



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Agronomía

Efecto de la fertilización con tres fuentes nitrogenadas en el crecimiento y fisiología del café (*Coffea arabica* L.) var. Castillo en el sector la Argelia

Loja

**Trabajo de Integración Curricular,
previo a la obtención del título de
Ingeniero Agrónomo**

AUTOR:

Ronal Alexis Lamas Vidal

DIRECTOR:

Ing. Max Enrique Encalada Córdova PhD.

Loja – Ecuador

2024

Educamos para Transformar

Certificación

Loja, 07 de agosto de 2023

Ing. Max Enrique Encalada Córdova PhD.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Efecto de la fertilización con tres fuentes nitrogenadas en el crecimiento y fisiología del café (*Coffea arabica* L.) var. Castillo en el sector la Argelia Loja**, de la autoría del estudiante **Ronal Alexis Lamas Vidal**, con cédula de identidad Nro. **1150585139**, cada vez que el estudiante 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.



Ing. Max Enrique Encalada Córdova PhD.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

Yo, **Ronal Alexis Lamas Vidal**, declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular 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, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula de identidad: 1150585139

Fecha: 18 de enero del 2024

Correo electrónico: ronalex.lamas@unl.edu.ec

Teléfono: 0967448542

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

Yo, **Ronal Alexis Lamas Vidal**, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Efecto de la fertilización con tres fuentes nitrogenadas en el crecimiento y fisiología del café (*Coffea arabica* L.) var. Castillo en el sector la Argelia Loja**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero Agrónomo**, 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 que realice un tercero.

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

Firma:



Autor: Ronal Alexis Lamas Vidal

Cédula: 1150585139

Dirección: Zapotillo - Loja

Correo electrónico: ronal.lamas@unl.edu.ec

Teléfono: 0967448542

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Integración Curricular o de Titulación: Ing. Max Enrique Encalada Córdova, PhD.

Dedicatoria

Con mucho orgullo e inmensa gratitud dedico este logro primero a Dios y la Virgen del Cisne, a mis queridos padres Eulogio y Lastenia quien me brindaron un apoyo sincero y de lucha a seguir adelante; a mis queridos hermanos: Yaneth, Mirian y Vladimir por estar siempre apoyándome en todo y ser un ejemplo a seguir adelante. También a cada uno de mis amigos, familiares, que me han acompañado y he compartido muchas experiencias.

Ronal Alexis Lamas Vidal

Agradecimiento

Al terminar mi investigación, primeramente, quiero agradecer a Dios y a la Virgen del Cisne, por haberme dado las fuerzas y haber guiado mi camino. A mis Padres y Hermanos, quienes con esfuerzo y lucha han demostrado ser seres humanos extraordinarios, quien estuvieron siempre brindándome su apoyo sincero, para cumplir mis metas, gracias por sus consejos que me servirán para mi futuro para ser un excelente profesional y seguir logrando más objetivos.

Por otra parte, agradecer al Dr. Max Encalada Córdova, por su amistad y ser mi director de tesis, por siempre guiarme en mi proyecto, al Ing. Klever Cuenca por su colaboración en esta investigación. Agradecer a la Carrera de Agronomía y a la Universidad Nacional de Loja por permitirme formarme en sus aulas, a cada uno de los docentes que contribuyeron en mi formación profesional.

Extender mi agradecimiento a mis amig@s y compañeros, Alexandra, María Fernanda por siempre brindarme su amistad y apoyo; también a Ronaldo, Jorge, Richard, Cristian, Junior, entre otros, que han formado parte de esta etapa universitaria.

Ronal Alexis Lamas Vidal

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de Tablas	x
Índice de Figuras	xi
Índice de anexos	xii
1. Título	1
2. Resumen	2
Abstract	3
3. Introducción	4
3.1. Objetivos	5
3.1.1. Objetivo general.....	5
3.1.2. Objetivo específico	5
4. Marco Teórico	6
4.1. El cultivo de Café (<i>Coffea arabica</i> L.).....	6
4.1.1. Importancia económica.....	6
4.1.2. Producción mundial.....	6
4.1.3. Producción a nivel nacional.....	6
4.1.4. Taxonomía	7
4.1.5. Condiciones edafoclimáticas	7
4.2. Propiedades Químicas del Suelo	7
4.2.1. pH.....	7
4.2.2. Capacidad de intercambio catiónico	8
4.2.3. Relación de cationes	8
4.3. Fenología del Cultivo de Café.....	8
4.3.1. Fase de desarrollo vegetativo del cafeto	8

4.3.2. Fase de desarrollo reproductivo del cafeto	9
4.3.3. Fase de senescencia del cafeto.....	9
4.4. Fisiología del Café.....	9
4.4.1. Fotosíntesis	9
4.4.2. Densidad estomática	9
4.4.3. Clorofila.....	9
4.4.4. Enzima nitrato reductasa.....	10
4.5. Características de la Variedad de Estudio	10
4.5.1. Variedad castillo	10
4.6. Requerimientos Nutricionales del Cafeto.....	10
4.6.1. Nutrición en etapa de germinación	10
4.6.2. Nutrición en etapa de almácigo	11
4.6.3. Nutrición en etapa de crecimiento	11
4.6.4. Nutrición en etapa de producción	11
4.7. Uso de fuentes Nitrogenadas en la Agricultura	11
4.7.1. Definición	11
4.8.2. Fuentes nitrogenadas utilizadas en la investigación	12
4.8.2.1. Urea	12
4.8.2.2. Nitrato de Amonio.....	12
4.8.2.3. Nitrabor.....	12
4.8.3. Importancia del nitrógeno en café	12
4.8.4. Síntomas de deficiencia de nitrógeno en café.....	13
4.8.5. Época de aplicación del nitrógeno en café.....	13
4.9. Investigaciones Realizadas en Café con Fuentes Nitrogenadas	13
5. Metodología.....	14
5.1. Localización del Estudio	15
5.2. Metodología General	16
5.2.1. Análisis de suelo	16
5.2.1. Labores culturales	17
5.3. Tipo de investigación	17
5.3.1. Diseño experimental	18

5.4. Metodología para el Primer Objetivo	19
5.5. Metodología para el Segundo Objetivo	20
5.6. Análisis Estadístico	21
6. Resultados	22
6.1. Variables Morfológicas	22
6.1.1. Altura de la planta (AP)	22
6.1.2. Diámetro del tallo (DT)	22
6.1.3. Número de ramas (NRP).....	23
6.1.4. Área Foliar (AF)	23
6.2. Variables Fisiológicas.....	24
6.2.1. Clorofila	24
6.2.2. Densidad e índice estomático	24
7. Discusión.....	26
8. Conclusiones.....	29
9. Recomendaciones.....	30
10. Bibliografía.....	30
11. Anexos.....	36

Índice de Tablas:

Tabla 1. Relación de cationes intercambiables adecuadas para el café arábigo (<i>Coffea arabica</i> L.).....	8
Tabla 2. Análisis de suelo realizado en el laboratorio de suelos (INIAP Pichilingue) en cultivo de <i>Coffea arabica</i> L. var. Castillo.	16
Tabla 3. Análisis de suelo de micro elementos realizado en el laboratorio de suelos (INIAP Pichilingue) en cultivo de <i>Coffea arabica</i> L. var. Castillo.....	16
Tabla 4. Correcciones de micronutrientes y macronutrientes principales de acuerdo con el análisis de suelo aplicados en la plantación de café de estudio.....	17
Tabla 5. Fuentes nitrogenadas, dosis y frecuencia de aplicación en una plantación de café variedad Castillo de la provincia de Loja.....	18
Tabla 6. Efecto de las fuentes nitrogenadas en el diámetro del tallo de las plantas de <i>Coffea arabica</i> var. Castillo durante los 30-60-90-120 DDA en el sector la Argelia Loja..	23
Tabla 7. Efecto de las fuentes nitrogenadas en el número de ramas de las plantas de <i>Coffea arabica</i> var. Castillo durante los 30-60-90-120 DDA en el sector la Argelia Loja...	23
Tabla 8. Análisis del efecto de tres fuentes nitrogenadas en el área foliar en plantas de <i>Coffea arabica</i> var. Castillo durante los 30-60-90-120 DDA en el sector la Argelia Loja.....	24
Tabla 9. Contenido de clorofila en unidades SPAD en plantas de <i>Coffea arabica</i> var. Castillo en el periodo mayo – septiembre en función de los tratamientos aplicados.	24
Tabla 10. Análisis del efecto de tres fuentes nitrogenadas en la densidad e índice estomático en hojas de <i>Coffea arabica</i> var. Castillo durante los 30-60-90-120 DDA en el sector la Argelia Loja.....	25

Índice de Figuras:

- Figura 1.** Localización del experimento, Quinta Experimental Docente la Argelia, perteneciente a la Universidad Nacional de Loja, parroquia San Sebastián 15
- Figura 2.** Esquema del diseño experimental (DBCA) para la evaluación de varias fuentes nitrogenadas en un cultivo de café variedad Castillo..... 19
- Figura 3.** Altura de la planta en función de los tratamientos aplicados. El símbolo "*" indica la diferencia significativa $p < 0,005$ 22

Índice de anexos:

Anexo 1.	Análisis de varianza variable altura	36
Anexo 2.	Análisis de varianza variable diámetro del tallo	36
Anexo 3.	Análisis de varianza variable Número ramas	37
Anexo 4.	Análisis de varianza variable área foliar	37
Anexo 5.	Análisis de varianza variable clorofila	38
Anexo 6.	Delimitación de los bloques, repeticiones, cultivo de café var. Castillo.....	38
Anexo 7.	Análisis de suelo del cultivo de café var. Castillo.....	40
Anexo 8.	Corrección del pH del suelo, aplicación de cal dolomítica	40
Anexo 9.	Aplicación de los tratamientos (Urea, Nitrato de amonio, Nitrabor)	41
Anexo 10.	Toma de datos de la variable Clorofila con SPAD	41
Anexo 11.	Estomas de café variedad Castillo en la Estación Experimental la Argelia....	42
Anexo 12.	Células epidérmicas de café variedad Castillo en la Estación Experimental la Argelia.....	42
Anexo 13.	Observación de los estomas y células epidérmicas en microscopio (Leica modelo DM1000).....	44
	2	
Anexo 14.	a) Medida diámetro tallo. b) Medida altura de la planta	43
Anexo 15.	Grupo de Trabajo de investigación	43
Anexo 16.	Certificado de inglés.....	44

1. Título

Efecto de la fertilización con tres fuentes nitrogenadas en el crecimiento y fisiología del café (*Coffea arabica* L.) var. Castillo en el sector la Argelia Loja

2. Resumen

La producción de café en Ecuador constituye uno de los cultivos agrícolas con mayor representación debido a su contribución tanto económico, social y ecológica para los agricultores. Sin embargo, debido a los fenómenos naturales como “El Niño”, la reducción de la tierra cultivable, la disponibilidad de mano de obra y la fertilización interactúan sobre la determinación del rendimiento. Además, el nitrógeno es el elemento más limitante en el crecimiento y producción cafetera ya que es requerido en grandes cantidades y es baja la disponibilidad en los suelos; la falta de programas de fertilización en las diferentes etapas fenológicas también limita el rendimiento. Por lo tanto, el presente trabajo de investigación se lo realizó en el sector la Argelia Loja perteneciente a la parroquia de San Sebastián del cantón Loja, que se ubica a una altitud de 2 133 m s.n.m. la cual se llevó a cabo desde el mes de mayo hasta septiembre del 2023. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la fertilización con distintas fuentes nitrogenadas (Urea, Nitrato de amonio y Nitrabor); empleando una dosis de $200 \text{ kg/ha}^{-1}/\text{año}^{-1}$ de Nitrógeno, se realizaron los análisis de suelo; las variables evaluadas de forma morfológicas fueron: altura de la planta, diámetro del tallo, número de ramas, área foliar y las fisiológicas: clorofila, densidad e índice estomático. Para lo cual se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), teniendo una unidad experimental de 10 plantas con características homogéneas; los datos se analizaron mediante análisis de varianza y un nivel de significancia con la prueba de Tukey ($p > 0,05$), las evaluaciones se realizaron mensualmente. Los resultados indican que a los 120 DDA (Días Después de la Aplicación) el tratamiento T1 (Urea) obtuvo los mejores resultados en las variables altura, área foliar, clorofila y densidad e índice estomático, por otra parte, para el número de ramas y diámetro del tallo se indicaron que el tratamiento T3 (Nitrabor) y T2 (Nitrato de amonio) son los que sobresalen. Se puede dar a conocer que las fuentes nitrogenadas utilizadas, resultaron necesarias para mejorar el estado morfológico y fisiológico de las plantas de café.

