23	23.92	<0.0001
Tratamiento	258.69	3	86.23	23.92	<0.0001
Error	43.25	12	3.60		
Total	301.94	15			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=3.98550

Error: 3.6042 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
4	62.25	4	0.95 A
3	57.50	4	0.95 B
2	54.75	4	0.95 B C
1	51.25	4	0.95 C

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

Anexo 9. Análisis de varianza de la altura de planta, tercera medición.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
485	16	0.91	0.89	2.92

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	408.50	3	136.17	42.44	<0.0001
Tratamiento	408.50	3	136.17	42.44	<0.0001
Error	38.50	12	3.21		
Total	447.00	15			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=3.76028

Error: 3.2083 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
4	69.25	4	0.90 A
3	61.25	4	0.90 B
2	59.00	4	0.90 B C
1	55.50	4	0.90 C

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

Anexo 10. Análisis de varianza del número de hojas, primera medición.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Hojas	16	0.84	0.73	7.55

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	11.50	6	1.92	7.67	0.0039
Trat	11.25	3	3.75	15.00	0.0008
Rep	0.25	3	0.08	0.33	0.8017
Error	2.25	9	0.25		
Total	13.75	15			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.10372

Error: 0.2500 gl: 9

Trat	Medias	n	E.E.
2	7.75	4	0.25 A
3	7.00	4	0.25 A B
4	6.25	4	0.25 B C
1	5.50	4	0.25 C

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

Anexo 11. Análisis de varianza para el numero de hojas, tercera medición.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
# Hojas	16	0.94	0.90	5.50

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	45.00	6	7.50	22.50	0.0001
Rep	25.00	3	8.33	25.00	0.0001
Trat	20.00	3	6.67	20.00	0.0003
Error	3.00	9	0.33		
Total	48.00	15			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.27447

Error: 0.3333 gl: 9

Trat	Medias	n	E.E.	
4	12.00	4	0.29	A
3	11.00	4	0.29	A B
2	10.00	4	0.29	B C
1	9.00	4	0.29	C

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

Anexo 12. Análisis de varianza para el número de ramas, primera medición.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ramas	16	0.62	0.36	9.57

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7.38	6	1.23	2.42	0.1122
Trat	5.19	3	1.73	3.41	0.0666
Rep	2.19	3	0.73	1.44	0.2950
Error	4.56	9	0.51		
Total	11.94	15			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.57170
 Error: 0.5069 gl: 9

Trat	Medias	n	E.E.	
3	8.00	4	0.36	A
2	8.00	4	0.36	A
1	7.00	4	0.36	A
4	6.75	4	0.36	A

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

Anexo 13. Análisis de varianza del número de ramas, tercera medición.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
# Ramas	16	0.95	0.91	4.53

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	35.88	6	5.98	26.09	<0.0001
Rep	16.19	3	5.40	23.55	0.0001
Trat	19.69	3	6.56	28.64	0.0001
Error	2.06	9	0.23		
Total	37.94	15			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.05673
 Error: 0.2292 gl: 9

Trat	Medias	n	E.E.	
4	12.25	4	0.24	A
3	10.75	4	0.24	B
2	10.00	4	0.24	B C
1	9.25	4	0.24	C

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

Anexo 14. *Reconocimiento del lugar.*



Anexo 15. *Planta del tratamiento.*



Anexo 16. *Planta del tratamiento 4.*



Anexo 17. *Deshierba del cultivo.*



Anexo 18. *Primera fertilización: 4 de Octubre de 2021.*



Anexo 19. *Fertilizando cafeto: 4 de Octubre de 2021.*



Anexo 20. Fertilizante foliar “NUTRALIFT”.



Anexo 21. Aplicación de Nutralift vía foliar.



Anexo 22. *Poda de alisos.*



Anexo 23. *Preparación para la Segunda fertilización.*



Anexo 24. *Realización de la corona del café previo a la fertilización.*



Anexo 25. *Segunda aplicación de Nutralift vía foliar.*



Anexo 26. *Medición de parámetros dasométricos.*



Anexo 27: *Segunda fertilización.*



Anexo 28. *Planta del tratamiento 4 presenta frutos.*



Anexo 29: *Tercera aplicación de Nutralift por vía foliar.*



Anexo 30: Tercera fertilización.



Anexo 31. Recolección y empaquetado previo al envío del análisis foliar al INIAP.



Anexo 32: *Deshierba del cultivo, previo a la finalización del proyecto.*



Anexo 33. *Aplicación foliar de tratamiento para la roya del café.*






ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS

Panamericana Sur Km. 1.5 N **Cahabizapa**
 Tels: (02) 3007284 / (02)2504240
 Mail: laboratorio_ias@inip.gob.ec

INFORME DE ENSAYO No: 22-0133

NOMBRE DEL CLIENTE: Zema Rojas Jean Carlos 17/02/2022
PETICIONARIO: Zema Rojas Jean Carlos 12:20
EMPRESA/INSTITUCIÓN: Zema Rojas Jean Carlos 21/02/2022
DIRECCIÓN: Américo Vespucio y Jorge **Gallán** 25/02/2022

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:
HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:
FECHA DE ANÁLISIS:
FECHA DE EMISIÓN:
ANÁLISIS SOLICITADO:

N° muestra	N	P	K	Ca	Mg	S	MS*	B	Zn	Cu	Fe	Mn	Na*	Cl*	CE*	Humedad*	Materia orgánica*	Carbono orgánico*	pH*	C/N*	Identificación de la muestra
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	mg/cm	(%)	(%)	(%)			
22-0347	2.06	0.40	2.28	0.95	0.21	0.30		66.9	14.2	27.7	216.8	247.7									TRATAMIENTO 1
22-0348	2.58	0.23	1.76	0.91	0.22	0.25		48.4	12.3	17.4	164.6	337.5									TRATAMIENTO 2
22-0349	2.60	0.24	1.76	1.10	0.24	0.22		55.9	11.8	19.0	343.2	437.5									TRATAMIENTO 3
22-0350	2.92	0.22	1.61	0.96	0.23	0.25		48.9	13.9	16.8	167.7	504.4									TRATAMIENTO 4

OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente



Anexo 35. Certificado de traducción del Resumen/abstract.

CERTIFICACIÓN DE TRADUCCIÓN.

Larry Bryan Palacio Armijos

Licenciado en Ciencias de la Educación: Mención Inglés

CERTIFICO:

Que he realizado la traducción de español al idioma inglés del resumen derivado de la tesis denominada "EFECTOS DE LOS NIVELES DE NITRÓGENO (0 – 150 – 200 – 250 kg. ha⁻¹) EN LA FASE INICIAL DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO DEL CAFÉ (COFFEA ARÁBIGA L.) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA ARGELIA EN EL CANTÓN LOJA" de autoría de: JEAN CARLOS ZERNA ROJAS, portador de la cédula de identidad: 0704623131, estudiante de la Carrera de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional de Loja, la misma que se encuentra bajo la dirección del Ing. Miguel Villamagua, previo a la obtención del título de ingeniero agrícola.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado hacer uso del presente en lo que considere conveniente.

Loja, 23 de noviembre de 2022



Larry Bryan Palacio Armijos

Licenciado en Ciencias de la Educación: Mención Inglés

Lic. Larry Palacio. Registro de Senescyt: 1008-2020-2216911. Telf: 0985349373
Email: larrypalacio30@gmail.com