Palabras clave: Fuentes Nitrogenadas, Dosis, Clorofila, Café, Crecimiento.

Abstract

Coffee production in Ecuador is one of the most represented agricultural crops due to its economic, social and ecological contribution to farmers. However, due to natural phenomena such as "El Niño", the reduction of arable land, the availability of labor and fertilization interact in determining the yield. In addition, nitrogen is the most limiting element in coffee growth and production since it is required in large quantities and its availability in soils is low; the lack of fertilization programs in the different phenological stages also limits yields. Therefore, the present research work was carried out in "La Argelia" area in Loja city belonging to the "San Sebastian" parish, which is located at an altitude of 2,133 meters above sea level, which was carried out from May to September 2023. The objective of this research was to determine the effect of fertilization with different nitrogen sources (Urea, ammonium nitrate and Nitrabor); using a dose of 200 kg/ha-1/year-1 of Nitrogen, soil analysis were performed; the morphological variables evaluated were: plant height, stem diameter, number of branches, leaf area and physiological variables: chlorophyll, density and stomatal index. For which a completely randomized block design (DBCA) was used, having an experimental unit of 10 plants with homogeneous characteristics; the data were analyzed by analysis of variance and a significance level with Tukey's test ($p > 0.005$), the evaluations were carried out monthly. The results indicate that at 120 DDA (Days After Application) the T1 treatment (Urea) obtained the best results in the variables height, leaf area, chlorophyll and density and stomatal index, on the other hand, for the number of branches and stem diameter it was indicated that the T3 (Nitrabor) and T2 (Ammonium nitrate) treatments are the ones that stand out. It can be seen that the nitrogen sources used were necessary to improve the morphological and physiological state of the coffee plants.

Key words: *Nitrogen sources, Dose, Chlorophyll, Coffee, Growth.*

3. Introducción

El café se cultiva ampliamente en países tropicales y subtropicales (Zapata y Jiménez, 2016). Es uno de los productos más comercializados a nivel mundial; se cultiva en más de 50 países, debido a que es un producto muy apreciado para su consumo como bebida. La especie más importante es la *Coffea arabica* L., que representa aproximadamente del 80 % al 90 % de la producción mundial (Pilozo et al., 2022)

En Ecuador, el cultivo del café tiene una gran importancia económica, se plantan 199 215 hectáreas, de las cuales el 68 % corresponde a la especie *C. arabica* y el 32 % a *Coffea canephora*. El cultivo se distribuye en 23 de las 24 provincias del país, de las cuales la especie *Coffea arabica* L. es considerada la de mejor calidad; su producción se concentra en las provincias de Manabí, Loja y la cordillera occidental de los Andes. Por otro lado, *Coffea canephora*, conocida como robusta, se cultiva principalmente en las provincias de Sucumbíos y Orellana (Pilozo et al., 2022).

Debido a influencias como la volatilidad de los precios en el mercado mundial, fenómenos naturales como “El Niño”, la reducción de la tierra cultivable y el progreso, el rendimiento y la calidad del grano se ven afectadas, lo cual unido a la edad avanzada de las plantaciones de café (Venegas et al., 2018), manejo agronómico, las condiciones ambientales, la fertilización, los sistemas de producción y el manejo de la cosecha y poscosecha, interactúan sobre la determinación del rendimiento y la calidad del grano en las diferentes zonas cafeteras (Muñoz et al., 2021).

De acuerdo a Larios et al., (2021) el nitrógeno es un elemento esencial para el crecimiento y desarrollo del cafeto, debido a la producción y síntesis de aminoácidos, teniendo componentes básicos de proteínas, enzimas y vitaminas, además, existen problemas de volatilización en forma de amoníaco, lo cual es un proceso normal en los suelos producto de la mineralización, aunque también puede ser por factores climáticos, así como por la fuente nitrogenada y el método de aplicación. De acuerdo con los estudios realizados por González y Sadeghian (2012), cuando la aplicación del fertilizante se realiza en la superficie y no en el suelo, ocurren las máximas pérdidas de N, y el N volatilizado aumenta proporcionalmente con la cantidad de fertilizante aplicado.

En este sentido, el tipo de fuente nitrogenada puede ser determinante de la cantidad de nitrógeno que puede ser aprovechado por la planta, particularmente en café. En un estudio

realizado por Montenegro (2019) con varias fuentes nitrogenadas, observaron que la urea con una dosis de 350 kg ha⁻¹ generó un incremento en las emisiones de óxido nitroso. Por otro lado, Ramírez et al. (2013) evaluaron una eficiencia de fertilización con urea al 46 % midiendo la clorofila en hojas de café, usando un sensor portátil (SPAD-502) y encontraron diferencias significativas en el aprovechamiento de la eficiencia nitrogenada.

Por tanto, existe la necesidad técnica de comparar las distintas fuentes nitrogenadas comerciales en cultivos de café, y evaluar cómo estas fuentes varían en función de la variedad de café, como es el caso de la variedad Castillo, una de las más sembradas en la provincia de Loja. Por tanto, se busca optimizar el uso de los elementos requeridos en las plantas, la conservación de los nutrientes y el suministro apropiado de todos los elementos esenciales, siendo necesario para mejorar la producción.

El presente proyecto de titulación se encuentra vinculado con el octavo y doceavo Objetivo de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (ODS 8, 12) denominados “Trabajo decente y crecimiento económico” y “Producción y consumo responsables”, además, se vincula con la línea de investigación de la Universidad Nacional de Loja, denominada “Sistemas agropecuarios sostenibles para la soberanía alimentaria”. Adicionalmente, es necesario mencionar que este proyecto de titulación forma parte del programa institucional denominado “Programa de investigación para la sostenibilidad de la caficultura de la zona sur del Ecuador”, e igualmente se vincula con la línea de investigación de la carrera de Agronomía de la Universidad Nacional de Loja denominada “Tecnología para la producción y posproducción agrícola sostenible”.

3.1. Objetivos

3.1.1. Objetivo general

- ✓ Comparar el efecto de la fertilización con tres fuentes nitrogenadas en el crecimiento y fisiología del café (*Coffea arabica* L.) var. Castillo en el sector la Argelia Loja.

3.1.2. Objetivo específico

- ✓ Caracterizar el crecimiento del café (*Coffea arabica* L.) var. Castillo con la aplicación de tres fuentes nitrogenadas en el sector la Argelia Loja.
- ✓ Describir el comportamiento fisiológico del café (*Coffea arabica* L.) var. Castillo con la aplicación de tres fuentes nitrogenadas en el sector la Argelia Loja.

4. Marco Teórico

4.1. El cultivo de Café (*Coffea arabica* L.)

4.1.1. Importancia económica

El grano de café es uno de los productos agrícolas más importantes vendidos en los mercados internacionales y contribuye significativamente a los proyectos de exportación en las regiones productoras (Zapata y Jiménez, 2016).

La caficultura en el Ecuador es una actividad económica, social y ambientalmente significativa que genera ingresos para los caficultores, recolectores, transportistas y comercializadores, así como divisas que ayudan a dinamizar la economía rural de las regiones productoras. Los caficultores de 23 de las 24 provincias del país forman un amplio tejido social con una enorme influencia multisectorial (Venegas et al., 2018).

4.1.2. Producción mundial

En la producción internacional de café, la tendencia predominante es organizarse de acuerdo con las necesidades y requerimientos de los clientes, lo que indica cada vez una mayor especialización en cuanto al cultivo, comercialización y distribución (Bastos et al., 2019).

Según la Organización Internacional del Café (ICO) en enero 2020 la producción a nivel mundial se situó en 175 347 mil sacos de 60 kg.

4.1.3. Producción a nivel nacional

Ecuador produce variedades de café Arábica y Robusta, la variedad Arábica tiene una amplia adaptabilidad a los diferentes ecosistemas de las cuatro regiones del país y se cultiva desde cerca del nivel del mar hasta una altitud de 2 000 metros, por otro lado, Robusta se adapta a la costa y trópico húmedo de la Amazonía, donde se cultiva a más de 600 m s.n.m. (Toledo et al., 2019)

Según la encuesta Continua de Superficie y Producción Agropecuaria (ESPAC) Utilizada por el INEC (2022), el Ecuador cuenta con cerca de 12 197 499 hectáreas de labor agrícola, incluyendo 36 398 hectáreas de café pertenecientes a la superficie cultivada, el área cosechada es de 29 901 hectáreas. El mismo estudio arrojó que la provincia con mayor superficie cafetalera es Manabí con 10 109 hectáreas, seguida de Orellana con 6 059 hectáreas, Sucumbíos con 5 808 hectáreas y Loja con 3 630 hectáreas; también se mencionan que el año 2022 la producción en toneladas métricas fue de 7 966.

Según el Banco Central del Ecuador (BCE, 2022) en el periodo de agosto 2021 – agosto 2022, las exportaciones tradicionales alcanzaron un valor FOB (Libre A Bordo) promedio mensual de USD 989,1 millones, de los cuales 11,3 millones corresponden a café y elaborados.

4.1.4. Taxonomía

El café pertenece al género *Coffea* y a la familia de las rubiáceas (Rubiaceae), grupo que engloba unos 500 géneros y más de 6 000 especies, la mayoría árboles y arbustos tropicales. Dentro del género *Coffea* hay más de 100 especies, todas ellas autóctonas de África tropical y de algunas islas de Océano Índico, como Madagascar (Rojo, 2014).

4.1.5. Condiciones edafoclimáticas

El Manual Técnico del Cultivo del Café de Barva (2011) establece que la altitud óptima para el cultivo del café es entre 500 y 1700 m s.n.m. Si se supera esta altura, se limita el desarrollo de la planta; además, se requieren 1000 mm de lluvia por año y con precipitaciones mayores de 3000 mm la calidad física y la calidad del tostado de Golden *Coffee* pueden comenzar a verse afectada. La temperatura media anual favorable para los cafetos está entre 17 y 23 °C, temperaturas inferiores a 10 °C pueden provocar clorosis de las hojas jóvenes y parálisis del crecimiento, y la humedad relativa es menor o igual al 85 %. Por otro lado, como mencionan Márquez et al. (2020), el café crece más a menudo en suelos con condiciones ideales con un pH de 4,50 a 5,50.

4.2. Propiedades Químicas del Suelo

4.2.1. pH

Indica la concentración de iones H en la solución, es una medida de la acidez de la solución, afectan la fertilidad del suelo, indica si tiene niveles tóxicos de Al₃ y Mn, o si es bajo en elementos como Ca y Mg, y si se puede regular con la adición de CaO y otras sustancias. La disponibilidad de otros fitonutrientes esenciales depende del pH, conocer el pH del suelo puede diagnosticar problemas nutricionales para garantizar un buen desarrollo de las plantas. La acidificación del suelo reduce el crecimiento de las plantas debido a una disminución en la disponibilidad de ciertos nutrientes como Ca, Mg, K y P, los cuales contribuyen a la solubilidad de elementos tóxicos en el suelo, poniendo en peligro las plantas, estos elementos pueden ser Al₃ y Mn₂ (Rodríguez, 2019).

La toxicidad de Al_3^+ es un factor importante que afecta directamente el metabolismo de las plantas, incluida la interrupción del transporte de iones y agua a través de las membranas celulares de las raíces, lo que impide el suministro de los nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas (Rodríguez, 2019).

4.2.2. Capacidad de intercambio catiónico

Se define como la cantidad total de iones cargados negativamente por unidad de masa de suelo o la cantidad total de cationes intercambiables por unidad de masa que neutralizan esta carga. Se expresa en $cmol\ kg^{-1}$ de suelo o $meq\ 100\ g^{-1}$ de suelo. Los suelos con alta CIC $> 20\ meq*100g^{-1}$ suelo se consideran más fértiles porque retienen más nutrientes que son absorbidos por las plantas o lixiviados de la zona radicular (Rodríguez, 2019).

4.2.3. Relación de cationes

Según Macas (2021), para el cultivo de café la relación de cationes está en los diferentes rangos (Tabla 1), para un óptimo desarrollo.

Tabla 1. Relación de cationes intercambiables adecuadas para el café arábigo (*Coffea arabica* L.) (Macas, 2021).

Relación entre cationes	Rangos óptimos (meq/100g)	Nivel crítico (meq/100g)	Recomendaciones
Ca/Mg	2,6-8	Si $< 2,6$	Agregar Calcio
		Si > 8	Agregar Magnesio
Mg/K	7,5-15	Si $< 7,5$	Agregar Magnesio
		Si > 15	Agregar Potasio
(Ca+Mg)/K	27,5-55	Si $< 27,5$	Agregar Calcio y Magnesio
		Si > 55	Agregar Potasio
Suma de Bases (K+Ca+Mg)	15-30	Si < 15	Agregar K, Ca y Mg
		Si $15 < 30$	Suelo Normal
		Si > 30	Suelo rico en K, Ca y Mg

4.3. Fenología del Cultivo de Café

Las fases fenológicas de crecimiento vegetativo y reproductivo del café son respuestas a estímulos ambientales, particularmente la distribución de las lluvias a lo largo del año. (González et al., 2014).

4.3.1. Fase de desarrollo vegetativo del cafeto

Se considera el desarrollo vegetativo, como, la formación de raíces, ramas, nudos y hojas comprende tres etapas: germinación a transplante (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).

4.3.2. Fase de desarrollo reproductivo del cafeto

Comienza con la aparición de las primeras flores, y el inicio de esta fase puede verse afectado por la duración del día (fotoperíodo), la época de siembra, la temperatura y la disponibilidad de agua. Se considera primera floración el momento en que florecen al menos el 50 % de las plantas (Arcila, 2007).

4.3.3. Fase de senescencia del cafeto

El cafeto es una planta perenne y se considera que alcanza su desarrollo y productividad máxima entre los 6 y los 8 años, a partir de los cuales la planta se deteriora paulatinamente y su productividad disminuye a niveles de poca rentabilidad (Arcila, 2007).

4.4. Fisiología del Café

4.4.1. Fotosíntesis

La fotosíntesis es un proceso fisiológico que describe toda la materia hidrocarbonada que necesitan las plantas. La respiración es una función fisiológica mediante la cual las plantas utilizan carbohidratos parcialmente fotosintetizados para obtener la energía necesaria para su crecimiento y desarrollo; la respiración ocurre en todos los tejidos vegetales, pero es especialmente intensa en hojas y tejidos jóvenes (Arcila, 2007).

4.4.2. Densidad estomática

Una hoja es un órgano que se especializa en captar la luz necesaria para la fotosíntesis. La frecuencia o densidad de estomas es muy sensible a las condiciones ambientales y se pueden observar diferencias entre individuos de la misma especie, hojas de la misma muestra y sectores de la misma hoja (Medina et al., 2008).

En el género *Coffea*, la intensidad de la luz tiene un fuerte efecto, manifestado por cambios en el crecimiento vegetativo, así como marcadas diferencias en el rendimiento según el nivel de exposición a la radiación solar. Aunque la mayoría de los cafetales se cultivan a pleno sol,

los estudios han demostrado que esta especie crece a la sombra, principalmente para la producción de plántulas (Encalada et al., 2016).

4.4.3. Clorofila

El pigmento de la clorofila se debe a su capacidad de absorber las partes roja y azul de la luz solar y transmitir otros colores que apreciamos mezclando diferentes tonalidades de verde. Las hojas pueden contener hasta 1 g de clorofila m⁻², aunque esta concentración varía ampliamente entre especies, y depende, entre otras cosas, del estado nutricional de la planta, la edad o el historial de luz previo (Reol, 2003).

4.4.4. Enzima nitrato reductasa

El nitrato reductasa es una enzima de molibdeno que cataliza la reducción de nitrato (NO₃⁻) a nitrito (NO₂⁻); aún no se conoce bien su función en las plantas superiores, aunque indican que la presencia de abundante nitrógeno favorece la formación de clorofila, aumentando así la actividad fotosintética y favoreciendo el desarrollo vegetal. Una alta cantidad de nitrógeno hace que las células de las plantas envejecen más tarde y permanezcan hinchadas. Por otro lado, retrasa la lignificación y el endurecimiento de los tejidos; en general, el nitrógeno acelera y mantiene un buen desarrollo de las plantas cultivadas (Wencomo, 2019).

4.5. Características de la variedad de Estudio

4.5.1. Variedad castillo

Tiene su origen en Colombia y fue desarrollado por el Centro Nacional de Investigaciones del Café (Cenicafé). Su desarrollo genético se basa en una estrategia que permite obtener variedades con resistencia completa (vertical) y parcial (horizontal) al patógeno de la roya (*Hemileia vastratrix*). Es una variedad enana, ligeramente más alta y ramificada que Caturra, vigorosa y productiva (Cortina et al., 2013).

4.6. Requerimientos Nutricionales del Cafeto

En cada etapa fenológica, las plantas demandan diferentes nutrientes y diferentes cantidades de cada uno según las necesidades del cultivo, la edad de la plantación y la productividad estimada, a continuación, se detallan los requerimientos nutricionales en las distintas etapas fenológicas:

4.6.1. Nutrición en etapa de germinación

Durante esta fase, que dura unos dos meses, no necesitan nutrientes adicionales porque tienen reservas de nutrientes suficientes para el pleno desarrollo de las nuevas plantas o

"chapolas". Además del manejo fitosanitario, solo requieren condiciones adecuadas de humedad, oscuridad y temperatura (Sadeghian, 2008).

4.6.2. Nutrición en etapa de almácigo

En esta etapa la planta responde de manera positiva a abonos orgánicos y a las aplicaciones de fósforo (Sadeghian, 2008).

4.6.3. Nutrición en etapa de crecimiento

Esta fase, dependiendo de las condiciones agroclimáticas de la zona, dura de 18 a 24 meses desde la siembra en campo. El mayor requerimiento de nutrientes corresponde al nitrógeno, seguido del fósforo; la fertilización debe iniciarse desde el primer o segundo mes después de la siembra y repetirse cada 4 meses dependiendo del elemento, siempre tomando en cuenta la disponibilidad de humedad en el suelo; condición que es determinada por la precipitación, las características del suelo y la cobertura vegetal (Sadeghian, 2008).

4.6.4. Nutrición en etapa de producción

CENICAFE recomienda fertilizar los cafetales producidos dos veces al año; siendo dos meses antes de la cosecha secundaria y de la cosecha principal, período en el cual se presenta el mayor requerimiento de nutrientes para el llenado de los frutos. Además, recomiendan fertilizantes de acuerdo con el sistema de producción del cafetal, dependiendo de la densidad de plantación y porcentaje de sombra. Los cafetales densamente plantados con más de 7 500 plantas por hectárea y con un nivel de sombra inferior al 35 % deben aplicar el 100 % de la dosis determinada por la interpretación del análisis de suelo, es decir 300 kg. ha⁻¹. año⁻¹ de N, 260 kg. ha⁻¹. año⁻¹ de K₂O, 50 kg. ha⁻¹. año⁻¹ de P₂O₅, 50 kg. ha⁻¹. año⁻¹ de MgO y 50 kg. ha⁻¹. año⁻¹ de S. En la medida en que las densidades de siembra disminuyan y los porcentajes de sombra aumenten, las dosis a aplicar estarán entre el 85 % y el 95 % de las dosis definidas para cafetales a libre exposición y altas densidades de siembra. La aplicación debe hacerse teniendo presente los períodos lluviosos para potenciar la efectividad de la fertilización (Higuera, 2015).

4.7. Uso de fuentes Nitrogenadas en la Agricultura

4.7.1. Definición

Los fertilizantes nitrogenados concentran la fuente de nitrógeno en una forma inorgánica (nitrato y amonio). La calidad del fertilizante se refiere al contenido de nutrientes del fertilizante, y en todos los fertilizantes, el primer número indica el porcentaje en masa de

nitrógeno, el segundo número indica fósforo y el tercer número indica potasio; en fórmulas completas, el cuarto número suele ser magnesio (Sadeghian, 2008).

4.8.2. Fuentes nitrogenadas utilizadas en la investigación

4.8.2.1. Urea

Como fertilizante, la urea tiene la ventaja de proporcionar un alto contenido de nitrógeno (46 %), que es esencial para el metabolismo de las plantas, se puede incorporar al suelo antes de la siembra y es ácido reactivo, se puede utilizar para suelos neutros o ligeramente alcalinos. Según Morales et al. (2019), la urea de liberación lenta es utilizada para reducir las pérdidas por volatilización después de la fase de hidrólisis y por lixiviación luego de la nitrificación del amonio y mantener una disponibilidad adecuada de N en el suelo.

4.8.2.2. Nitrato de Amonio

El nitrato de amonio (NH_4NO_3) es un fertilizante nitrogenado con un contenido de nitrógeno del 33 % al 34 %, en la composición, la mitad del nitrógeno está en forma de amonio y el resto en forma de nitrato. Cuando se aplica este fertilizante a los cultivos, los nitratos se mueven fácilmente con la humedad del suelo hacia las raíces, donde son inmediatamente absorbidos por las plantas (Domínguez, 2019).

4.8.2.3. Nitabor

Es un Nitrato de calcio más boro, fertilizante granular tratado con un agente antiaglomerante, contiene nitrógeno (15,5 %), calcio Hidrosoluble y el microelemento boro, vital en la nutrición vegetal (YARA ECUADOR, 2018).

4.8.3. Importancia del nitrógeno en café

El nitrógeno es un elemento esencial para los cafetos, los cuales lo absorben en grandes cantidades debido a sus importantes funciones en el crecimiento, desarrollo y producción de las plantas. La dinámica de este elemento en el suelo está regulada por procesos biológicos, que afectan la forma de los minerales y la forma de las reservas orgánicas en el suelo; las plantas son capaces de absorber o asimilar el nitrógeno en forma inorgánica como el nitrato (NO_3^-) o el amonio (NH_4) (Montero, 2017).

Según YARA ECUADOR (2018), la absorción del nitrógeno ocurre temprano en el desarrollo de la hoja y la floración. La disponibilidad de nitrógeno debe mantenerse durante toda la temporada, pero el exceso de nitrógeno más adelante en el ciclo reduce el tamaño del grano de café.

4.8.4. Síntomas de deficiencia de nitrógeno en café

Según Sadeghian (2017), las plantas con deficiencia de nitrógeno exhiben los siguientes síntomas:

- ✓ Clorosis relativamente uniforme de las hojas más viejas.
- ✓ Senescencia prematura de las hojas y posterior defoliación en las ramas productivas.
- ✓ Poca emisión de nuevos brotes y reducción en el crecimiento de la planta.
- ✓ Ante una deficiencia severa, la defoliación es acompañada de clorosis en las hojas más nuevas, puede presentarse muerte descendente de las ramas.
- ✓ Reducción en el crecimiento de los frutos, estos se tornan amarillos y, en ocasiones, se secan.
- ✓ Frutos afectados por enfermedades como la mancha de hierro.

4.8.5. Época de aplicación del nitrógeno en café

El tiempo de uso depende de la cantidad de precipitación, que afecta el desarrollo de los cafetos, así como de la humedad del suelo, que es necesaria para el crecimiento activo de las plantas y la disolución de los gránulos de fertilizante. Por lo tanto, se debe limitar la aplicación de fertilizantes al suelo durante la época de lluvias y evitar periodos de sequía severa (Montero, 2017).

4.9. Investigaciones Realizadas en Café con Fuentes Nitrogenadas

En una investigación realizada en Colombia, se evaluó el efecto de la fertilización sobre las características químicas de suelos cultivados con café. En este estudio se aplicaron 240 kg/ha/año de Urea (46 %) en dos épocas (marzo y septiembre). Se obtuvo que, al fertilizar con urea, se generó un ligero aumento de la acidez en el suelo, aunque el contenido de la materia orgánica no presentó cambios a través del tiempo. Además, los valores de nitratos no se incrementaron seis meses después de haberse realizado la última fertilización (Sadeghian, 2003).

En otro estudio también en Colombia en un cultivo de café Var. Castillo se evaluó el índice relativo de clorofila y el rendimiento, con la aplicación de Urea 46 %; en etapa de crecimiento vegetativo hasta los 18 meses de edad se establecieron las dosis de: 0, 29, 44, 58 y 73 g N/planta, mientras que en la etapa reproductiva se aplicaron dosis de N de 0, 150, 225, 300 y 375 kg/ha/año⁻¹. Se determinó que el nitrógeno en las plantas se encontraba con mayor concentración en las ramas y hojas más jóvenes, así mismo las que se encontraban en la zona

productiva presentaban menores contenidos de N, en comparación con las hojas nuevas ubicadas en el estrato superior del árbol. Los mayores valores de SPAD se registraron en el estrato superior, siendo menor la probabilidad de extraer el elemento (N). Además, con las dosis de 0 y 150 kg/ha/año⁻¹ se obtuvo mayor incremento de producción (33,9 %) que cuando se aumentó la dosis de N de 300 a 375 kg/ha/año⁻¹, en las que se obtuvo el menor incremento sobre la producción (4,0 %) (Rendón y Sadeghian 2018).

Según el estudio realizado por Sadeghian y González (2022), en Colombia han demostrado que al aplicar urea prilled (sólido granulado) durante la etapa de producción de café, las pérdidas por volatilización pueden llegar al 30 % o 35 % de la cantidad total aplicada. En este caso, las mayores pérdidas ocurrieron durante los primeros cinco días posteriores a la aplicación (23 % a 27 % de la cantidad aplicada, lo que corresponde al 77 % de las pérdidas totales). Por lo tanto, cuando la urea se aplica al voleo en la superficie de la planta, hay menos volatilización que cuando se aplica en forma concentrada (corona o media luna); esto se debe a que cuando las partículas se encuentran dispersas en el suelo, la hidrólisis produce el aumento del pH.

5. Metodología

5.1. Localización del Estudio

El estudio se realizó en la estación Experimental y Docente 'La Argelia' de la Universidad Nacional de Loja, la cual se encuentra ubicada en el Sur de la provincia de Loja perteneciente a la parroquia San Sebastián (Figura 1). Geográficamente se encuentra a una latitud de 4°03'75" Sur, la longitud es de 79°20'34" Oeste y una altitud de 2 133 m s.n.m (Google Earth, 2023). Además, presenta una temperatura mínima mensual de 16,4 °C, precipitación de 1 100 mm al año y la humedad relativa es de 75 % promedio año (Regalado et al., 2020).

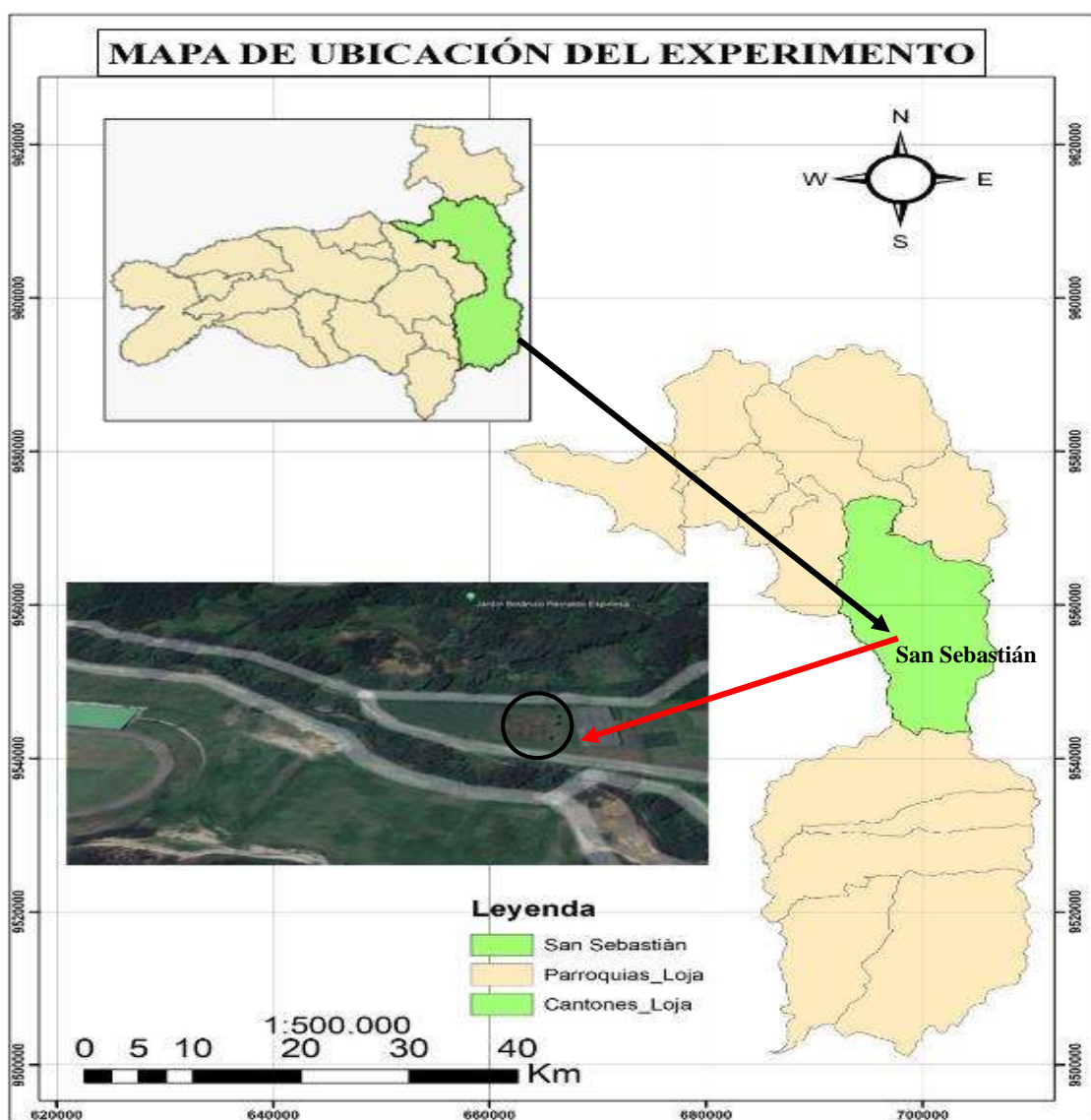


Figura 1. Localización del experimento, Quinta Experimental Docente la Argelia, perteneciente a la Universidad Nacional de Loja, parroquia San Sebastián.

5.2. Metodología General

La plantación de café donde se ejecutó la investigación estaba en etapa de crecimiento con una edad de 30 meses, distancia de siembra de 2 m entre hilera y 1,25 m entre planta con una densidad de 4000 plantas ha⁻¹, en la variedad Castillo; es necesario indicar que se tomó una muestra de suelo del lugar de investigación, posteriormente se procedió enviar al laboratorio de suelos (INIAP Pichilingue) para la determinación de los contenidos disponibles de: N, P, K y pH del suelo, a partir de los resultados del análisis (Anexo 7) se realizó un plan de fertilización con los requerimientos propuestos por Enríquez y Duicela (2014), para establecer las respectivas correcciones de micronutrientes y macronutrientes principales (Tabla 4, Anexo 8), así mismo, se calcularon las dosis de nitrógeno por ha a utilizar.

5.2.1. Análisis de suelo

Para la toma de muestras se aplicó la metodología del instructivo de la agencia de regulación y control Fito y Zoonosanitario (AGROCALIDAD), se envió al laboratorio de suelos (INIAP Pichilingue); donde se obtuvo la siguiente información del suelo (Tabla 2 y 3).

Tabla 2. Análisis de suelo realizado en el laboratorio de suelos (INIAP Pichilingue) en cultivo de *Coffea arabica* L. var. Castillo.

pH	M.O. (%)	NH₄ (ppm)	P (ppm)	K (meq/100ml)	Ca (meq/100ml)	Mg (meq/100ml)	∑ Bases	Ca/Mg	Mg/K	Ca + Mg/K
5.3	2.2	42	44	0,24	3	0,9	4.4	3.3	3.75	16.25
Acido	Bajo	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Bajo		Medio	Bajo	Bajo

Tabla 3. Análisis de suelo de micro elementos realizado en el laboratorio de suelos (INIAP Pichilingue) en cultivo de *Coffea arabica* L. var. Castillo.

S (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	B (ppm)
5.3	2.2	42	44	0,24	3
Bajo	Medio	Alto	Alto	Alto	Bajo

Previo a la aplicación de los tratamientos se realizó la corrección de macro (K, Ca, Mg) y micro (S, B) nutrientes (Tabla 4) conforme al análisis del suelo, en todas las unidades experimentales; utilizando los requerimientos propuestos por Enríquez y Duicela (2014), y se complementó con los elementos como fosforo y Zinc, siendo importantes para planta.

Tabla 4. Correcciones de micronutrientes y macronutrientes principales de acuerdo con el análisis de suelo aplicados en la plantación de café de estudio

Elementos	kg/ha⁻¹	Fuentes Comerciales	Aportes de los fertilizantes comerciales g/planta
N	200	Tratamientos
P	60	Superfosfato triple	6,2
K	135	Sulfato de potasio	6,8
Ca	200	Cal dolomítica	237
Mg	15	Kieserita	32
Zn	3	Sulfato de Zin	3
B	5	Borax	11,4
S	25	Sulpomag	88

5.2.1. Labores culturales

Para el control de las arvenses en el cultivo se realizó de manera manual (azadón, lampa, machete), así también de forma química aplicando diferentes herbicidas como: Gesaprim 90 WGD (Atrazina), Gramoxone (Paraquat), Dacocida (2,4-D-Butyl 20 ester), Glifosato (Glifosato). También, se puede indicar que se realizó la eliminación de chupones en la cual estaban presentes en algunas plantas de esa manera evitar que se aproveche los nutrientes para los distintos procesos tanto morfológico como fisiológico.

5.3. Tipo de investigación

La investigación es de tipo experimental, debido a que se usaron varias variables de estudio para comparar tratamientos aplicados por el investigador. Así mismo, posee un enfoque cuantitativo, permitiendo recopilar información numérica tanto morfológica y fisiológica. Por otra parte, el alcance de la investigación fue descriptivo y comparativo, siendo necesario para comparar las diferentes características presentadas en el estudio.

5.3.1. Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con 4 tratamientos y 4 repeticiones, con un total de 16 unidades experimentales. Cada unidad experimental fue integrada por 10 plantas teniendo un total de 160 plantas (Anexo 6), así mismo, para la toma de datos de las diferentes variables evaluadas se seleccionaron 5 plantas con características homogéneas para reducir el error experimental (excluyendo las plantas de los bordes para evitar el efecto borde) dando un total de 80 plantas muestreadas.

Para la aplicación de los tratamientos, se trabajó con fertilizantes sólidos los mismos que fueron aplicados al suelo (Urea, Nitrato de amonio y Nitrabor) (Anexo 9), en un área de 0,40 cm de la planta en forma de cruz y se procedió a cubrir con la superficie del suelo para evitar la volatilización del nitrógeno y para que pueda absorber los asimilados de mejor forma a la planta, así mismo, que se encontraba en una fase productiva.

En la Tabla 5, se muestra los tratamientos a utilizar, dosis y frecuencia de aplicación (una vez cada mes). Teniendo una dosis de N de 200 kg/ha^{-1}

Tabla 5. Fuentes nitrogenadas, dosis y frecuencia de aplicación en una plantación de café variedad Castillo de la provincia de Loja

	Tratamientos	Dosis de N kg/ha^{-1}	Dosis de fertilizante g/planta	Frecuencia
T1	Urea (46 %)	200 kg/ha^{-1}	9,1 g/planta	1 aplicación cada mes
T2	Nitrato de amonio (34 % N)	200 kg/ha^{-1}	12,6 g/planta	1 aplicación cada mes
T3	Nitrabor (15,5 % N, 26 % CaO 0,3 % B)	200 kg/ha^{-1}	27 g/planta	1 aplicación cada mes
T4	Testigo	ninguna	ninguna	ninguna

En la Figura 2, se indica el esquema del diseño experimental (DBCA) distribuido de forma aleatoria, en la cual, cada unidad experimental fue aproximadamente de un área de 30 m^2 y un total de 480 m^2 en las 16 unidades experimentales.

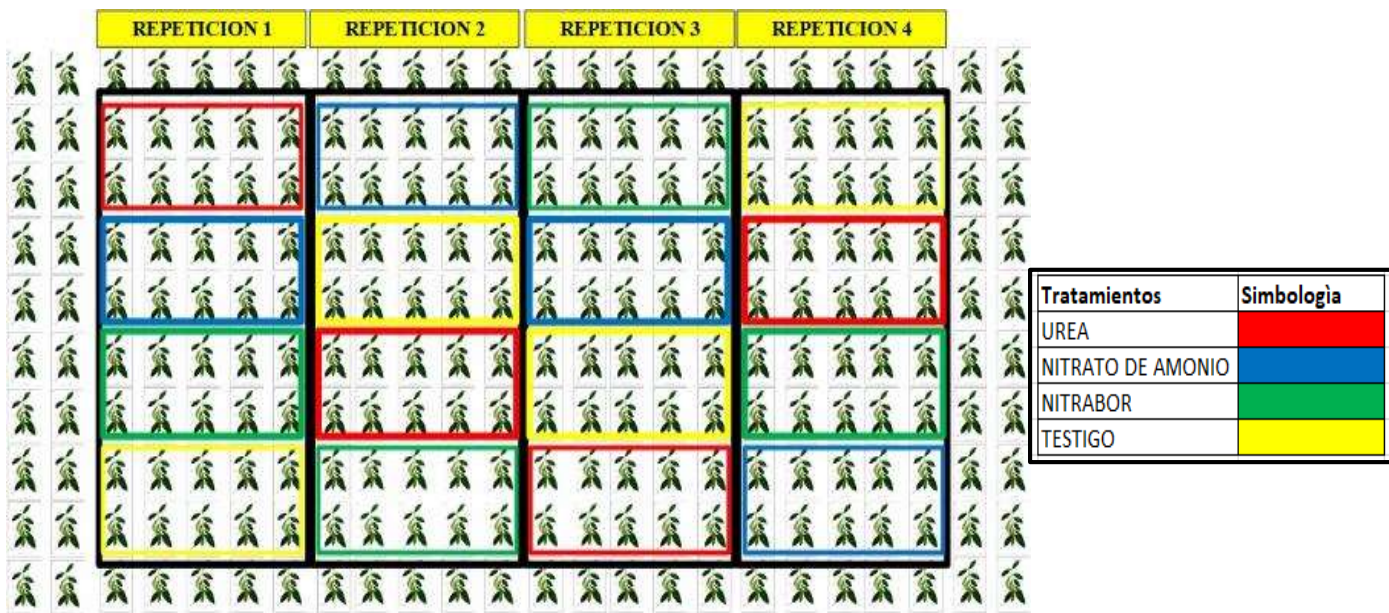


Figura 2. Esquema del diseño experimental (DBCA) para la evaluación de varias fuentes nitrogenadas en un cultivo de café variedad Castillo

5.3.3. Modelo estadístico

El modelo estadístico para este diseño es:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varphi_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = variable de respuesta

μ = media general

τ_i = efecto fijo del tratamiento

β_j = efecto fijo del bloque

φ_{ij} = error experimental

5.4. Metodología para el Primer Objetivo

“Caracterizar el crecimiento del café (*Coffea arabica* L.) var. Castillo con la aplicación de tres fuentes nitrogenadas en el sector la Argelia Loja”

Para dar cumplimiento a este objetivo, se realizaron mediciones en las 5 plantas seleccionadas de cada parcela, con evaluaciones cada 30 días durante 4 meses. A continuación, se detalla las variables:

✓ **Altura de la Planta (AP)**

Para esta variable se midió con un flexómetro en cm, desde la superficie del suelo hasta el ápice terminal del tallo principal (Zapata y Jiménez, 2016).

✓ **Diámetro del Tallo (DT)**

El diámetro del tallo se registró en un punto inmediatamente inferior a la inserción de la primera rama utilizando el calibrador de vernier, expresado en mm (Zapata y Jiménez, 2016).

✓ **Número de Ramas Planta (NRP)**

Se contaron directamente el número de ramas existentes en todas las plantas evaluadas (Zapata y Jiménez, 2016).

✓ **Área Foliar (AF)**

Las hojas fueron tomadas de la parte terminal, media y bajera de la planta, escogiéndose una hoja por cada parte dando un total de 3 hojas por planta, para la medición de la longitud de la hoja se utilizó una cintra métrica, se inicia desde el peciolo hasta el ápice; así mismo, para realizar la medición del ancho se tomó en cuenta el punto más ancho y unidad de medida es en centímetros (Zapata y Jiménez, 2016). Teniendo los datos se utilizó la siguiente fórmula propuesta por Soto (1980), para la obtención del área foliar.

$$AF = \{[0,64 * (L * A)] + 0,49\}$$

Donde:

AF: Área Foliar

L: Largo de la hoja

A: Ancho de la hoja

5.5. Metodología para el Segundo Objetivo

“Describir el comportamiento fisiológico del café (*Coffea arabica* L.) var. Castillo con la aplicación de tres fuentes nitrogenadas en el sector la Argelia Loja”

Para dar cumplimiento a este objetivo, se realizaron mediciones en las 5 plantas seleccionadas de cada parcela, con evaluaciones cada 30 días durante 4 meses en el caso de la clorofila y evaluaciones a la finalización del experimento para el resto de las variables. A continuación, se detallan las variables:

✓ **Clorofila**

Para determinar el contenido de clorofila, se tomaron mediciones en las ramas del tercio medio de la planta, donde se tomaron 3 hojas por planta en diferentes partes de la rama. Para lo cual se utilizó un medidor de clorofila SPAD-502 Plus; el mismo que calcula un valor numérico que es proporcional a la cantidad de la clorofila en la hoja (Encalada *et al.*, 2016).

✓ **Densidad e Índice Estomático**

La densidad estomática (número de estomas por mm²) en la cual se tomó en dos hojas del tercio medio de la planta por cada tratamiento, para muestrear fue en la zona central del foliolo y a ambos lados de la nervadura principal. Se realizó una impronta utilizando esmalte incoloro, se ubicó nuevamente en portaobjeto, con una gota de glicerina y se cubrió con un cubreobjetos (Encalada et al., 2016).

Para el conteo de estomas y las células epidérmicas las lecturas se realizaron en imágenes obtenidas del microscopio (Leica modelo DM 1000) (Anexo 13) con un aumento de 10 X y 40 X y tres campos visuales de 1 mm² seleccionados al azar, las imágenes se pudieron observar de una mejor manera con la ayuda del programa Toup View. Posteriormente para el cálculo del índice estomático (IE) se aplicó la siguiente fórmula propuesta por Álvarez y Reynaldo (2015) en su investigación.

$$IE = \frac{E}{(E + CE)} \times 100$$

Donde:

IE: Índice estomático

E: Número de estomas

CE: Número de células epidérmicas.

5.6. Análisis Estadístico

Los datos que se obtuvieron en la investigación de acuerdo con las características morfológicas y fisiológicas, de cada uno de los tratamientos con sus dosis, fueron sometidos a un análisis de comprobación de supuestos y posteriormente se realizó un análisis de varianza (ANOVA) (Infostat 2020) para determinar si existió una diferencia significativa entre tratamientos. Además, se realizó una prueba post hoc de Tukey con un porcentaje del 95 % (0,05) de confiabilidad.

6. Resultados

6.1. Variables Morfológicas

6.1.1. Altura de la planta (AP)

Los resultados obtenidos sobre el parámetro de altura (Figura 3) de los diferentes tratamientos en las distintas fechas de evaluación (30-60-90-120 días después de la aplicación de los fertilizantes sólidos) sí muestran diferencias significativas, teniendo a los 120 DDA (Días Después de la Aplicación) un $p < 0,0014$ según el análisis de varianza (Anexo 1). Además, se puede indicar (Figura 3) que los tratamientos T1 y T2 tienen los mayores crecimientos en las plantas de café, con una media de 93,80 cm (T1) y 92,03 cm (T3).

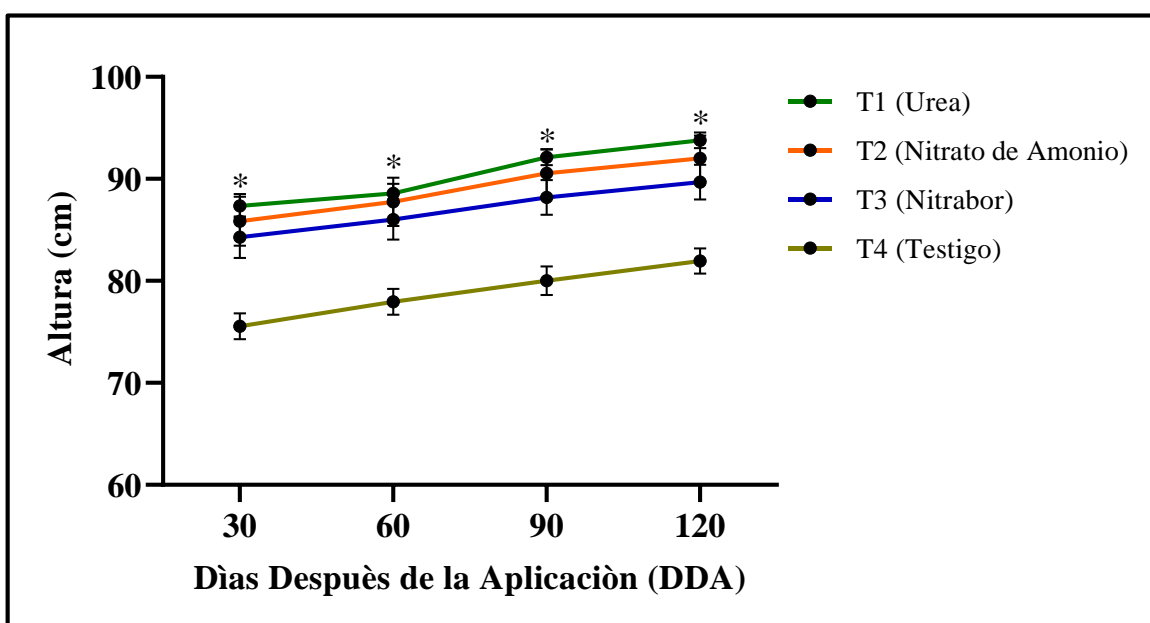


Figura 3. Altura de planta en función de los tratamientos aplicados. El símbolo “*” indica la diferencia significativa $p < 0,005$.

6.1.2. Diámetro del tallo (DT)

En cuanto a la variable diámetro del tallo, se muestra en la Tabla 6, que el tratamiento T2 es relativamente diferente a los demás tratamientos con un promedio de 24,78 mm, así mismo se puede determinar que si existe una diferencia significativa en todos los momentos evaluados, obteniendo a los 120 DDA un $p < 0,0238$ (Anexo 2). Por otro lado, los tratamientos que presentaron menores diámetros fueron: T3 y T4, presentado una media entre 22,75 y 20,83 mm respectivamente. En definitiva, el Tratamiento T2 (Nitrato de Amonio) es diferentes con el T4 (Testigo) en todos los momentos.

Tabla 6. Efecto de las fuentes nitrogenadas en el diámetro del tallo de las plantas de *Coffea arabica* var. Castillo durante los 30-60-90-120 DDA en el sector la Argelia Loja.

N	Tratamientos	DIAMETRO DEL TALLO (mm)			
		30 DDA	60 DDA	90 DDA	120 DDA
		*	*	*	*
T1	Urea	22,15 a b	22,95 a b	23,50 a b	23,73 a b
T2	Nitrato de amonio	23,20 a	23,98 a	24,00 a	24,78 a
T3	Nitrabor	21,15 a b	21,83 a b	22,85 a b	22,75 a b
T4	Testigo	19,73 b	19,98 b	20,43 b	20,83 b

ns = no significativo *p <0,005 significativo.

6.1.3. Número de ramas planta (NRP)

El número de ramas promedio al final del experimento se observa en la Tabla 7, en donde se puede indicar que las plantas tratadas con Nitrabor (T3) y Nitrato de amonio (T2) poseen los mejores resultados, teniendo una media de 34,60 y 33,30, respectivamente a los 120 DDA, en la cual se muestra que no existen diferencias significativas entre tratamientos y obteniendo un valor de significancia mayor al 0,005 $p > 0.1420$ (Anexo 3).

Tabla 7. Efecto de las fuentes nitrogenadas en el número de ramas de las plantas de *Coffea arabica* var. Castillo durante los 30-60-90-120 DDA en el sector la Argelia Loja.

N	Tratamientos	NÚMERO DE RAMAS/PLANTA			
		30 DDA	60 DDA	90 DDA	120 DDA
		ns	ns	ns	ns
T1	Urea	27,95	29,75	31,05	32,75
T2	Nitrato de amonio	29,95	31,15	32,15	33,30
T3	Nitrabor	30,80	31,95	33,15	34,60
T4	Testigo	26,35	27,15	29,00	30,45

ns = no significativo *p <0,005 significativo.

6.1.4. Área foliar (AF)

En cuanto al área foliar el mejor tratamiento (Tabla 8) a los 120 DDA es el tratamiento T1 (46,78 cm²) con respecto a los tratamientos T2 (45,38 cm²) y T3 (45,63 cm²) y así mismo obteniendo valores mayores al testigo con diferencias significativas (Anexo 4).

Tabla 8. Análisis del efecto de tres fuentes nitrogenadas en el área foliar en plantas de *Coffea arabica* var. Castillo durante los 30-60-90-120 DDA en el sector la Argelia Loja.

N	Tratamientos	ÁREA FOLIAR (cm ²)			
		30 DDA	60 DDA	90 DDA	120 DDA
		ns	ns	ns	*
T1	Urea	42,98	43,85	45,33	46,78 a
T2	Nitrato de amonio	41,65	42,48	44,13	45,38 a b
T3	Nitrabor	41,71	42,38	44,15	45,63 a b
T4	Testigo	36,60	37,13	38,68	39,75 b

ns = no significativo *p <0,005 significativo.

6.2. Variables Fisiológicas

6.2.1. Clorofila

En los resultados del contenido de clorofila como se indica en la Tabla 9, a los 30 – 60 DDA no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos, luego a los 90-120 DDA muestran diferencias significativas, teniendo en cuenta que la evaluación a los 120 DDA muestra un p < 0,0125 (Anexo 5), en donde se observa que el tratamiento T1 (79,65) se diferencian de los demás tratamientos.

Tabla 9. Contenido de clorofila en unidades SPAD en plantas de *Coffea arabica* var. Castillo en el periodo mayo – septiembre en función de los tratamientos aplicados.

N	Tratamientos	CONTENIDO DE CLOROFILA (Unidades SPAD)			
		30 DDA	60 DDA	90 DDA	120 DDA
		ns	ns	*	*
T1	Urea	70,97	73,23	75,75 a	79,65 a
T2	Nitrato de amonio	70,16	71,45	73,52 a b	76,67 a b
T3	Nitrabor	69,94	71,90	73,89 a b	75,01 a b
T4	Testigo	67,33	67,45	70,07 b	71,67 b

ns = no significativo *p <0,005 significativo.

6.2.2. Densidad e índice estomático

En la siguiente Tabla 10 se representa la densidad e índice estomático considerado hasta la última toma de muestras siendo a los 120 DDA, resultando el mejor tratamiento T1 (Urea) con 172,08 estomas por 1 mm² y en cuanto al índice estomático por 1 mm² es de 21,85.

Tabla 10. Análisis del efecto de tres fuentes nitrogenadas en la densidad e índice estomático en hojas de *Coffea arabica* var. Castillo durante los 30-60-90-120 DDA en el sector la Argelia Loja.

N	Tratamientos	Número de		Número de células típicas por 1 mm ²	Índice Estomático por 1 mm ²
		Estomas por 1 mm ²	epidérmicas		
		*		ns	ns
T1	Urea	172,08 a		615,42	21,85
T2	Nitrato de Amonio	159,33 a b		613,75	21,05
T3	Nitrabor	164,75 b c		602,75	21,47
T4	Testigo	156,50 c		541,25	23,35

ns = no significativo *p <0,005 significativo.

7. Discusión

El nitrógeno es un elemento importante para mejorar el crecimiento y los rendimientos de los cultivos agrícolas. De esta manera, las dosis de N empleada en la investigación para el cultivo de *Coffea arabica* var. Castillo es de 200 kg/ha⁻¹/año⁻¹, encontrándose en el rango de 80 y 412 kg/ha⁻¹/año⁻¹, esto depende de las condiciones del suelo, edad, forma de aplicación y del nivel del rendimiento obtenido (Pérez et al., 2010).

De acuerdo con los resultados obtenidos en la investigación realizada, en el crecimiento de *Coffea arabica* var. Castillo empleando de forma edáfica fuentes nitrogenadas sólidas con una dosis de 200 kg/ha⁻¹/año⁻¹, el tratamiento T1 (Urea) se destacó durante los 120 DDA en las variables altura, área foliar, clorofila y densidad e índice estomático.

En cuanto a la altura en este estudio se obtuvo una medida de 93,80 cm en el tratamiento T1 (Urea). Esto se asemeja con Capa (2015), quien en su investigación en la variedad caturra con una edad de 2 años y una aplicación de 200 kg/ha⁻¹/año⁻¹ de urea al 46 % alcanzó una altura de 70 a 74 cm y al finalizar el tercer año, obtuvieron alturas de 125 a 129 cm. En este sentido se puede indicar que el crecimiento ortotrópico del café expresado como la altura del tallo, se encuentra influenciado por las condiciones del medio, iluminación, sombra, la fertilidad y así también varía respecto a la variedad (Blanco et al., 2003). Además, se indica que el cultivo de café alcanza a los 6 años la altura máxima, pero el máximo incremento de altura se da en el primer año de crecimiento (Capa, 2015).

Con respecto al diámetro del tallo, se indica que si presentaron diferencias significativas a los 120 DDA entre los tratamientos empleados. Según lo expresado por (Pereira y Parrales, 2006) en su investigación, explican que las plantas con aplicación de fertilización tienen una mayor disponibilidad de nutrientes con referencia al testigo, permitiendo ser utilizable con mejor facilidad para convertirlos en componentes estructurales de biomasa en la planta. Por otro lado, el diámetro del tallo es una característica varietal que se puede incrementar con respecto a cada variedad y así también llevar un control agronómico adecuado (Bedoya & Salazar, 2014).

Según Julca et al. (2018) reporta resultados del número de ramas en la variedad Catimor evaluada en el valle Junín, Perú, en la cual se obtuvieron en promedio 34,08 ramas, no mostrando diferencias significativas. Estos resultados son similares a los presentados en nuestra investigación en la variedad Castillo, teniendo un promedio de 34,60 ramas en el

tratamiento T3 (Nitabor), no mostrando diferencias significativas entre los tratamientos empleados. Además Rojo, (2014) señala que el nitrógeno desempeña una función clave en el crecimiento y formación de nuevas ramas y hojas. Así mismo dentro de la formación de nuevas ramas y hojas ocurren diferentes procesos fisiológicos (fotosíntesis, respiración y transpiración) desempeñando un papel importante en crecimiento, desarrollo y producción del café (Arcila, 2007).

Finalmente, en la variable morfológica área foliar se reflejó durante la última fecha de evaluación que si existe diferencias significativas entre el tratamiento T1 (Urea) teniendo un mejor promedio con relación al tratamiento T4 (Testigo). De acuerdo con Valbuena et al. (2016) Se puede expresar que el área foliar está relacionado con el desarrollo vegetativo, la eficiencia en la fotosíntesis, el uso del agua y nutrientes, así también con la evapotranspiración. Según el estudio realizado por Marín et al. (2018), las plantas de *Coffea arabica* var. Caturra Rojo con 5 años presentaron en etapa vegetativa comprendido en un ciclo anual un área foliar de 51,00 cm², con diferencias estadísticas significativas con respecto a las otras etapas. De acuerdo con nuestra investigación existió una similar área foliar con promedio de 46,78 cm².

Con respecto a las variables fisiológicas, se realizó pruebas de análisis estadístico en todas las variables, en cuanto a la variable densidad e índice estomático tomada en cuenta al final del ensayo la evaluación. En el estudio de Díaz (2014), realizado en Naranjal Colombia en un cultivo de café variedad Castillo durante 3 años, con aplicación de dosis de 200 kg/ha⁻¹/año⁻¹ de distintas fuentes nitrogenadas (urea (46%), nitrato de amonio, Urea (46%) + DMPP (Urea-IN) y testigo) obtuvieron promedios de lecturas de SPAD de 66,5 a 75,1 existiendo diferencias significativas entre tratamientos. Estos resultados coinciden a los presentados en nuestra investigación, en donde se tuvieron promedios de 67,33 a 79,65 medidas de SPAD y mostrando diferencias significativas entre tratamientos. Según Reis et al. (2009) menciona que cuando se presentan las plantas con deficiencias de N tendrán tasas fotosintéticas bajas, pero, si existe una aplicación eficiente de N a tiempo con la cantidad adecuada se puede mejorar la capacidad fotosintética del cultivo de café incrementando el contenido de clorofila

Por otro lado, en la densidad e índice estomático evaluado a los 120 DDA, se obtuvo que el mejor tratamiento es el T1 (Urea), con un promedio de estomas de 172,08 por 1mm² e índice de 21,85 1mm² con respecto a los demás tratamientos. Siendo relacionados con los

obtenidos por Encalada et al., (2016) donde indica que las hojas expuestas al sol y al 70 % de luz tienen un promedio de estomas de 144 y 207 por 1mm^2 , de tal forma existe una correspondencia con el número de índice estomático. Según Rodríguez et al. (2016) en su investigación realizada en Banco Abajo (Cuba), en la variedad Caturra Rojo, se determinó que las hojas expuestas a pleno sol y al 70 % de radiación solar, presentaron un promedio de 186 y 202,6 por 1mm^2 .

8. Conclusiones

- ✓ En respuesta a la aplicación de distintas fuentes nitrogenadas en el cultivo de café variedad Castillo, empleando una dosis de $200 \text{ kg/ha}^{-1}/\text{año}^{-1}$, con respecto al crecimiento morfológico se obtuvo que el tratamiento T1 (Urea) presentó los valores mayores en las siguientes variables: altura de la planta (93,80 cm), área foliar de tres hojas por planta ($46,78 \text{ cm}^2$); el tratamiento T2 (Nitrato de amonio) presentó el mejor resultado con una media de 24,78 mm, ambos tratamientos teniendo diferencias significativas.
- ✓ Con respecto a la fisiología de la planta presentaron diferencia significativa en la variable clorofila a los 90-120 DDA, teniendo un promedio a los 120 DDA de 79,65 unidades SPAD y en la densidad estomática siendo el T1 (Urea) diferente al resto de tratamientos.

9. Recomendaciones

- ✓ Determinar el comportamiento agronómico del cultivo de café var. Castillo, considerando otras mezclas de fertilizantes nitrogenados o dosis mayores, pisos climáticos diferentes, de esa forma compensar los resultados de la presente investigación.
- ✓ Realizar la aplicación de los mismos tratamientos y dosis en diferentes variedades, para determinar el comportamiento morfológico y fisiológico de las plantas.
- ✓ Continuar con la evaluación de los indicadores morfológicos y fisiológicos dentro de las mismas parcelas por lo menos un año, que permitan establecer con más información el comportamiento frente a los tratamientos.
- ✓ Se recomienda para las siguientes investigaciones tener que evaluar el rendimiento, para así determinar cómo influye los tratamientos.

10. Bibliografía

- Àlvarez, I., & Reynaldo, I. (2015). Efecto del Pectimorf® en el índice estomático de plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cultivos Tropicales*, 36(3), 82-87.
- Arcila, J. (2007). Crecimiento y Desarrollo de la planta de Café. *Cenicafé*, 1-40.
- AGROCALIDAD (2020). Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosanitario. <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/agua8.pdf>
- Barva, H. (2011). *Guía Técnica para el Cultivo del Café*. <https://www.icafe.cr/wp-content/uploads/cicafe/documentos/GUIA-TECNICA-V10.pdf>
- BCE. (2022). *Evolución de la Balanza Comercial por Productos Enero—Agosto 2022*. Banco Central del Ecuador. <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorExterno/BalanzaPagos/balanzaComercial/ebc202210.pdf>
- Bedoya, M., & Salazar, R. (2014). Optimización del uso de fertilizantes para el cultivo de café. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(8), 1433-1439.
- Blanco, M., Hagggar, J., Moraga, P., Madriz, J. d., & Pavón, G. (2003). Morfología del café (*Coffea arabica* L.), en lotes comerciales. Nicaragua. *Agronomía Mesoamericana*, 14(1), 97-103. <https://doi.org/10.15517/am.v14i1.11996>
- Bastos Osorio, L. M., Salazar Escalante, R. Y., Mora Carvajal, C., & Duarte Cristancho, M. (2019). Análisis de las tendencias en la producción y el consumo de café a nivel internacional. *Visión Internacional (Cúcuta)*, 22-26.
- Cortina, H., Acuña, J., Moncada, M., Herrera, J., & Molina, D. (2013). Variedades de café: Desarrollo de variedades. *Cenicafé*, 1, 169-202. https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_09
- Capa, E. (2015). *Efecto de la Fertilización Orgánica y Mineral en las propiedades del suelo, la emisión de los principales gases de efecto Invernadero y en las diferentes fases Fenológicas del cultivo de Café (Coffea arabica L.)* [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica De Madrid]. https://oa.upm.es/36539/1/EDWIN_DANIEL_CAPA_MOR A.pdf
- Díaz, C. (2014). *Evaluación Del Dispositivo Portatil Spad-502 como indicador de la concentración de Nitrógeno en plantas de Café “Coffea arabica”* [Maestría en Ecotecnología, Universidad Tecnológica De Pereira]. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/4bee4343-7b07-46c4-ba1f-adbeda2ef757/content>

- Domínguez, J. (2019). *Determinación del momento de aplicación de nitrato de amonio en una mezcla forrajera* [Tesis de Ingeniero Agrónomo, Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/18673/1/T-UCE-0004-CAG-091.pdf>
- Encalada, M., Soto, F., Morales, D., & Álvarez, I. (2016). Influence of light on some physiological characteristics of coffee (*Coffea arabica* L. cv. Caturra) in nursery conditions. *Cultivos Tropicales*, 37(4), 89-97. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10544.76801>
- Enríquez, G., & Duicela, L. (2014). *Guía técnica para la producción y poscosecha del café arábigo* / (1. edición). COFENAC.
- ESPAC. (2022). *Tabulados de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua*. Instituto Nacional de Estadística y Censos. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
- González O., H.; Sadeghian K., S. (2012). Volatilización del nitrógeno a partir de diferentes fuentes fertilizantes en la etapa de crecimiento vegetativo del café. *Revista Cenicafé*, 63 (1), 132-143.
- González, H., Sadeghian, S., & Jaramillo, Á. (2014). Épocas recomendables para la fertilización de cafetales. *Cenicafé*, 442, 0-12.
- Google Earth. (2023). *Ubicación de la Quinta Experimental Docente La Argelia*
- Higuita, F. (2015). Tendencias modernas en la fertilización eficiente del cafeto para la producción de cafés especiales. *Suelos Ecuatoriales*, 45(2), Article 2.
- ICO. (2020). *Organización Internacional del Café—Estadísticas del comercio*. <https://www.ico.org/prices/po-production.pdf>
- Julca, A., Alarcón, G., Alvarado, L., Borjas, R., & Castro-Cepero, V. (2018). Comportamiento de tres Cultivares de Café (Catimor, Colombia y Costa Rica 95) en el Valle de El Perené, Junín, Perú. *SciELO*, 34(3), 205-215. <https://doi.org/10.4067/S0719-38902018005000504>
- Larios, R., Centeno, L., Ríos, M., Espinoza, C., & Salazar, J. (2021). Pérdidas de nitrógeno por volatilización a partir de dos fuentes nitrogenadas y dos métodos de aplicación. *Siembra*, 8(2). <https://doi.org/10.29166/siembra.v8i2.2475>
- Márquez, F., Quispe, P., Molleapaza, N., Cabrera, S., & Peña, J. (2020). Relación entre las características del suelo y altitud con la calidad sensorial de café cultivado bajo sistemas

- agroforestales en Cusco, Perú. *Scientia Agropecuaria*, 11(4), 529-536. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.04.08>
- Macas, K. (2021). *Efecto de los diferentes niveles de nitrógeno en el crecimiento del café en el cantón Loja*. [Tesis Ingeniero Agrícola, Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/24361>
- Marín, T., Gómez, F., Aguilar, N., Murguía, J., Trejo, L., Pastelín, M., & Castañeda, O. (2018). Composición bioactiva de hojas de café durante un ciclo anual. *Revista fitotecnia mexicana*, 41(4), 365-372. <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.4.365-372>
- Medina, C., Sánchez, D., & Lobo, M. (2008). Anatomía foliar comparativa de materiales de lulo. *Corpoica*, 9(1), 5-13.
- Montero, D. (2017). *Manual de Buenas Prácticas de Manejo en la Fertilización Nitrogenada del Café*. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-1419.pdf>
- Montenegro, J. (2019). Respuesta polinómica de la emisión de óxido nitroso en plantaciones de café en Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 53(2), 1-24. <https://doi.org/10.15359/rca.53-2.1>
- Morales, E., Arriaga, M., López, J., Martínez, Á., & Morales, E. (2019). Urea (NBPT) una alternativa en la fertilización nitrogenada de cultivos anuales. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(8), 1875-1886.
- Muñoz, J., Benevides, C., Lagos, T., & Criollo, C. M. (2021). Manejo agronómico sobre el rendimiento y la calidad de café (*Coffea arabica* L.) variedad Castillo en Nariño, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 32(3), 750-763. <https://doi.org/10.15517/am.v32i3.44403>
- Pereira, E., & PARRALES, C. (2006). *Evaluación de Tres Sistemas de Manejo Agronómico sobre el Crecimiento, Estructura Productiva, Acumulación de Biomasa, Rendimiento y Calidad del Café (Coffea arabica L.) vr. Costa Rica 95* [Título Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional Agraria]. <https://repositorio.una.edu.ni/2002/1/tnf01p436.pdf>
- Pérez, A., Bustamante, C., Viñals, R., & Rivera, R. (2010). La fertilización nitrogenada de *Coffea canephora* Pierre var. Robusta en función del rendimiento y algunos indicadores químicos y microbiológicos de suelos Cambisoles de Cuba. *Cultivos Tropicales*, 31(3), 00-00.

- Pilozo, W., Indacochea, B., Castro, A., Vera, M., & Ortega, J. (2022). Principales enfermedades causantes de la pérdida de rendimientos de los cultivos de café arábigo (*coffea arabica* L.) en la zona sur de Manabí, Ecuador. *UNESUM - Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria*, 6(2), Article 2. <https://doi.org/10.47230/unesum-ciencias.v6.n2.2022.632>
- Ramirez, V., Moreno, A., & Lopez, J. (2013). *Evaluación temprana de la deficiencia del nitrógeno en café y aplicaciones* (420; Avances Técnicos Cenicafè). <https://biblioteca.ceni.cafe.org/handle/10778/405>
- Reol, E. (2003). Los pigmentos fotosintéticos, algo más que la captación de luz para la fotosíntesis: *Ecosistemas*, 12(1), Article 1. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/250>
- Reis, À., Favarin, J., Malavolta, E., Lavres, J., & Moraes, M. (2009). Lecturas de fotosíntesis, clorofilas y SPAD en hojas de café en relación con el suministro de nitrógeno. *Comunicaciones en ciencia del suelo y análisis de plantas*, 40(9-10), 1512-1528. <https://doi.org/10.1080/00103620902820373>
- Rendón, J., & Sadeghian, S. (2018). Aplicación de índices espectrales para identificar necesidades de fertilización nitrogenada en café. *Cenicafé*, 1(69), 7-15. <https://doi.org/10.38141/10778/1088>
- Regalado, A., Paccha, E., Álvarez, O., & Montaña, T. (2020). Comportamiento de las concentraciones de PM10 en la ciudad de Loja-Ecuador y su relación con variables meteorológicas. *Journal of Science and Research*, 5(1), 137-148.
- Rodríguez Larramendi, L. A., Guevara Hernández, F., Gómez Castro, H., Fonseca Flores, M., Gómez Castañeda, J. C., & Pinto Ruiz, R. (2016). Anatomía foliar relacionada con la ruta fotosintética en árboles de café (*Coffea arabica* L., var. Caturra Rojo) expuestos a diferentes niveles de radiación solar en la Sierra Maestra, Granma, Cuba. *Acta Agronómica*, 65(3), 248-254.
- Rodríguez, R. del C. (2019). *Evolución de la acidez en un ultisol a la aplicación de cal y respuesta en la fase inicial del cultivo del café (Coffea arabica L.), en pueblo nuevo del cantón Loja* [Tesis Ingeniero Agrícola, Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22566/1/Rosa%20del%20Cisne%20%20Rodriguez%20Sarango.pdf>

- Rojo, E. (2014). Café I (G. *Coffea*). *Reduca (Biología)*, 2(7), 113-132.
- Sadeghian, S. (2003). Efecto de la fertilización con nitrógeno fósforo potasio y magnesio sobre las propiedades químicas de suelos cultivados en café. *Cenicafe*, 54(3), 242-257
- Sadeghian, K. (2017). Síntomas visuales de deficiencias nutricionales en café Diagnóstico y manejo. *Avances Técnicos Cenicafé*. <https://doi.org/10.38141/10779/0478>
- Sadeghian, S. (2008). Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia: Guía práctica. *Boletín Técnico Cenicafé*, 32, 43.
- Sadeghian, S., & González, H. (2022). Fertilizantes nitrogenados. Implicaciones agronómicas para el cultivo del café en Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*, 544, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0544>
- Soto, F. (1980). Estimación Del Área Foliar en *C. arabica* L. A partir de las Medidas Lineales de las Hojas. *Cultivos tropicales*, 2(3). <https://ediciones.inca.edu.cu/files/anteriores/1980/3/CT02310.pdf>
- Toledo, R., Zumba, M., & Fernández, V. (2019). La denominación de origen como estrategia de comercialización de productos agroalimentarios. El caso del café de altura de la provincia de Loja, Ecuador. *ResearchGate*, 401-413.
- Valbuena, N., Párraga, C., Linares, L., Ramos, J., & Junco, J. (2016). Modelos de Estimación de Área Foliar a partir de observaciones morfológicas en *Brachiaria brizantha* cv. Toledo. *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología*, 34, 40-44.
- Venegas, S., Orellana, D., & Pérez, P. (2018). La realidad Ecuatoriana en la producción de café. *Recimundo: Revista Científica de la Investigación y el Conocimiento*, 2(2), 72-91.
- YARA ECUADOR. (2018). *Resumen nutricional*. Yara. <https://www.yara.com.ec/nutricion-vegetal/cafe/resumen-nutricional/>
- YARA ECUADOR. (2018). *YaraLiva Nitrabor*. Yara. <https://www.yara.com.ec/nutricion-vegetal/fertilizantes/yaraliva/yaraliva-nitrabor/>
- Zapata, O., & Jiménez, J. (2016). Evaluación Agromorfológica de dos Variedades de Café Arábica (*Coffea arabica* L.) en tres Localidades Del Cantón Caluma, Provincia Bolívar, Ecuador. *avances. Revista de Investigación Talentos*, 3(2), 43-50.

11. Anexos

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura (cm)	16	0.83	0.71	3.27

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	369.81	6	61.63	7.22	0.0048
Tratamiento	327.29	3	109.10	12.78	0.0014
Repetición	42.51	3	14.17	1.66	0.2441
Error	76.83	9	8.54		
Total	446.64	15			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=6.44972

Error: 8.5369 gl: 9

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Urea	93.80	4	1.46 A
Nitrato de amonio	92.03	4	1.46 A
Nitrabor	89.68	4	1.46 A
Testigo	81.95	4	1.46 B

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

Anexo 1. Análisis de varianza variable altura

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diámetro (mm)	16	0.73	0.55	6.42

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	52.88	6	8.81	4.03	0.0305
Tratamiento	33.87	3	11.29	5.17	0.0238
Repetición	19.01	3	6.34	2.90	0.0940
Error	19.66	9	2.18		
Total	72.54	15			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=3.26263

Error: 2.1845 gl: 9

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Nitrato de amonio	24.78	4	0.74 A
Urea	23.73	4	0.74 A B
Nitrabor	22.75	4	0.74 A B
Testigo	20.83	4	0.74 B

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

Anexo 2. Análisis de varianza variable diámetro del tallo

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Número Ramas	16	0.71	0.52	6.92

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	114.26	6	19.04	3.70	0.0389
Tratamiento	36.05	3	12.02	2.34	0.1420
Repetición	78.21	3	26.07	5.07	0.0251
Error	46.29	9	5.14		
Total	160.55	15			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=5.00625

Error: 5.1433 gl: 9

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Nitrabor	34.60	4	1.13 A
Nitrato de amonio	33.30	4	1.13 A
Urea	32.75	4	1.13 A
Testigo	30.45	4	1.13 A

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

Anexo 3. Análisis de varianza variable Número ramas

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Area Foliar (cm2)	16	0.62	0.37	6.82

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	133.93	6	22.32	2.44	0.1107
Tratamiento	119.19	3	39.73	4.34	0.0376
Repetición	14.74	3	4.91	0.54	0.6687
Error	82.38	9	9.15		
Total	216.30	15			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=6.67834

Error: 9.1529 gl: 9

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Urea	46.78	4	1.51 A
Nitrabor	45.61	4	1.51 A B
Nitrato de amonio	45.38	4	1.51 A B
Testigo	39.74	4	1.51 B

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

Anexo 4. Análisis de varianza variable área foliar

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Clorofila	16	0.72	0.53	3.45

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	157.40	6	26.23	3.84	0.0351
Tratamiento	133.10	3	44.37	6.49	0.0125
Repetición	24.29	3	8.10	1.19	0.3689
Error	61.49	9	6.83		
Total	218.89	15			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=5.77013
 Error: 6.8327 gl: 9

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Urea	79.65	4	1.31	A
Nitrato de amonio	76.67	4	1.31	A B
Nitrabor	75.01	4	1.31	A B
Testigo	71.67	4	1.31	B

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

Anexo 5. Análisis de varianza variable clorofila



Anexo 6. Delimitación de los bloques, repeticiones, cultivo de café var. Castillo



ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE"
 LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS
 Km. 5 Carretera Quevedo - El Empalme, Apartado 24
 Quevedo - Ecuador Teléf. 052 783044 suelm.ec@iniap.gob.ec

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO
 Nombre : CUENCA ORTIZ KLEVER IVÁN
 Dirección : LOJA / LOJA
 Ciudad : LOJA
 Teléfono : 0992221989
 Fax : klever_77@hotmail.com

DATOS DE LA PROPIEDAD
 Nombre : Alexis Lamas Vidal
 Provincia : Loja
 Cantón : Loja
 Parroquia :
 Ubicación :

PARA USO DEL LABORATORIO
 Cultivo Actual : Café
 N° Reporte : 10718
 Fecha de Muestra : 15/3/2023
 Fecha de Ingreso : 17/3/2023
 Fecha de Salida : 28/3/2023

N° Muest. Laboral.	Datos del Lote		pH	ppm		mg/100ml			ppm					
	Identificación	Area		NH ₄	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B
109476	Alexis Lamas Vidal		5.3	42	44	0.24	3	0.9	9	2.1	4.9	111	21.5	0.35



La muestra será guardada en el laboratorio por tres meses. Tiempo en el que se requieren resultados en los resultados.

INTERPRETACION

pH				Elementos de S a B	
Méq. = Muy Ácido	L.ác. = Liger. Ácido	Δ.ác. = Liger. Alcalino	RC = Resquezo Cal	S = Bajo	
ác. = Ácido	Eq. = Ptas. Neutra	Δ.ál. = Media Alcalino		M = Medio	
Méq. = Media Ácido	N. = Neutra	Al. = Alcalino		A = Alto	

METODOLOGIA USADA	EXTRACTANTES
pH = Suelo agua (1:2.5)	Olson Modificado
N,P,K = Colorimétrico	N,P,K,Ca,Mg,Cu,Fe,Mn,Zn
S = Turbidimetría	Fuente de Calcio Modificado
K,Ca,Mg,Cu,Fe,Mn,Zn = Absorción atómica	RS

[Signature]
 RESPONSABLE OPTO. SUELOS Y AGUAS

[Signature]
 RESPONSABLE LABORATORIO



ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE"
 LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS
 Km. 5 Carretera Quevedo - El Empalme; Apartado 24
 Quevedo - Ecuador Teléf: 052 783044 suelos.eetp@iniap.gob.ec

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO				DATOS DE LA PROPIEDAD				PARA USO DEL LABORATORIO			
Nombre	: CUENCA ORTIZ KLEVER IVAN			Nombre	: Alexis Lamas Vidal			Cultivo Actual	: Café		
Dirección	: LOJA / LOJA			Provincia	: Loja			N° de Reporte	: 10718		
Ciudad	: LOJA			Cantón	: Loja			Fecha de Muestreo	: 15/3/2023		
Teléfono	: 0992221989			Parroquia	:			Fecha de Ingreso	: 17/3/2023		
Fax	: klever_77@hotmail.com			Ubicación	:			Fecha de Salida	: 29/3/2023		

N° Muestr.	meq/100ml			dS/m	(%)	Ca	Mg	Ca+Mg	meq/100ml	(meq/l)/%	ppm	Textura (%)			Clase Textural
	Al+H	Al	Na	C.E.	M.O.	Mg	K	K	Σ Bases	RAS	Cl	Arena	Limo	Arcilla	
109476					2,2 B	3,3	3,75	16,25	4,14			33	50	17	Franco-Limoso



La muestra será guardada en el laboratorio por tres meses. Tiempo en el que se aceptarán reclamos en los resultados

INTERPRETACION					
Al+H, Al y Na		C.E.		M.O. y Cl	
B = Bajo	NS = No Salino	S = Salino	B = Bajo	M = Medio	A = Alto
M = Medio	LS = Lig. Salino	MS = Muy Salino			
T = Tóxico					

ABREVIATURAS
C.E. = Conductividad Eléctrica
M.O. = Materia Orgánica
RAS = Relación de Adsorción de Sodio

METODOLOGIA USADA
C.E. = Conductímetro
M.O. = Titulación de Walkley Black
Al+H = Titulación con NaOH

[Signature]
RESPONSABLE DPTO. SUELOS Y AGUA

[Signature]
RESPONSABLE LABORATORIO

Anexo 7. Analisis de suelo del cultivo de café var. Castillo



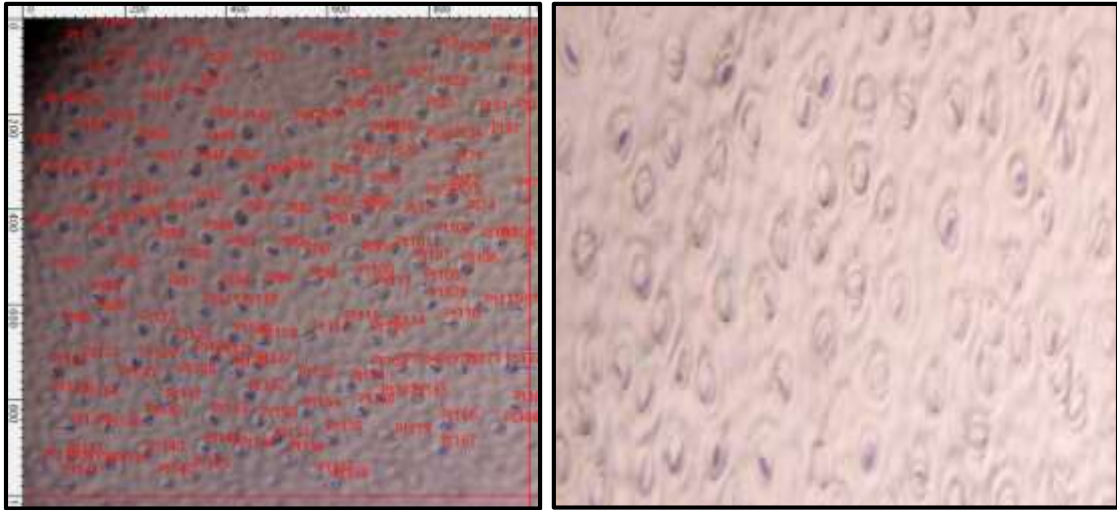
Anexo 8. Corrección del pH del suelo, aplicación de cal dolomítica



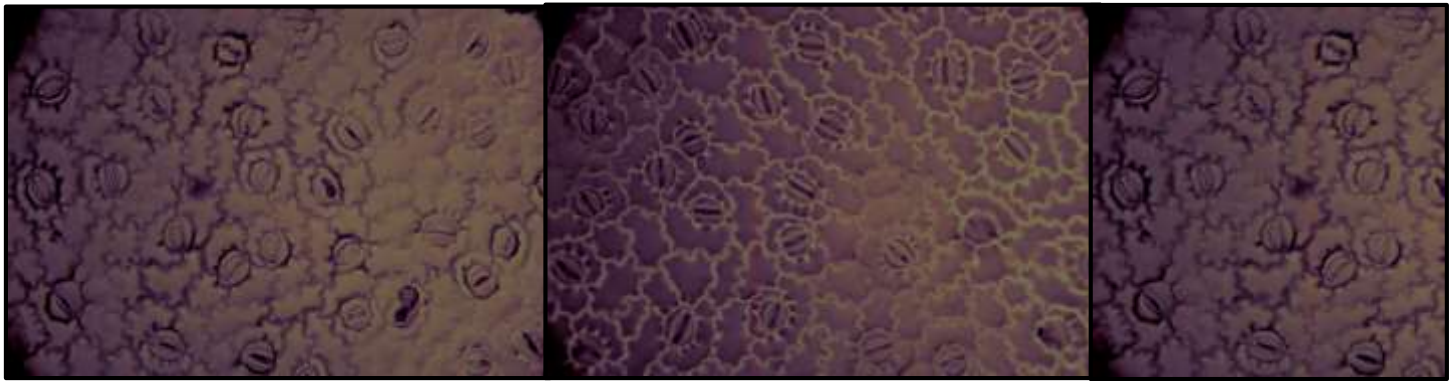
Anexo 9. Aplicación de los tratamientos (Urea, Nitrato de amonio, Nitrabor)



Anexo 10. Toma de datos de la variable Clorofila con SPAD



Anexo 11. Estomas de cafeto variedad Castillo en la Estación Experimental la Argelia.



Anexo 12. Células epidérmicas de cafeto variedad Castillo en la Estación Experimental la Argelia.



Anexo 13. Observación de los estomas y células epidérmicas en microscopio (Leica modelo DM 1000)



Anexo 14. a) Medida diámetro tallo. b) Medida altura de la planta



Anexo 15. Grupo de Trabajo de investigación

Lic. Andrea Sthefanía Carrión Mgs

0984079037

andrea.s.carrion@unl.edu.ec

Loja-Ecuador

Loja, 16 de enero del 2024

La suscrita, Andrea Sthefanía Carrión Fernández, Mgs, **DOCENTE EDUCACIÓN SUPERIOR**
(registro de la SENESCYT número: 1008-12-1124463), **ÁREA DE INGLÉS-UNIVERSIDAD**
NACIONAL DE LOJA, a petición de la parte interesada y en forma legal.

CERTIFICA:

Que la traducción del resumen del documento adjunto, solicitado por el señor: **Ronal Alexis Lamas Vidal** con cédula de ciudadanía **No. 1150585139**, cuyo tema de investigación se titula: *"Efecto de la fertilización con tres fuentes nitrogenadas en el crecimiento y fisiología del café (Coffea arabica L.) var. Castillo en el sector la Argelia Loja."* ha sido realizado y aprobado por mi persona, Andrea Sthefanía Carrión Fernández, Mgs. Docente de Educación Superior en la enseñanza del inglés como lengua extranjera.

El apartado del Abstract es una traducción textual del Resumen aprobado en español.

Particular que comunico en honor a la verdad para los fines académicos pertinentes, facultando al portador del presente documento, hacer el uso legal pertinente.

**ANDREA
STHEFANIA
CARRION
FERNANDEZ**

Firmado digitalmente
por ANDREA STHEFANIA
CARRION FERNANDEZ
Fecha: 2024.01.16
18:52:34 -06'00'

Andrea Sthefanía Carrión Fernández. Mgs.

English Professor

Anexo 16. Certificado de inglés